ISSN 2304-4926

ИННОВАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Теоретический и научно-практический журнал

3 (28)/2018

Учредитель, издатель: **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»**

Журнал основан в 2011 г.

Редакционная коллегия:
А.Н. Васильев, (председатель, главный научный редактор), д.т.н., профессор, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Л.Ю. Юферев, (зам. председателя, зам. главного научного редактора), д.т.н., доцент, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Я.П. Лобачевский, д.т.н., профессор, член-корр. РАН, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
А.С. Дорохов, д.т.н., профессор РАН, член-корр. РАН, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Д.А. Тихомиров, д.т.н., профессор РАН, член-корр. РАН, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
В.В. Харченко, д.т.н., профессор, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
В.В. Кирсанов, д.т.н., профессор, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Pandian Vasant, PhD, Department of Fundamental and Applied Sciences, University Teknologi PETRONAS, Malaysia)
Jose Antonio Marmolejo, PhD, Panamerican University, Mexico
Utku Kose, PhD, Suleyman Demirel University, Turkey
Gerhard-Wilhelm Weber, Prof., Dr. Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology
В.В. Большев (редактор)

Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-71466 от 26.10.2017 г.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции

innovsh@yandex.ru

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2018

ИННОВАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Выпуск №3 (28) / 2018

Содержание номера

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
…… 14-177

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА
…… 178-252

МЕХАНИЗАЦИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. ПРОБЛЕМЫ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ. ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ
…… 253-560

БИОТЕХНОЛОГИИ И АГРОИНЖЕНЕРИЯ
…… 561-617

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

МЕТОДИКА ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ СПЕЛОСТИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ ПРИ СОЗРЕВАНИИ
METHODOLOGY OF OBJECTIVE CONTROL OF MEMBERSHIP OF SEASONS OF RAS-CHANGES AT RIPE
М. В. БЕЛЯКОВ, к. т. н., доцент, В. О. БУЛАТИКОВА, студентка, К. А. ТАРАСЕНКОВ, студент, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Смоленск, Россия
***M. V. BELYAKOV**, cand. tech. sci., associate professor, **V. O. BULATIKOVA**, student, **K. A. TARASENKOV**, student, branch of FGBOU in "NIU" MEI ", Smolensk, Russia*
…… 14-19

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗЕРНО
DEVELOPMENT OF LABORATORY STAND OF ELECTROPHYSICAL INFLUENCE ON GRAIN
*Д.А. БУДНИКОВ, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, **г. Москва, Россия***
D.A. BUDNIKOV, lead researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
…… 20-25

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА И ТЕПЛООБМЕНА В БЛОКАХ ПИТАНИЯ МАГНЕТРОНОВ СВЧ УСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ANALYSIS OF HEATING PROCESSES AND HEAT TRANSFER IN THE POWER SUPPLIES FOR THE MAGNETRONS OF THE MICROWAVE INSTALLATIONS FOR AGRICULTURAL PURPOSES
А.А. ВАСИЛЬЕВ, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия
***A.A. VASILEV**, researcher, Federal state budget scientific institution, Federal Scientific Agroenginnering Center VIM, Moscow, Russia*
…… 26-32

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПО М-ОБРАЗНОЙ СХЕМЕ ЗАМЕЩЕНИЯ В ПАКЕТЕ SIMULINK
MATHEMATICAL MODEL OF POWER LOSSES IN AN ASYNCHRONOUS MOTOR ACCORDING TO THE M-SHAPED SUBSTITUTION SCHEME IN THE SIMULINK PACKAGE
Д.А. ВАСИЛЬЕВ, аспирант, Л.А. ПАНТЕЛЕЕВА, к.т.н., доцент, В.А. НОСКОВ, к.т.н., доцент Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия
D. A. VASILYEV, post-graduate student, L. A. PANTELEEVA, cand. tech. sci., assoc. prof., V. A. NOSKOV, cand. tech. sci., assoc. prof., Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia
…… 33-38

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПО РАЙОНАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
COMPARATIVE ANALYSIS OF RELIABILITY OF POWER SUPPLY IN DISTRICTS OF ELECTRICAL NETWORKS
А.В. ВИНОГРАДОВ, *канд. техн. наук,* ***А.В. ВИНОГРАДОВА,*** *канд. техн. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия,* ***И.Д. СКИТЁВА****, магистрант, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орёл, Россия,* ***А. А. ПАНФИЛОВ****, Филиал ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго», Орел, Россия*
A. V. VINOGRADOV*, cand. tech. sci.,* ***A. V. VINOGRADOVA,*** *cand. tech. sci, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia,* ***I. D. SKITEVA****, master's student,* *Orel State Agrarian University, Orel, Russia, A. A. PANFILOV, IDGC of Center, PJSC Branch – Orelenergo, Orel, Russia*
..... 39-46

УЛУЧШЕНИЕ МИКРОКЛИМАТА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ ЗА СЧЕТ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
IMPROVEMENT OF THE MICROCLIMATE IN THE AGRICULTURAL PREMISES DUE TO THE DISINFECTION OF AIR WITH ULTRAVIOLET RADIATION
И.М. ДОВЛАТОВ, аспирант, Э.С. РУДЗИК, лаборант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
I.M. DOVLATOV, PhD student, EH.S. RUDZIK, laboratory assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 47-52

УФ СВЕТОДИОДНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ТУИ ЗАПАДНОЙ
UV LED IRRADIATOR FOR PRECISE TREATMENT OF TUI WESTERN SEEDS
Н.П. КОНДРАТЬЕВА, *д-р техн наук, проф., Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия,* ***Р.Г. БОЛЬШИН****, канд. техн. наук, преподаватель,* ***М.Г. КРАСНОЛУЦКАЯ,*** *исследователь, преподаватель, Негосударственное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно-научный инновационный центр «Омега», Ижевск, Россия,* ***Ю.С. ЗЕМБЕКОВ,*** *магистр,* ***К.Ю. ДОЛГАНОВ,*** *бакалавр, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия*
N.P. KONDRAT'EVA, *Dr tech. sci., Prof., Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia,* ***R.G. BOL'SHIN****, cand. tech. sci., lecturer,* ***M.G. KRASNOLUCKAYA****, researcher, teacher, Non-state educational institution of additional professional education "Educational and scientific innovation center" Omega ", Izhevsk, Russia,* ***YU.S. ZEMBEKOV****, Master,* ***K.YU. DOLGANOV****, bachelor, Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia*
..... 53-62

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ LED ФИТОУСТАНОВКАМИ МЕРИСТЕМНОГО ВИНОГРАДА IN VITRO И EX VITRO
INCREASE IN IRRADIATION EFFICIENCY OF LED MERISTEMNY PHYTOINSTALLATIONS OF IN VITRO AND EX VITRO GRAPES
Н.П. КОНДРАТЬЕВА*, д-р. техн. наук,* ***Р.И. КОРЕПАНОВ,*** *аспирант, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ижевск, Россия*
N.P. KONDRAT'EVA*, Dr. tech. sci.,* ***R.I. KOREPANOV****, graduate student, Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia*
..... 63-70

МЕТОДИКА ПЕРЕРАСЧЁТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА СОВМЕЩЁННУЮ ОБМОТКУ СТАТОРА
THE METHOD OF RECALCULATION OF AN INDUCTION MOTOR ON A COMBINED STATOR WINDING
К.В. МАРТЫНОВ, старший преподаватель, В.А. НОСКОВ, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО ИжГСХА), Ижевск, Россия
K.V. MARTYNOV, Senior Lecturer, V.A. NOSKOV, cand. tech. sci., associate professor, Federal Public Budgetary Educational Institution of Higher Education "Izhevsk State Agricultural Academy", Izhevsk, Russia.
..... 71-77

ЗАВИСИМОСТЬ БИОСИНТЕЗА ПИГМЕНТОВ И ПРОДУКТИВНОСТИ ТОМАТА ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ
DEPENDENCE OF BIOSYNTHESIS OF PIGMENTS AND PRODUCTIVITY OF TOMATO ON THE SPECTRAL COMPOSITION OF RADIATION
А.А. СМИРНОВ, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ВИМ, Москва, Российская Федерация
A.A. SMIRNOV, candidate of technical Sciences, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 78-86

АНАЛИЗ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТИМУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ
ANALYSIS AND HISTORY OF PROGRESS OF ELECTRICAL STIMULATION OF PLANT
А.В. СОКОЛОВ, к.т.н., вед. научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
A.V. SOKOLOV, cand. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering center VIM, Moscow, Russia
..... 87-93

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ЗЕРНА В БУНКЕРЕ КОМБАЙНА ВО ВРЕМЯ УБОРОЧНЫХ РАБОТ
THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR DETERMINING THE WEIGHT OF GRAIN IN THE HOPPER OF THE COMBINE DURING HARVESTING
Е.В. ПУХОВ, доктор технических наук, заведующий кафедрой, М.Г. ТИМОШИНОВ, аспирант, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж, Россия
E.V. PUHOV, doctor of technical Sciences, head of Department, M.G. TIMOSHINOV, a graduate student of the Voronezh state agricultural UNIVERSITY, Voronezh, Russia
..... 94-100

ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТЕЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ В ЭНЕРГОРЕСУРСАХ И ИХ СТРУКТУРА НА ПЕРИОД ДО 2030 г.
NEEDS ASSESSMENT OF ENERGY RESOURCES FOR AGRICULTURE OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THEIR STRUCTURE FOR THE PERIOD UP TO 2030
Д.А. ТИХОМИРОВ, д.т.н., гл. научн. сотр., А.В. ТИХОМИРОВ, к.т.н., гл. специалист, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
D.A. TIHOMIROV, doctor of technical Sciences, chief researcher., A.V. TIHOMIROV, candidate of technical science, main specialist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 101-109

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАМОРАЖИВАНИЯ ЛЬДА В МЕМБРАННОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ
SOME RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FREEZING OF ICE IN A MEMBRANE HEAT EXCHANGER HEAT PUMP INSTALLATION
С.В. КОРОВКИН, АО «Атомэнергопроект», г. Москва, Россия, Е.В. ТУТУНИНА, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
S.V. KOROVKIN, JSC "Atomenergoproekt", Moscow, Russia, E.V. TUTUNINA, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 110-122

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРОШЕНИЯ «УМНОГО САДА»
JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF SYSTEM OF AUTOMATIC IRRIGATION "SMART GARDEN"
Д.О. ХОРТ, к.с.-х.н., И.Г. СМИРНОВ, к.с.-х.н., Р.А. ФИЛИППОВ, к.с.-х.н., Р.В. ВЕРШИНИН, инж., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
D.O. HORT, cand. agric. sci., I.G. SMIRNOV, cand. agric. sci., R.A. FILIPPOV, cand. agric. sci., R.V. VERSHININ, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 123-127

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА
THERMAL MODEL OF LED LIGHT SOURCE
Т.А. ШИРОБОКОВА, к.т.н., доцент, М.А. ЧЕПКАСОВА, аспирант, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, г. Ижевск, Россия
T.A. SHIROBOKOVA, cand. tech. sci., associate Professor, M.A. CHEPKASOVA, post-graduate student, Izhevsk state agricultural Academy, Izhevsk, Russia
..... 128-133

РАЗРАБОТКА ДВУХКОМПОНЕНТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ.
DEVELOPMENT OF A TWO-COMPONENT DEVICE FOR DISINFECTING AGRICULTURAL PREMISES WITH AUTOMATIC CONTROL.
И.М. ДОВЛАТОВ, *аспирант, младший научный сотрудник,* ***Э.С. РУДЗИК,*** *ассистент лаборатории, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
I.M. DOVLATOV, *graduate student, junior researcher,* ***E.S. RUDZIK,*** *laboratory assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*
.....134-140

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ОДНОПРОВОДНИКОВЫМ ЛИНИЯМ НА ЧАСТОТЕ 50 ГЦ И 8 КГЦ.
COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF GROUNDING FOR POWER TRANSMISSION IN ONE-WIRE LINES AT A FREQUENCY OF 50 HZ AND 8 KHZ.
О.А. РОЩИН, *канд. техн. наук,* ***Л.Ю. ЮФЕРЕВ,*** *д-р. техн. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
O.A. ROSHIN, *cand. tech. sci.,* ***L.YU. YUFEREV****, Dr. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*
.....141-145

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.
REVIEW OF EXISTING METHODS FOR THE TRANSMISSIONOF ELECTRICAL ENERGY.
Д.С. СТРЕБКОВ*, д.т.н,* ***Л.Ю. ЮФЕРЕВ****, д.т.н.,* ***О.А. РОЩИН****, к.т.н. ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*
D.S. STREBKOV*, doctor of technical Sciences,* ***L.YU. YUFEREV****, doctor of technical Sciences,* ***O.A. ROCHTCHIN****, candidate of technical science, main specialist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*
.....146-159

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИЛОЖЕНИЯ ПЭЭС ДЛЯ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ ПРОДУКТИВНОСТИ В ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
THE RESULTS OF PRINCIPLE OF ENERGY EXTREMALITY OF SELF-ORGANIZATION APPLICATION RESEARCH FOR THE SCIENTIFIC THEORY OF PRODUCTIVITY IN ARTIFICIAL ECOSYSTEMS
А.П. ГРИШИН, *д-р техн. наук,* ***А.А. ГРИШИН,*** *канд. техн. наук,* ***В.А. ГРИШИН,*** *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
A.P. GRISHIN, *Dr. tech. sci.,* ***A.A. GRISHIN,*** *cand. tech. sci.,* ***V.A. GRISHIN,*** *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*
.....160-166

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
REGULARITIES OF THE EFFECT OF MOISTURE ON MOISTURE IMPACT OF PLANTS IN ARTIFICIAL ECOSYSTEMS
А.П. ГРИШИН, *д-р техн. наук,* ***А.А. ГРИШИН,*** *канд. техн. наук,* ***В.А. ГРИШИН,*** *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
A.P. GRISHIN, *Dr. tech. sci.,* ***A.A. GRISHIN,*** *cand. tech. sci.,* ***V.A. GRISHIN,*** *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*
..... 167-171

ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩАЯ (ФОТОСИНТЕЗНАЯ) ХАРАКТЕРИСТИКА (ЭПХ) ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ
ENERGY-TRANSFORMING (PHOTOSYNTHICAL) CHARACTERISTIC OF A GARDEN GRANDER
А.П. ГРИШИН, *д-р техн. наук,* ***А.А. ГРИШИН,*** *канд. техн. наук,* ***В.А. ГРИШИН,*** *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
A.P. GRISHIN, *Dr. tech. sci.,* ***A.A. GRISHIN,*** *cand. tech. sci.,* ***V.A. GRISHIN,*** *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*
..... 172-177

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ КРЫМА
ABOUT THE USE OF RENEWABLE RESOURCES IN ENERGY SYSTEM OF CRIMEA
М.Ю. БЕРЕЗКИН, канд. географ. наук, О.А. СИНЮГИН, кандидат эконом. наук, Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
M.YU. BEREZKIN, candidate of geographical Sciences, O.A. SINYUGIN, candidate of economic Sciences, Lomonosov Moscow state University, Moscow, Russia
..... 178-182

ОБЗОР СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ
OVERVIEW OF METHODS FOR OBTAINING ELECTRICITY FROM ORGANIC WASTE
С.А. КАЧАН, инженер, И.М. ДОВЛАТОВ, аспирант, младший научный сотрудник, Л.Ю. ЮФЕРЕВ, доктор технических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
S.A. KACHAN, engineer, I.M. DOVLATOV, graduate student, Junior researcher, L.YU. YUFEREV, doctor of technical Sciences, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM,, Moscow, Russia
..... 183-190

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ENERGY ASPECTS OF BIOGAS PLANTS FOR HEATING
А.А. КОВАЛЕВ, к.т.н., Д.А. КОВАЛЕВ, к.т.н., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
A.A. KOVALEV, cand. tech. sci., D.A. KOVALEV, cand. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 191-196

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
ECONOMIC PREREQUISITES FOR THE USE OF RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES
А.А. КОВАЛЕВ, к.т.н., ст. науч. сотр., Д.А. КОВАЛЕВ, к.т.н., заведующий лабораторией, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, В.В. ФРОЛОВ, магистр, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва, Россия
A.A. KOVALEV, candidate of Sciences, senior scientific. et al., D.A. KOVALEV, PhD, head of laboratory, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, V.V. FROLOV, master student, Russian chemical-technological University. D. I. Mendeleeva, Moscow, Russia
..... 197-202

КРЫЛЬЧАТЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ВОДНОГО ПОТОКА
UNDERWATER SCREW ENGINE - WATER FLOW ENERGY CONVERTER
А.И. КУСКОВ, канд. техн. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
A.I. KUSKOV, Cand. tech. Sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 203-209

ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЛАНАРНАЯ КРОВЕЛЬНАЯ ПАНЕЛЬ
PHOTOVOLTAIC THERMAL PLANAR ROOFING PANEL
В.А. ПАНЧЕНКО, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Российский университет транспорта (МИИТ), ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,Москва, Россия
V.A. PANCHENKO, candidate of technical Sciences, associate Professor, senior researcher, Russian University of transport (MIIT), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 210-218

УСТРОЙСТВО, СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ЗАРЯД ОТ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ
DEVICE, STABILIZING CHARGE FROM SOLAR BATTERIES
И. А. ПОГОРЕЛОВ, техник, Колледж телекоммуникаций Московского Технического Университета Связи и Информатики, В. А. ПАНЧЕНКО, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Российский университет транспорта (МИИТ), ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
I. A. POGORELOV, technic, College of telecommunications Moscow Technical University of Communications and Informatics, V. A. PANCHENKO, candidate of technical Sciences, associate Professor, senior researcher, Russian University of transport (MIIT), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 219-224

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КОНТУРАХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК
HEAT CARRIER COMPOSITION OPTIMIZATION FOR APPLICATION IN LOW-TEMPERATURE CONTOURS OF HEAT PUMP INSTALLATIONS
А.О. СЫЧЁВ, В.В. ХАРЧЕНКО, д.т.н., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
A.O. SYCHYOV, V.V. HARCHENKO, doctor of technical Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 225-231

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЕРВУАРА-АБСОРБЕРА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО МОДУЛЯ
PV THERMAL MODULE TANK-ABSORBER DESIGN OPTIMIZATION
П.В. ТИХОНОВ, к.т.н., А.О. СЫЧЁВ, В.В. ХАРЧЕНКО, д.т.н. профессор, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
P.V. TIHONOV, cand. tech. sci., A.O. SYCHYOV, V.V. HARCHENKO, d-r tech. sci., Profes., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 232-237

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ
WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF BIOGAS PLANT
С.К. ШЕРЬЯЗОВ, д.т.н., профессор, В.В. ВАСЕНЕВ, аспирант, Ж.Б. ТЕЛЮБАЕВ, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Россия
S.K. SHER'YAZOV, Ph. D., Professor, V.V. VASENEV, graduate student, ZH.B. TELYUBAEV, postgraduate, Federal state budget educational institution of higher professional education "South Ural state agrarian University", Russia
..... 238-252

МЕХАНИЗАЦИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. ПРОБЛЕМЫ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ. ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ МАШИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
THEORETICAL ASPECTS OF DYNAMIC PROGRAMMING ADAPTIVE MACHINERY TECHNOLOGIES OF AGRICULTURAL CROPS EXTRACTION
А.Г. АКСЕНОВ, канд. тех. наук, Д.В. ЗУБ, аспирант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
A.G. AKSENOV, cand. tech. sci., D.V. ZUB, a graduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 253-259

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО МОСТА КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА
THEORETICAL Research OF STABILITY OF MOTION OF STEERING AXLE FOR WHEELED TRACTOR
Д.В. БОРИСЮК, инженер, Винницкий национальный технический университет, Винница, Украина, А.В. СПИРИН, канд. техн. наук, доц., И.В ГУНЬКО, канд. техн. наук, доц., Винницкий национальный аграрный університет, Винница, Украина
D.V. BORYSIUK, engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, Ukraine, A.V. SPIRIN, cand. tech. sci., Associate Professor, I.V. GUNKO, cand. tech. sci., Associate Professor, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsya, Ukraine
..... 260-271

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ
THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF DIAGNOSTICS TECHNOLOGICAL FEED PREPARATION EQUIPMENT FOR LIVESTOCK FARMS
А.В. БРУСЕНКОВ, доцент, кандидат технических наук, В.П. КАПУСТИН, профессор, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»,
г. Тамбов, Россия
A.V. BRUSENKOV, associate Professor, candidate of technical Sciences, V. P. KAPUSTIN, Professor, doctor of technical science, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Tambov state technical University», Tambov, Russia
..... 272-278

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА
MODELING AND PROCESS OPTIMIZATION OF THE POST-HARVEST GRAIN PROCESSING PROCESS USING A SMALL GRAIN DRYER
И.В. ГОРБАЧЕВ, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия, Т.В. ПАНОВА, к.т.н., М.В. ПАНОВ, к.т.н., ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Россия
I.V. GORBACHEV, dr. tech. sci.., Professor, Russian state agrarian University - MTAA named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia, T.V. PANOVA, cand. tech. sci., M.V. PANOV, cand. tech. sci., Bryansk state agricultural University, S. Kokino, Russia
..... 279-287

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАСПОЗНОВАНИЯ СОРНЯКОВ
DEVELOPMENT OF ALGORITHM AND TECHNICAL DEVICE FOR RECOGNITION OF SOMES
А.И. ДЫШЕКОВ, Г.И. ЛИЧМАН, д-р техн. наук, И.Г. СМИРНОВ, канд.с.-х. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, М.А. ШЕРЕУЖЕВ, ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана
A.I. DYSHEKOV, G.I. LICHMAN, Dr tech. sci., I.G. SMIRNOV, CAND. agric. SCI., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, M.A. SHEREUZHEV, assistant, MSTU. N.E. Bauman
..... 288-294

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕННОГО Fe-Ni-P ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН
APPLICATION OF ELECTRO-CONSISTENT FE-Ni-P COATING FOR RESTORING ITEMS OF AGRICULTURAL MACHINES
В.К. АСТАНИН, доктор технических наук, Е.В. ПУХОВ, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1», г. Воронеж, Россия, Ю.А. СТЕКОЛЬНИКОВ, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец, Россия, В.В. ЕМЦЕВ, аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1», г. Воронеж, Россия
V.K. ASTANIN, Doctor of Technical Sciences, E.V. PUHOV, Doctor of Technical Sciences, FGBOU VO "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter 1", Voronezh, Russia, YU.A. STEKOL'NIKOV, Candidate of Technical Sciences, FGBOU VE "Yelets State University. I.A. Bunin ", Yelets, Russia, V.V. EMCEV, graduate student, FGBOU VO "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter 1", Voronezh, Russia
..... 295-300

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ
ESTIMATION OF PLASMA COATING DURABILITY UNDER ABRASIVE DETERIORATION
С.Ю. ЖАЧКИН, доктор технических наук, профессор, Г.И. ТРИФОНОВ, соискатель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия
S.YU. ZHACHKIN, doctor of technical Sciences, Professor, G.I. TRIFONOV, competitor, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Voronezh state technical University", Voronezh, Russia
..... 301-307

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
MODERNIZATION OF THE INSTALLATION FOR POWDER MATERIALS PERFECT FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES
Р.Н. ЗАДОРОЖНИЙ, канд. техн. наук, вед. научн. сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, А.А. ЧЕТВЕРТАКОВ, студент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», А.Р. ТИХОНЮК, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет (ВГТУ)», Россия
R.N. ZADOROZHNIJ, cand. tech. sci, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, A.A. CHETVERTAKOV, student, FSBEI "Moscow state technical University named after N. Uh. Bauman (national research University)", A.R. TIHONYUK, student, FGBOU VO "Voronezh state technical University (Voronezh, Russia)", Moscow, Russia
..... 308-312

К ВОПРОСУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИНЫ ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА КОММУНАЛЬНЫХ РАБОТАХ
TO THE QUESTION OF EXPERIMENTAL EFFICIENCY VALUATION OF WEED KILLING MACHINE AT COMMUNAL WORKS
А.Ю. ИЗМАЙЛОВ, академик РАН, доктор технических наук, А.С. ДОРОХОВ, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Р.С. ФЕДОТКИН, кандидат технических наук, В.А. КРЮЧКОВ, кандидат технических наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
A. Y. IZMAILOV, acad. RAS, Dr. tech. sci., A. S. DOROKHOV, Dr. tech. sci., corr. member RAS, R. S. FEDOTKIN, cand. tech. sci., V. A. KRYUCHKOV, cand. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia
..... 313-324

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ВЛАЖНЫХ СЕМЯН В ТОЛСТОМ СТАЦИОНАРНОМ СЛОЕ АКТИВНЫМ ВЕНТИЛИРОВАНИЕМ
THEORETICAL RESEARCH OF THE PROCESS OF COOLING WET SEEDS IN A THICK STATIONARY LAYER BY ACTIVE VENTILATION
Р.А. КАЛИНИЧЕНКО, к.т.н., доцент, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина, С.П. СТЕПАНЕНКО, к.т.н., старший научный сотрудник, В.А. ШВИДЯ, к.т.н., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», пгт. Глеваха, Украина
R.A. KALINICHENKO, cand. tech. sci., Associate Professor, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Kiev, Ukraine, S.P. STEPANENKO, cand. tech. sci., Senior Researcher, V.A. SHVIDYA, cand. tech. sci., National Science Center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture", village. Glevaha, Ukraine
..... 325-331

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ
IMPROVING THE RELIABILITY OF FEED PREPARATIONEQUIPMENT IN ANIMAL HUSBANDRY
А. В. БРУСЕНКОВ, доцент, кандидат технических наук, В. П. КАПУСТИН, профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия
A. V. BRUSENKOV, associate Professor, candidate of technical Sciences, V. P. KAPUSTIN, Professor, doctor of technical Sciences, FSBEI "Tambov state technical University", Tambov, Russia
..... 332-338

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМУЛЬГИРОВАННОГО ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА НАГАРООТЛОЖЕНИЯ
EFFECT OF THE PROCESS OF EMULSIFIED FUEL IN DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON CARBON DEPOSITS
А.С. ДОРОХОВ, д-р техн. наук, чл.-корр. РАН, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Ю.В. КАТАЕВ, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
A.S. DOROHOV, Dr. tech Sciences, cor. member RAS, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, YU.V. KATAEV, cand. tech. sci., associate Professor, RGAU-ICCA them. K. A. Timiryazeva, Moscow, Russia
..... 339-344

К ПОСТРОЕНИЮ АДАПТИРОВАННОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
TO THE CONSTRUCTION OF AN ADAPTED REGIONAL SYSTEM OF SECURITY WORKING CAPACITY OF AGRICULTURAL MACHINERY
В.В. КОРОТКИХ, кандидат технических наук, А.Е. НЕМЦЕВ, доктор технических наук, И.В. ДЕМЕНОК, кандидат технических наук, Сибирский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, р. п. Краснообск Новосибирской области, Россия
V.V. KOROTKIH, candidate of technical Sciences, A.E. NEMCEV, doctor of technical Sciences, I.V. DEMENOK, candidate of technical Sciences, Siberian Institute of mechanization and electrification of agriculture, Siberian Federal scientific center of agrobiotechnology the Russian Academy of Sciences, R. p. Krasnoobsk Novosibirsk region, Russia
..... 345-352

СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ GPS/ГЛОНАСС
METHOD FOR REMOTE MONITORING OF RELIABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY WITH USE OF SYSTEMS GPS/GLONASS
***М.Н. КОСТОМАХИН**, канд. техн. наук, **Р.К. КУРБАНОВ**., канд. техн. наук, **А.Н. ВОРОНОВ**, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*
***M.N. KOSTOMAHIN**, cand. tech. sci., **KURBANOVA R.K.,** cand. tech. sci., **A.N. VORONOV**, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*
..... 353-357

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ, ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ФАЙЛ С G-КОДОМ ДЛЯ НАПЛАВКИ УПРОЧНЯЮЩИХ ВАЛИКОВ НА СТРЕЛЬЧАТЫЕ ЛАПЫ КУЛЬТИВАТОРА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОРАЗМЕРОВ НА УСТАНОВКЕ ТИПА 4D
DEVELOPMENT OF A SOFTWARE THAT GENERATES THE FILE WITH G-CODE FOR WELDING OF THE STRENGTHENING BEADS OF THE POINTED CULTIVATOR'S PAWS OF VARIOUS SIZES ON THE MACHINE TYPE 4D
Н.С. КРЮКОВСКАЯ, научный сотрудник, аспирант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
N.S. KRYUKOVSKAYA, researcher, postgraduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 358-363

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСМИССИИ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ СЪЕМНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ ХОДОВЫХ СИСТЕМ
TO THE QUESTION OF WHEELED TRACTOR TRANSMISSION OPTIMIZATION FOR REMOVABLE TRACK UNDERCATTIGE SYSTEM MOUNTING
В.А. КРЮЧКОВ, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
V.A. KRYUCHKOV, cand. tech. sci., leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 364-374

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕМБРАННОГО МОДУЛЯ
THEORETICAL ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENT THE OPERATION PARAMETERS OF THE MEMBRANE MODULE
О. А. КУВШИНОВА, к.т.н., доцент, Т. П. БОЯРКИНА, магистр, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», г. Саранск, Россия
O. A. KUVSHINOVA, cand. tech. sci., associate Professor, T. P. BOYARKINA, master student, FSBEI "Moscow state University. N. P. Ogarev", Saransk, Russia
..... 375-381

СООТВЕТСТВИЕ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ КАТАЛИТИЧЕСКИМИ НЕЙТРАЛИЗАТОРАМИ УСТАНОВЛЕННЫМ НОРМАТИВАМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА
COMPLIANCE OF EXHAUST GAS PURIFICATION WITH CATALYTIC CONVERTERS TO ESTABLISHED AIR POLLUTION STANDARDS
Е.Ю. КУДРЯШОВА, младший научный сотрудник, С.В. ГОРБУНОВА, инженер, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
E.YU. KUDRYASHOVA, Junior researcher, S.V. GORBUNOVA, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 382-387

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ С ПИД-РЕГУЛИРОВАНИЕМ
REVISITED OF MODELING OF THE CONTROLLER ACTIVE CUSHION SYSTEM WITH PID REGULATION
В.А. КУЗЬМИН, мл. научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
V.A. KUZ'MIN, Jr. Scientific Worker, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 388-394

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АГРЕГАТА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ
CONTROL SYSTEM AUTOMATED ASSEMBLY MAGNETIC-PULSE PROCESSING OF PLANTS
А.И. КУТЫРЁВ, аспирант, Д.О. ХОРТ, канд. с-х. наук, Р.А. ФИЛИППОВ, канд. с-х. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
A.I. KUTYREV, graduate student, D.O. HORT, cand. agric. sci., R.A. FILIPPOV, cand. agric. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 395-401

ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ДИСПЕРГИРОВАННЫЕ ОТХОДЫ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 ИЛИ Т15К6, СО СТАЛЬЮ 65Г
STRENGTH OF COATING OF COATINGS OBTAINED BY ELECTROCONTACT PREPARATION OF POWDER MIXTURE CONTAINING DISPERSED WASTE OF VOLUME BODY VK8 OR T15K6, WITH STEEL 65G
Г.Р. ЛАТЫПОВА, к.т.н., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», В.В. ЧЕРНОВ, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Р.А. ЛАТЫПОВ, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия
G.R. LATYPOVA, cand. tech. sci.., senior lecturer, Moscow Polytechnic University, V.V. CHERNOV, cand. tech. sci.., associate Professor, MGTU im. N. Uh. Bauman, R.A. LATYPOV, Dr tech. sci..,., Professor, Moscow technical University, Moscow, Russia
..... 402-408

ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В РЯДОВЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПРИМЕРЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ
INVESTIGATIONS OF THE RELIABILITY OF GRAIN COLLECTION COMBINES IN THE SERIES OF OPERATING CONDITIONS ON THE EXAMPLE OF THE STAVROPOL TERRITORY
А.Т. ЛЕБЕДЕВ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Р.В. ПАВЛЮК, кандидат технических наук, доцент, А.В. ЗАХАРИН, кандидат технических наук, доцент, П.А. ЛЕБЕДЕВ, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия
A.T. LEBEDEV, doctor of technical Sciences, Professor, head of Department, R.V. PAVLYUK, candidate of technical Sciences, associate Professor, A.V. ZAHARIN, candidate of technical Sciences, associate Professor, P.A. LEBEDEV, candidate of technical Sciences, associate Professor, Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia
..... 409-415

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МДО-ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВС ПРИ НАНО-ЛЕГИРОВАНИИ
THE STUDY OF THE PROPERTIES OF MAO-COATINGS FOR CYLINDER GROUP OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WHEN THE NANO-ALLOYING
Д.А. МИЛОВАНОВ, аспирант, младший научный сотрудник, А.В. ЧАВДАРОВ, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия
D.A. MILOVANOV, PhD student, Junior researcher, A.V. CHAVDAROV, leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 416-421

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УБОРКИ БЕЛОГО ЛЮПИНА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ОЧЕСЫВАЮЩЕЙ ЖАТКОЙ ТИПА «ОЗОН»
RESULTS OF FIELD RESEARCH OF HARVESTING OF WHITE LUPINE BY MODERNIZED COMBING HEADER "OZONE
М.А. МОСЯКОВ, аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация
M.A. MOSYAKOV, post-graduate student, Russian state agrarian University – Timiryazev Moscow state agrarian University, Moscow, Russian Federation
..... 422-429

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПЛУГ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
COMBINED PLOW FOR INTRODUCING MINERAL FERTILIZERS
Э. М.-Д. НАГИЕВ, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Г.Н. КУРБАНОВ, диссертант, старший научный сотрудник, И.О. МАМЕДОВ, главный конструктор, заведующий лабораторией, М.Ф. МАМЕДОВ, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, М.В. БАГИРОВА, учёный-агроном, главный специалист, Т.М. МАМЕДОВ, инженер-механик, научный сотрудник, Ш.Г. ГАСАНОВА, инженер-технолог, старший научный сотрудник, Научно – Исследовательский Институт «Агромеханика», Азербайджан
EH. M.-D. NAGIEV, candidate of technical Sciences, associate Professor, head of laboratory, G.N. KURBANOV, dissertation, senior researcher, I.O. MAMEDOV, chief designer, head of the laboratory, M.F. MAMEDOV, candidate of technical Sciences, leading researcher, M.V. BAGIROVA, scientist-agronomist, chief specialist, T.M. MAMEDOV, mechanical engineer, researcher, SH.G. GASANOVA, engineer-technologist, senior researcher, research Institute "Agromechanics", Azerbaijan
..... 430-435

ВЫРАВНИВАТЕЛЬ ПОЧВЫ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЬНА – ДОЛГУНЦА
SOIL LEVELER FOR FLAX CULTIVATION
М.В. НИКИФОРОВ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия, И.В. ГОРБАЧЁВ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член – корреспондент Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Россия, В.В. ГОЛУБЕВ, кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, заведующий кафедрой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия
M.V. NIKIFOROV, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia, I.V. GORBACHYOV, doctor of agricultural Sciences, Professor, cor. memb. RAS, Russian state agrarian University – Moscow state agrarian Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia, V.V. GOLUBEV, candidate of technical Sciences, associate Professor, the Head of the Department, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia
..... 436-441

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ
THE RESULTS OF DETERMINATION OF DENSITY OF SOIL IN FIELD CONDITIONS
***М.В. НИКИФОРОВ**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия, **И.В. ГОРБАЧЁВ**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член – корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Россия, **А.В. КУДРЯВЦЕВ**, кандидат технических наук, доцент, **В.В. ГОЛУБЕВ**, Феральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», кандидат технических наук, доцент кафедры, заведующий кафедрой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия*
***M.V. NIKIFOROV**, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia, **I.V. GORBACHYOV**, doctor agricultural Sciences, Professor, cor. memb. RAS, Russian state agrarian University – MTAA named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia, **A.V. KUDRYAVCEV**, candidate of technical Sciences, associate Professor, **V.V. GOLUBEV**, candidate of technical Sciences, associate Professor, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia*
..... 442-447

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГАЦИИ НА РОТОРНОМ ДИСПЕРГАТОРЕ
ANALYSIS OF THE PROCESS OF DISPERSION AT A ROTARY DISPERSER
М.Н. НОВРУЗ, кандидат технических наук, В.К. ЗАКИР, старший научный сотрудник, М.А. ЕЛМАН, старший научный сотрудник, Научно – Исследовательский Институт "АГРОМЕХАНИКА", Азербайджан
M.N. NOVRUZ, candidate of technical science, V.K. ZAKIR, senior researcher, M.A. ELMAN, senior researcher, Scientific Research Institute "AGROMEKHANIKA", Azerbaijan
..... 448-456

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАПСОВОГО МАСЛА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА
USE OF RAPESEED OIL IN DIESEL ENGINES AS FUEL
С.Ю. УЮТОВ, аспирант, Е.В. ОВЧИННИКОВ, н.с., М.Н. КОЧЕТКОВ, к.т.н., вед.н.с., Г.С. САВЕЛЬЕВ, д.т.н., профессор ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
S.YU. UYUTOV, graduate student, E.V. OVCHINNIKOV, sci. researcher., M.N. KOCHETKOV, cand. tech. sci., senior sci. researcher, G.S. SAVEL'EV, Dr tech. sci., Professor, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 457-461

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ ФУНДУКА ОТ ПЛЮСКИ
DEVICE CLEANING GREEN PEEL FROM THE HAZELNUT
Э.А. ПАШАЕВ, канд. техн. наук, доцент, И.О. МАМЕДОВ, инженер, К.Г. ЯКУБОВ, д-р техн. наук, А.М. ДЖАФАРОВА, инженер, Научно – Исследовательский Институт «АГРОМЕХАНИКА», г. Гянджа, Азербайджан
EH.A. PASHAEV, cand. tech. sci., associate Professor, I.O. MAMEDOV, engineer, K.G. YAKUBOV, Dr tech. sci., A.M. DZHAFAROVA, engineer, research Institute "AGROMECHANIKA", Ganja, Azerbaijan
..... 462-466

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ МДО-ПОКРЫТИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ
TRIBOLOGICAL STUDIES OF WEAR RESISTANT MAO-COATINGS IN ECOLOGICAL LUBRICANTS
Н.С. ПОЧЕС, В.Н. МАЛЫШЕВ, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Россия, N. DÖRR, ACT Research, Австрия
N.S. POCHES, V.N. MALYSHEV, Gubkin Russian state University of oil and gas (NIU) I.M. Gubkina, Russia, N. DÖRR, ACT Research, Austria
..... 467-473

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ МУФТЫ ПРИВОДА ТНВД НА УГОЛ ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА
EVALUATION OF THE EFFECT OF THE CONDITION OF THE COUPLING PARTS OF THE DRIVE PUMP ON THE CORNER OF AN ADVANCING OF INJECTION OF FUEL
Н.В. РАКОВ, канд. техн. наук, доцент, А.В. СМОЛЬЯНОВ, канд. техн. наук, доцент, В. А. МАКШЕВ, аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия
N.V. RAKOV, cand. tech. sci., associate Professor, A.V. SMOL'YANOV, cand. tech. sci., associate Professor, V. A. MAKSHEV, post-graduate student, National Research Mordovian State University. N. P. Ogarev, Sar ansk, Russia
..... 474-479

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ
DEVICE FOR DETERMINING THE FORCE FROM THE LINERS
С.С. РУЗИН, лаборант, ФНАЦ ВИМ, Россия, магистрант Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Р.Ф. ФИЛОНОВ, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
В.В. КИРСАНОВ, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Д.Ю. ПАВКИН, младший научный сотрудник, С.А. КАЧАН, инженер, И.М. ДОВЛАТОВ, аспирант, младший научный сотрудник, ФНАЦ ВИМ, Россия
S.S. RUZIN, laboratory assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia, master's degree student Russian state agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural Academy, R.F. FILONOV, candidate of technical Sciences, associate Professor, Russian state agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural Academy,
V.V. KIRSANOV, doctor of technical Sciences, Professor, chief researcher, D.YU. PAVKIN, Junior researcher, S.A. KACHAN, engineer, I.M. DOVLATOV, post-graduate student, Junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia
..... 480-486

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАЖИМНОГО АППАРАТА СТРИГАЛЬНОЙ МАШИНКИ
JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE PRESSURE APPARATUS OF SHEARING MACHINES
А.Н. РУСАКОВ, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, М.С. ТУРГЕНБАЕВ, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
A.N. RUSAKOV, candidate of technical Sciences, senior researcher, M.S. TURGENBAEV, candidate of technical Sciences, head of laboratory, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 487-493

ТИПЫ ДОЗАТОРОВ-СМЕСИТЕЛЕЙ КОРМОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ
TYPES OF DOSING-MIXERS APPLIED IN ANIMAL HUSBANDRY
И.А. СЕИДОВА, Х.К. АХМЕДОВА, ведущий специалист, Научно – Исследовательский Институт "АГРОМЕХАНИКА", Азербайджан
I.A. SEIDOVA, H.K. AHMEDOVA, leading specialist, Scientific – Research Institute "AGROMEKHANIKA", Azerbaijan
..... 494-500

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF DYNAMIC SOIL-CULTIVATING WORKING BODIES
Г.А. СЕМЕНОВА, аспирант, Н.И. ДЖАББОРОВ, доктор техн. наук, проф., Федеральное бюджетное научное учреждение «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства», Санкт-Петербург, Россия
G.A. SEMENOVA, graduate student, N.I. DZHABBOROV, doctor of tech. sci., Professor, Institute of Agroengineering and environmental problems of agricultural production, St. Petersburg, Russia
..... 501-507

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН НА III И IV ЭТАПАХ СЕЛЕКЦИИ И ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА
JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF CONTAINERIZATION HARVESTING-TRANSPORT PROCESS AND PRIMARY HANDLING OF SEEDS AT THE III AND IV STAGES OF BREEDING AND PRIMARY SEED PRODUCTION
М.Л. КРЮКОВ, ведущий специалист, М.В. ИВАНОВ, инженер, К.А. СТЕПАНОВ, инженер, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
M.L. KRYUKOV, senior specialist, M.V. IVANOV, engineer, K.A. STEPANOV, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 508-514

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СБОРА ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ
DESIGNING OF AUTOMATED PLATFORM FOR MACHINERY HARVESTING OF STRAWBERRY
Д.О. ХОРТ, к.с-х.н., А.Н. ТЕРЕШИН, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
D.O. HORT, candidate of agricultural Sciences, A.N. TERESHIN, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 515-523

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ
RESTORATION OF THE INNER SURFACE OF THE CYLINDER LINERS OF DIESEL ENGINES OF AGRICULTURAL MACHINERY BY ELECTRIC ARC METALLIZATION
А.А. ТОЛКАЧЕВ, младший научный сотрудник, Б.А. МАТЮШКИН, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, В.И. ДЕНИСОВ, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
A.A. TOLKACHEV, Junior researcher, B.A. MATYUSHKIN, doctor of technical Sciences, Professor, leading researcher, V.I. DENISOV, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 524-529

УТОЧНЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ЦЕВОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ ВЕДУЩИХ КОЛЕС С РЕЗИНОАРМИРОВАННЫМИ ГУСЕНИЦАМИ
DETAILED RESEARCH OF LOAD AND GEOMETRIC FACTORS IN PIN ENGAGEMENT OF DRIVE SPROCKET WITH RUBBER-REINFORCED TRACKS
Р.С. ФЕДОТКИН, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник, К.А. БОГДАНОВ, аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
R.S. FEDOTKIN, candidate of technical Sciences, head of laboratory, leading researcher, K.A. BOGDANOV, PhD student, Junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 530-540

ЩЕТОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ
BRUSH DEVICE FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF MECHANIZED CLEANING OF SUGAR BEET ROOTS
А.А. ФИЛИТОВА, студентка, А.А. БАХАРЕВ, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия
A.A. FILITOVA, student, A.A. BAHAREV, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Michurinsk state agrarian University, Michurinsk, Russia
..... 541-547

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКЕ
ELECTRONIC CONTROL SYSTEMS FOR ENGINE INTERNAL COMBUSTION IN AUTOTRACTOR TECHNOLOGY
Р.Р. ХАББАТУЛЛИН, младший научный сотрудник, лаборант, К.Г. СОВИН, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Т.А. КИЛЬДЕЕВ, лаборант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
R.R. HABBATULLIN, Junior researcher, research assistant, K.G. SOVIN, leading researcher, candidate of technical Sciences, head of laboratory, T.A. KIL'DEEV, Junior researcher, research assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 548-553

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕМПЕРИРОВАННОЙ СОИ
CALCULATION OF PARAMETERS OF THE COOLING SYSTEM OF TEMPERED SOY
А.Н. МАШКОВ, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, А.М. ШУВАЛОВ, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Всероссийский научно- исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, Россия
A.N. MASHKOV, candidate of technical Sciences, leading scientific researcher, A.M. SHUVALOV, doctor of technical Sciences, Professor, all - Russian research Institute of use of technology and oil products in agriculture, Tambov, Russia
..... 554-560

БИОТЕХНОЛОГИИ И АГРОИНЖЕНЕРИЯ

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО МОЛОКА С ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ КОРОВ НА РОБОТИЗИРОВАННЫХ ФЕРМАХ
SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURAL SCHEME OF OBTAINING HIGH-QUALITY MILK WITH INDIVIDUAL FEATURES OF COWS ON ROBOTIZED FERMS
Ю.Г. ИВАНОВ, доктор технических наук, Г.Г. ГАБДУЛЛИН, кандидат технических наук, доцент, Л.Н. АТАМАНКИНА, инженер, ФГБОУ ВО Российский Государственный Аграрный Университет – Московская Сельскохозяйственная Академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
YU.G. IVANOV, Doctor of Technical Sciences, G.G. GABDULLIN, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, L.N. ATAMANKINA, engineer, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia
..... 561-570

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
THE BASIC METHODS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION
А.О. КАПЕРЗОВ, инженер, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
A.O. KAPERZOV, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 571-577

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ АГРЕГАТОВ
MODERNIZATION OF MOBILE MIXER ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF EXISTING UNITS
О.Ю. КРАСИЛЬНИКОВ, Челябинская государственная агроинженерная академия, директор ООО «Биоэнергия и К», г.Коркино, Россия, Т.Е. МАРИНЧЕНКО, научн. сотр., ФГБНУ "Росинформагротех", гп. Правдинский, Россия
O.YU. KRASIL'NIKOV, Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Director of Bioenergy & Co. Ltd., Korkino, Russia, T.E. MARINCHENKO, scientist. researcher., FGBNU "Rosinformagrotekh", gn. Pravdinsky, Russia
..... 578-584

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ МАСТИТОВ И СТИМУЛЯЦИИ ЛАКТАЦИИ КОРОВ
THE SAFE ECOLOGICAL METHOD AND THE DEVICE FOR THERAPY OF COWS MASTITIS AND STIMULATION OF LACTATION
В.Е. ЛЮБИМОВ, к. биол. наук, доцент, ст. науч. сотр., И.В. ЛЮБИМОВ, магистр, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия
V.E. LUBIMOV, cand. biol. science, associate Professor, senior scientist. et al., I.V. LUBIMOV, master student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 585-591

ОБОБЩЕННЫЙ ГРАФ СОСТОЯНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОРМОВАГОНА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ЖИВОТНЫХ
GENERALIZED GRAPH OF STATES OF AN AUTOMATIC FEED WAGON WHEN SERVICING TECHNOLOGICAL GROUPS OF ANIMALS
А.И. КУПРЕЕНКО, доктор технических наук, доцент, директор, Х.М. ИСАЕВ, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой, С.М. МИХАЙЛИЧЕНКО, аспирант, Брянский Государственный аграрный университет, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., Российская Федерация
A.I. KUPREENKO, doctor of technical Sciences, associate Professor, Director, H.M. ISAEV, candidate of economic Sciences, associate Professor, head of the Department, S.M. MIHAJLICHENKO, post-graduate student, Bryansk state agrarian University, S. Kokino, Vygonichsky district, Bryansk region, Russian Federation

..... 592-598

ЧРЕСКОЖНАЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УДОЕВ И ПРОФИЛАКТИКИ МАСТИТОВ У КОРОВ
PERCUTANEOUS ELECTROSTIMULATION FOR THE INCREASE OF YIELDS OF MILK AND COW MASTITISES PROPHYLAXIS
Г.Н. РОЗОРИНОВ, доктор технических наук, профессор, Н.И. ЧИЧИКАЛО, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", г. Киев, Украина, Н.А. КИКТЕВ, кандидат технических наук, доцент; доцент, Национальный университет биотехнологий и природопользования, г. Киев, Украина
G.N. ROZORINOV, doctor of technical Sciences, Professor, N.I. CHICHIKALO, doctor of technical Sciences, Professor, national technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, N.A. KIKTEV, candidate of technical Sciences, associate Professor; associate Professor, national University of biotechnology and nature management, Kiev, Ukraine
..... 599-605

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАПСУЛАМ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ТРИХОГРАММЫ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
THE MAIN REQUIREMENTS TO THE CAPSULES FOR INTRODUCTION OF TRICHOGRAMMA FROM A UAV
А.Ю. СПИРИДОНОВ, аспирант, м.н.с., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
A.YU. SPIRIDONOV, postgraduate student, Junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 606-611

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАДОМ НА МОЛОЧНОЙ ФЕРМЕ
THE DIGITAL MANAGEMENT SYSTEM ON DAIRY FARM
Ю.А. ЦОЙ, доктор техн. наук, член-корреспондент РАН, заведующий отделом, Р.А. БАИШЕВА, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
YU.A. COJ, doctor of tech. sci., cor. memb. RAS, head of Department, R.A. BAISHEVA, cand. tech. sci., senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
..... 612-617

РАСЧЕТ РАССТОЯНИЯ ОТ ИСТОЧНИКА УФ ОБЛУЧЕНИЯ ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО НЕОБХОДИМУЮ ДОЗУ ЭФФЕКТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ
THE CALCULATION OF THE DISTANCE FROM THE SOURCE OF UV RADIATION PROVIDES THE NECESSARY EFFECTIVE DOSE OF RADIATION
***ДОВЛАТОВ И.М., ЮФЕРЕВ Л.Ю.**, д. т. н, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
***DOVLATOV I.M., YUFEREV L.Yu.,** Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*
..... 618-625

СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ОБЕСПЫЛИВАНИЮ ВОЗДУХА АЭРОЗОЛЬНОЙ СМЕСЬЮ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ
COMPARISON OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DATA ON THE PROTECTION OF AIR BY AEROSOL MIXTURE IN AGRICULTURAL PREMISES
***ДОВЛАТОВ И.М., ЮФЕРЕВ Л.Ю.**, д. т. н, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
***DOVLATOV I.M., YUFEREV L. Yu.,** Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia,*
..... 626-632

УДК 535.37:57.087

МЕТОДИКА ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ СПЕЛОСТИ СЕМЯН РАСТЕНИЙ ПРИ СОЗРЕВАНИИ

METHODOLOGY OF OBJECTIVE CONTROL OF MEMBERSHIP OF SEASONS OF RAS-CHANGES AT RIPE

М. В. БЕЛЯКОВ, *к. т. н., доцент,* ***В. О. БУЛАТИКОВА,*** *студентка,*
К. А. ТАРАСЕНКОВ, *студент, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Смоленск, Россия*

M. V. BELYAKOV*, cand. tech. sci., associate professor,* ***V. O. BULATIKOVA****, student,* ***K. A. TARASENKOV****, student, branch of FGBOU in "NIU" MEI ", Smolensk, Russia*

Аннотация*. В данной статье рассмотрен фотолюминесцентный метод объективного определения степени спелости семян сельскохозяйственных растений. Приведены графики спектральных зависимостей возбуждения для семян овса. Представлены структурная и функциональная схемы методики контроля спелости семян. Выбраны основные элементы прибора для реализации разработанной методики.*

Ключевые слова*: анализатор фотолюминесценции, поток излучения, семена растений, степень спелости, спектры возбуждения и люминесценции.*

Abstract*. In this article, the photoluminescent method of objective determination of the degree of ripeness of seeds of agricultural plants is considered. Graphs of spectral dependences of excitation for oat seeds are given. Structural and functional schemes of seed ripening control are presented. The basic elements of the device are chosen for the implementation of the developed methodology.*

Keywords*: photoluminescence analyzer, radiation flux, plant seeds, degree of ripeness, excitation and luminescence spectra.*

Объективное определение спелости семян растений является одним из направлений развития сельскохозяйственных электротехнологий с целью внедрения современных методов контроля в растениеводстве. Оптические методы и средства диагностики и контроля являются высокоточными, селективными, экспрессными, а также дистанционными и неразрушающими. Другими достоинствами таких приборов являются простота и безопасность их эксплуатации, минимум субъективных факторов и возможность интеграции в действующие современные сельскохозяйственные машины и аппараты [1].

При разработке оптических фотолюминесцентных методов оценки параметров семян проводили определение спектральных люминесцентных характеристик и параметров семян растений различной степени спелости. Для исследований были подготовлены семена пшеницы и овса различной спелости (1 срок – молочная спелость, 2 срок – молочно-восковая спелость, 3 срок –

восковая спелость, 4 срок – спелые семена). Из подготовленных семян отбирали по 30 штук, у которых измеряли спектры возбуждения $\eta_э(\lambda)$ и люминесценции $\varphi_л(\lambda)$. Для измерения спектральных характеристик использовали спектрофлуориметр «Флюорат-02-Панорама», с программным обеспечением PanoramaPro. Измерение спектров проводили по ранее разработанной методике [2-5]. Результаты были подвергнуты статистической обработке.

Были исследованы спектральные характеристики семян овса и пшеницы в процессе их созревания. Вначале были измерены синхронные спектры, являющиеся первым приближением спектров возбуждения $\eta_э(\lambda)$, полученными для широкого спектрального интервала. Полученные результаты для семян овса представлены на рис. 1.

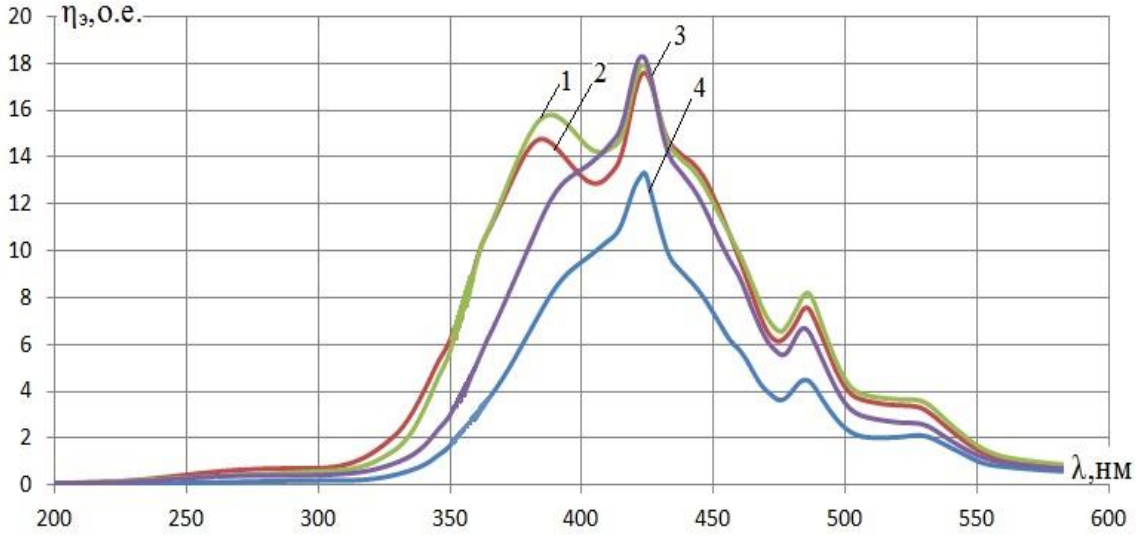


Рисунок 1 - Спектральные характеристики синхронного сканирования семян овса: 1– молочная спелость, 2 – молочно-восковая спелость, 3 –восковая спелость, 4 – спелые семена.

Максимумы полученных зависимостей $\eta_э(\lambda)$ находятся примерно на длинах волн 362 нм, 424 нм, 485 нм. Далее в программе PanoramaPro были рассчитаны интегральные значения Н в диапазонах, соответствующих областям первого (250-410 нм), второго (410-470 нм) и третьего (470-550 нм) пиков. В табл. 1 представлены как абсолютные значения рассчитанных интегралов, так и относительные, считая средний пик равным единице.

Табл. 1

Интегральные параметры спектров синхронного сканирования семян овса при созревании

Срок	Значение	Н, о.е. (для спектрального диапазона, нм)		
		250-410	410-470	470-550
1	абсолютное	948	792	369
	относительное	1,20	1	0,46
2	абсолютное	936	782	341
	относительное	1,19	1	0,44
3	абсолютное	678	463	288

	относительное	1,46	1	0,62
4	абсолютное	425	528	206
	относительное	0,81	1	0,39

По итогам спектральных измерений фотолюминесценции при возбуждении на длинах волн $\lambda_к$=362 нм и $\lambda_д$=485 нм путём интегрирования рассчитаны потоки фотолюминесценции $Ф_к$ и $Ф_д$. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Табл. 2

Потоки фотолюминесценции семян овса на различных сроках созревания

Срок	спектр люминесценции		
	$Ф_к$, о.е.	$Ф_д$, о.е.	$Ф_д$ / $Ф_к$
1	1065	757	0,68
2	1112	766	0,71
3	712	588	0,83
4	935	1025	1,09

Из графика видно, что при созревании семян, отношение потоков увеличивается. При превышении потока длинноволновой фотолюминесценции над коротковолновой семена можно считать спелыми.

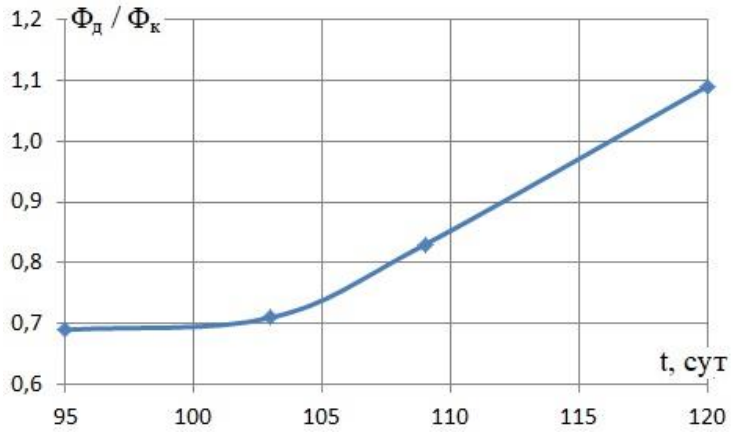


Рисунок 2 - Зависимость отношения потоков фотолюминесценции семян овса от времени посева.

На основе полученных результатов предложена методика определения степени спелости семян, аналогичная методике [6]. Структурная схема методики представлена на рис. 3.

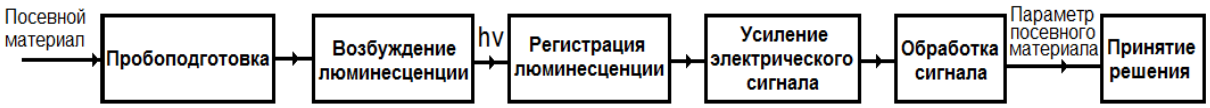


Рисунок 3 - Структурная схема методики оценки степени спелости семян.

Предлагаемая методика определения спелости семян включает в себя следующие этапы:

1. Для исследования с нескольких растений одной культуры отбирают несколько семян. Затем их помещается в темную светонепроницаемую камеру. Далее семена облучается двумя источниками излучения (светодиодами) с длинами волн 362 нм и 485 нм с целью возбуждения фотолюминесценции.

2. Люминесценция регистрируется двумя фотоприемниками (фотодиодами) с рабочими диапазонами: первый – 380-600 нм; второй – 510-600 нм.

3. Электрический сигнал с фотодиодов усиливается усилителем, преобразуется в цифровую форму и поступает на микроконтроллер.

4. На микроконтроллере происходит расчет отношения потока длинноволновой фотолюминесценции к потоку коротковолновой фотолюминесценции.

5. Полученный результат поступает на выходное индикаторное устройство. С учетом полученных данных определяется на какой стадии созревания находятся семена. Исходя из результатов, представленных на рисунке 2, семена овса будут считаться спелыми, если отношение длинноволнового потока овса к коротковолновому будет превышать 1.

На рис. 4 представлена функциональная схема технологии определения спелости семян.

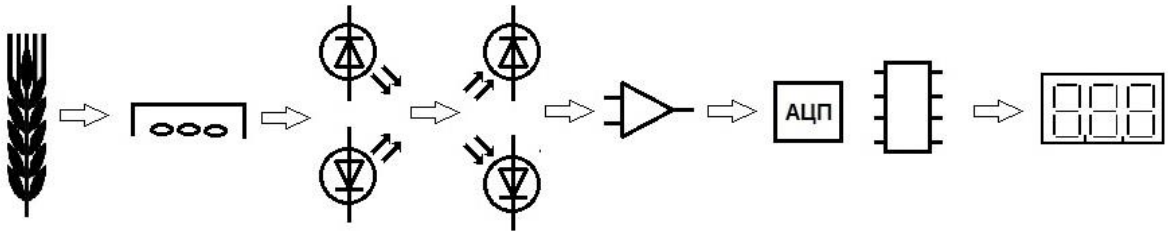


Рисунок 4 - Функциональная схема технологии определения спелости семян.

При этом в качестве источников возбуждения семян могут быть использованы: коротковолновый светодиод с длиной волны 362 нм, длинноволновый светодиод с длиной волны 485 нм.

Первый источник – ультрафиолетовый светодиод высокой мощности VLMU3510, выполненный в керамическом корпусе для поверхностного монтажа с силиконовой линзой. Размер корпуса составляет 3,45 × 3,45 мм, мощность излучения достигает 835 мВт при прямом токе 500 мА, а длина волны от 362,5 нм до 370 нм. Второй источник – светодиод повышенной яркости XPEBBL-L1-R250-00Z01 серии XLamp XP-E2, имеющий следующие параметры: цвет – синий; длина волны – 485 нм; световой поток – 35,2 лм; максимальный прямой ток – 1 А;.

Также были выбраны фотоприемники: первый приемник – фотодиод S9219-01. Имеет следующие параметры: фоточувствительная область 3,6×3,6 мм; обратное напряжение – 5 В; спектральный диапазон от 380 до 780 нм; светочувствительность – 0,22 А/Вт; темновой ток - 50 мА; время нарастания – 0,5 мкс. Второй приемник – фотодиод BPW21R. Имеет следующие параметры: диаметр 8,13 мм; дина волны от 420 до 675 нм; светочувствительная

поверхность 7,5 мм^2; угол обзора 100°. Длина волны в точке максимальной чувствительности – 565 нм.

Разработанная методика оптического люминесцентного анализа спелости семян основана на измерении соотношения потоков длинноволновой и коротковолновой фотолюминесценции при возбуждении излучением 485 нм и 362 нм. Используемая оптическая схема и элементная база позволяют получить прибор экспресс-анализа семян при созревании, аналогичный [7-10].

Список литературы

1. Беляков М. В., Башилов А. М. Оптическая люминесцентная диагностика семян сельскохозяйственных растений. Монография. // Смоленск: Универсум, 2017. – 180 с.
2. Беляков М. В. Изменение люминесцентных характеристик семян пшеницы в процессе созревания // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2017, №6, с. 38-41.
3. Belyakov M. V., Bulatikova V. O., Dimkova V. V., Dymnikova A. G. Photoluminescent characteristics wheat seeds of different ripeness // XXXIII International scientific and practical conference «International scientific review of the problems and prospects of modern science and education». – Boston, USA, International scientific review. – 2017. – № 4 (35), p. 27-31.
4. Зиенко С. И., Беляков М. В. Характеристики и параметры спектров фотолюминесценции семян зерновых растений // Известия Международной академии аграрного образования, 2016, вып. 31, с. 157-160.
5. Беляков М. В., Булатикова В.О., Дымкова В.В., Дымникова А.Г. Изменения спектральных свойств фотолюминесценции семян пшеницы в процессе созревания // Энергетика, информатика, инновации – 2016: Сб. трудов VI Межд. науч.-техн. конф. - Смоленск: Универсум, 2016. –т. 2, С.23-26.
6. Беляков М. В. Определение всхожести семян растений люминесцентным методом // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2017, №3(52), с. 35-40.
7. Беляков М. В., Березникова Л. А. Инновационный прибор фотолюминесцентного контроля параметров семян растений // Вестник НГИЭИ, 2017, №11(78), с. 46-58.
8. Беляков М. В. Оптический люминесцентный анализатор всхожести семян растений // Инновации в сельском хозяйстве, 2017, №2(23), с. 73-82.
9. Беляков М. В. Светотехническая часть люминометра для диагностики семян // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2016, №9, с. 185-187.
10. Беляков М. В., Выборнова Е. И. Разработка люминесцентного анализатора всхожести семян агрокультур // Вестник НГИЭИ, 2017, №1(68), с. 39-52.

References

1. Belyakov M. V., Bashilov A. M. Opticheskaya lyuminescentnaya diagnostika semyan sel'skohozyajstvennyh rastenij. Monografiya [Optical luminescent diagnostics of seeds of agricultural plants. Monograph.]. // Smolensk: Universum, 2017. – 180 p.
2. Belyakov M. V. Izmenenie lyuminescentnyh harakteristik semyan pshenicy v processe sozrevaniya [Changes in the luminescent characteristics of wheat seeds during ripening] // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii, 2017, No.6, pp. 38-41.
3. Belyakov M. V., Bulatikova V. O., Dimkova V. V., Dymnikova A. G. Photoluminescent characteristics wheat seeds of different ripeness // XXXIII International scientific and practical conference «International scientific review of the problems and prospects of modern

science and education». – Boston, USA, International scientific review. – 2017. – No. 4 (35), p. 27-31.

4. Zienko S. I., Belyakov M. V. Harakteristiki i parametry spektrov fotolyuminescencii semyan zernovyh rastenij [Characteristics and parameters of the photoluminescence spectra of seeds of grain plants] // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya, 2016, vyp. 31, p. 157-160.

5. Belyakov M. V., Bulatikova V.O., Dymkova V.V., Dymnikova A.G. Izmeneniya spektral'nyh svojstv fotolyuminescencii semyan pshenicy v processe sozrevaniya [Changes in the spectral properties of the photoluminescence of wheat seeds during ripening] // EHnergetika, informatika, innovacii [Energy, computer science, innovation] – 2016: Sb. trudov VI Mezhd. nauch.-tekhn. konf. - Smolensk: Universum, 2016. –t. 2, p.23-26.

6. Belyakov M. V. Opredelenie vskhozhesti semyan rastenij lyuminescentnym metodom [Determination of plant germination by the luminescent method] // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii, 2017, No.3(52), p. 35-40.

7. Belyakov M. V., Bereznikova L. A. Innovacionnyj pribor fotolyuminescentnogo kontrolya parametrov semyan rastenij [Innovative device photoluminescent control parameters of plant seeds] // Vestnik NGIEHI, 2017, No.11(78), p. 46-58.

8. Belyakov M. V. Opticheskij lyuminescentnyj analizator vskhozhesti semyan rastenij // Innovacii v sel'skom hozyajstve [Optical luminescent analyzer of germination of plant seeds // Innovations in agriculture], 2017, No.2(23), pp. 73-82.

9. Belyakov M. V. Svetotekhnicheskaya chast' lyuminometra dlya diagnostiki semyan [The lighting part of the luminometer for the diagnosis of seeds] // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii, 2016, No.9, pp. 185-187.

10. Belyakov M. V., Vybornova E. I. Razrabotka lyuminescentnogo analizatora vskhozhesti semyan agrokul'tur [Development of a luminous seed germination analyzer for agricultural crops] // Vestnik NGIEHI, 2017, No.1(68), pp. 39-52.

УДК 620:631.365.22

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗЕРНО

DEVELOPMENT OF LABORATORY STAND OF ELECTROPHYSICAL INFLUENCE ON GRAIN

Д.А. БУДНИКОВ, *ведущий научный сотрудник, ФБГНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", г. Москва, Россия*

D.A. BUDNIKOV, *lead researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация. *Разработка режимов обработки с применением электротехнологий в общем и электромагнитных полей, в частности, может позволить снизить себестоимость процессов таких процессов послеуборочной обработки зерна как сушка и обеззараживание. При их разработке необходимо учитывать виды применяемых электротехнологий, таких как, например, инфракрасные (ИК) поля, поля сверхвысокой частоты (СВЧ) и т.д. В случае применения ИК и СВЧ полей происходит прямой нагрев обрабатываемого материала без посредства теплоносителя, обусловленный влиянием поля на молекулы воды, содержащейся в зерне. Так как зерно является коллоидным капиллярно-пористым телом, то влага в нем может находиться как в связанном, так и в свободном состояниях, что также оказывает влияние на свойства материала и протекание тепловых процессов. При разработке оборудования, применяющего данных технологий необходимо учитывать глубину проникновения поля в материал. Глубина проникновения, в свою очередь зависит от материала и его свойств, а также от параметров электромагнитного поля и других влияющих факторов. Таким образом разработка оборудования для энерго- и ресурсосберегающей послеуборочной обработки зерновых не теряет своей актуальности. В данной статье описаны ключевые характеристики разрабатываемой лабораторной установки послеуборочной обработки зерна с применением электрофизических способов воздействия. Приведены уровни мощностей, перечень воздействующих факторов и некоторые*

Abstract. *Thermal treatment is used for different grain crops during the processes of drying, disinfection and preparation to feeding, etc. The high cost of the processes is caused by the cost of energy and the energy-output ratio of the processes. The development of the processing regimes with the use of electric technologies in general and electromagnetic fields in particular can reduce the cost of the mentioned processes. It's necessary to take into account the types of the applied electric technologies, for example infrared (IR) fields, microwave (MW) fields, etc. When IR and MW fields are used, there occurs the direct heating of the grain material without the coolant, due to the effect of the field on water molecules in the kernels. As the grain is a colloid capillary-porous substance, moisture can be in a bound or free state, that effects on the properties of the material and the thermal processes in it. During the design of the equipment which uses these technologies, it's essential to take into account the penetrating depth of the field into the material. The penetrating depth depends on the material and its properties, and the parameters of the electromagnetic field and other influencing factors. Thus development of equipment for energy-saving grain postharvest processing is not losing its relevance. For its effective implementation it is reasonable to apply the most promising solutions in electrotechnologies, such as the use of air ions. The article describes the key characteristics of the developed laboratory post-harvest grain processing plant using electrophysical methods of action.*

конструктивные параметры зоны обработки зерновой массы.

***Ключевые слова**: микроволновое поле, тепловая обработка зерна, электрофизическое воздействие, прямой нагрев, диэлектрик, озон, аэроионы.*

***Keywords**: microwave field, heat treatment of grain, field strength, direct heating, dielectrics, modeling of EM fields.*

В процессе послеуборочной обработки и хранения теряется около 10% валового сбора зерна. Это происходит из-за несвоевременной сушки зерна, поражения его вредителями и микроорганизмами. В зависимости от технологии почвообработки до 30% зерна уже после уборки может быть заражено микотоксинами, что не позволяет без специальной обработки использовать его ни в хлебопечении, ни для кормопроизводства. Поэтому сушка и обеззараживание являются важными элементами технологической цепи подработки и хранения зерна [1-4]. Разработка лабораторного оборудования для исследования процессов переработки сельскохозяйственной продукции сопряжено со сложностью построения на их основе промышленных установок. Это обуславливается сложностью масштабирования результатов и моделирования процессов в зерновом слое. Высокая энергоемкость процессов послеуборочной обработки зерновых подтверждает необходимость проведения исследования процессов тепло- и влагопереноса, их интенсификации, в том числе с использованием электрофизических воздействий [1, 3, 5-9].

Энергоёмкость процесса сушки составляет не менее 20% от энергозатрат на производство зерна [2, 4]. Поэтому снижение энергоёмкости процесса и увеличение производительности является одним из основных направлений в научных исследованиях по данной тематике. Применение электротехнологических воздействий и различных технологических операций позволяет снизить затраты и интенсифицировать процесс обработки. Использование комбинации электротехнологических воздействий позволяет подойти к комплексному решению проблемы сушки-обеззараживания зерна [2, 3, 9, 10].

В связи с указанным выше, цель настоящей работы можно сформулировать следующим образом – разработать лабораторную установку, позволяющую исследовать комбинированные электротехнологические воздействия на процессы тепло- и влагопереноса в зерновой массе.

Для достижения поставленной цели в данной работе использованы как ранее опубликованные материалы [1-10], так и новые исследования. В рамках требуемых исследований лабораторная установка должна обеспечивать вариативность состояния слоя, режима работы магнетронов, режима вентиляции, конструкции воздухосмесительной камеры, зоны электромагнитного воздействия, а также контроль параметров процесса.

В результате получены следующие характеристики:

Состояние слоя: плотный неподвижный; плотный малоподвижный; псевдоожиженный; взвешенный (0÷800 кг/м^3).

Режим движения обрабатываемого материала: порционный; непрерывный. Обеспечивается за счет системы выгрузки и управления посредством преобразователя частоты (ПЧВ).

Режим работы магнетронов: постоянный; импульсный; поочередный. Обеспечивается управляющей программой, прописанной в промышленный контроллер.

Режим вентиляции: поперечная (сушка в плотном слое); встречно движению материала (псевдоожижение); управление скоростью воздушного потока с помощью ПЧВ. Режим вентиляции обеспечивается конструкцией воздуховодов.

Блоки питания в отдельном корпусе (корпусах), обеспечивающем требуемый температурный режим.

Воздуховоды: жесткий трубопровод с учетом температуры воздуха до 65 °С; переключение подачи воздуха снизу/поперечно слою; наличие воздухосмесительной камеры; забор воздуха от охлаждения БП и магнетронов; возможность подачи наружного воздуха.

Конструкция воздухосмесительной камеры содержит: входы (охлаждение БП; наружный с возможностью дополнительного подогрева; ОВС (от озонатора/ионизатора); выходы (по уровням сушки/охлаждения зерна; противопоток для создания взвешенного / псевдоожиженного слоя); отвод для сбрасывания воздуха после охлаждения БП и магнетронов для экспериментов с озоном и аэроионами.

Контролируемые параметры: скорость воздушного потока (вход/выход); температура воздуха (наружного, на выходе охлаждения блоков питания, на выходе охлаждения магнетронов, выход смесительной камеры, вход/выход зернового слоя; температура: каждого БП, каждого магнетрона, в зерновом слое, температурная полоска (вертикальная/горизонтальная); наличие материала: верхний/нижний уровень загрузочного бункера; напряженность поля в слое; влажность воздуха (наружного; на входе в зерновой слой; на выходе слоя); токов БП магнетронов; напряжений БП; мощность, потребляемая установкой.

Рабочие зоны (зона активной СВЧ обработки): изменяемая форма продуктопровода; изменяемое расположение и форма волноводов; изменяемые форма и расположение воздуховодов; разделение слоя по зонам фторопластовыми пластинами. На Рис. 1 представлены 2 варианта зон СВЧ-конвективной обработки, реализованные в лабораторной установке.

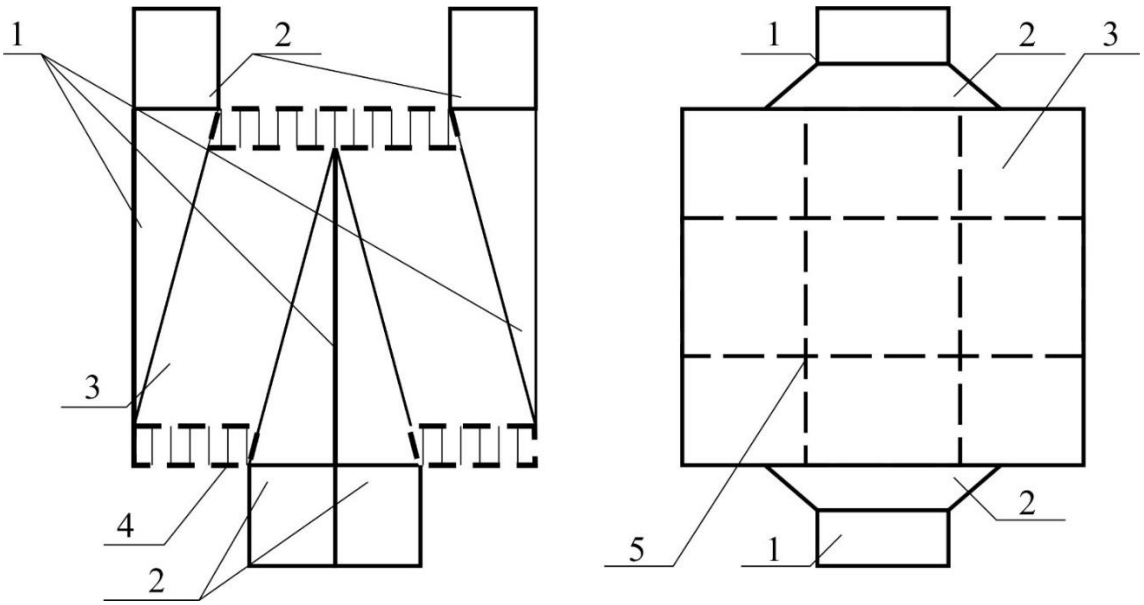


Рисунок 1 – Варианты зоны СВЧ-конвективной обработки (вид сверху):
1 – рупор СВЧ антены, 2 – волновод, 3 – продуктопровод, 4 – воздуховод, 5 – фторопластовые перегородки

Источники СВЧ мощности (магнетроны): количество магнетронов на уровень 1-2; частота 915 МГц, 2,45 ГГц; мощность 0,2; 0,6; 0,8; 1; 2 кВт.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная лабораторная установка позволяет проводить исследование процессов тепло- и влагопереноса в зерновом слое при воздействии электрофизических факторов.
2. Лабораторная установка позволит исследовать динамику тепловой обработки сыпучих материалов с применением СВЧ поля, озоновоздушных смесей, ионизированного агента сушки и без них как в плотном, так и во взвешенном слое, а также получить кривые сушки.
3. Необходимо спланировать и провести экспериментальную проверку комбинированного воздействия электрофизических факторов на процессы тепло- и влагопереноса в зерновом слое.

Список литературы

1. Stuart Nelson: Dielectric Properties of Agricultural Materials and Their Applications – Academic Press (2015), 229p.
2. Оспанов А.Б., Васильев А.Н. и др. Совершенствование процессов сушки и обеззараживания зерна в СВЧ поле. Монография. – Алматы: Нур-Принт, 2017. - 163с. ISBN 978-601-7869-71-7.
3. Васильев А.Н. и др. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. Концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. Научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей, Федеральное агентство научных организаций ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, отчет о НИР 2017. 115 с.

4. Baptista F. Energy Efficiency in Agriculture // F. Baptista, L.L. Silva, C. de Visser/ 5th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management. Lisbon, Portugal 2013.

5. E. Pallai-Varsányi, M. Neményi, A. J. Kovács, E. Szijjártó Selective Heating of Different Grain Parts of Wheat by Microwave Energy Advances in Microwave and Radio Frequency Processing pp 312-320.

6. Ranjbaran M, Zare D.: Simulation of energetic- and exergetic performance of micro-wave-assisted fluidized bed drying of soybeans, Energy (2013), http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.06.057

7. Васильев А.Н., Грачева Н.Н. Обоснование возможности использования электроактивированного воздуха для интенсификации сушки зерна // Методы и средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сборник научных трудов. СтГАУ. Ставрополь, 2010. - С. 291-293.

8. Vasilyev A., Budnikov D., Gracheva N. The mathematical model of grain drying with the use of electroactivated air. Research in Agricultural Electric Engineering.Vol. 1, 2014, №5:32-37.

9. Vasiliev A.N., Budnikov D.A., Gracheva N.N., Smirnov A.A. Increasing Efficiency of Grain Drying With the Use of Electroactivated Air and Heater Control // Handbook of Research on Renewable Ener-gy and Electric Resourcesfor Sustainable Rural Development / ed. by V. Kharchenko, P. Vasant. — USA, PA, Hershey: IGI Global, 2018. — P. 255–282. — ISBN 9781522538677. — DOI: 10.4018/978- 1- 5225- 3867- 7.ch011. — URL: https://www.igi-global.com/chapter/increasing-efficiency-of-grain-drying-with-the-use-of-electroactivated-air-and-heater-control/201341

10. A.N. Vasilev, D.A. Budnikov, A.B. Ospanov, D.K. Karmanov, G.K. Karmanova, D.B. Shalginbayev, A.A. Vasilev Controlling reactions of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology IJPT, Dec-2016, vol. 8, Issue No. 4, 26855-26869 pp., ISSN: 0975-766X.

References

1. Stuart Nelson: Dielectric Properties of Agricultural Materials and Their Applications – Academic Press (2015), 229p.

2. Ospanov A.B., Vasil'ev A.N. i dr. Sovershenstvovanie processov sushki i obezzarazhivaniya zerna v SVCH pole. Monografiya [Improving the process of drying and disinfecting grain in the microwave field. Monograph]. – Almaty: Nur-Print, 2017. – 163 p. ISBN 978-601-7869-71-7.

3. Vasil'ev A.N. i dr. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. Koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva.Nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej, Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij FGBNU FNAC VIM, Moskva [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for processing feed, fertilizer, crop waste. Scientifically based parameters of energy-saving combined units for disinfecting air and surfaces, Federal Agency for Scientific Organizations FSBI FNATS VIM, Moscow], otchet o NIR 2017. 115 p.

4. Baptista F. Energy Efficiency in Agriculture // F. Baptista, L.L. Silva, C. de Visser/ 5th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management. Lisbon, Portugal 2013.

5. E. Pallai-Varsányi, M. Neményi, A. J. Kovács, E. Szijjártó Selective Heating of Different Grain Parts of Wheat by Microwave Energy Advances in Microwave and Radio Frequency Processing pp 312-320.

6. Ranjbaran M, Zare D.: Simulation of energetic- and exergetic performance of micro-wave-assisted fluidized bed drying of soybeans, Energy (2013), http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.06.057

7. Vasil'ev A.N., Gracheva N.N. Obosnovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya ehlektroaktivirovannogo vozduha dlya intensifikacii sushki zerna // Metody i sredstva povysheniya ehffektivnosti ispol'zovaniya ehlektrooborudovaniya v promyshlennosti i sel'skom hozyajstve [Substantiation of the possibility of using electroactivated air to intensify the drying of grain // Methods and means of increasing the efficiency of using electrical equipment in industry and agriculture]: sbornik nauchnyh trudov. StGAU. Stavropol', 2010. - pp. 291-293.

8. Vasilyev A., Budnikov D., Gracheva N. The mathematical model of grain drying with the use of electroactivated air. Research in Agricultural Electric Engineering.Vol. 1, 2014, No.5:32-37.

9. Vasiliev A.N., Budnikov D.A., Gracheva N.N., Smirnov A.A. Increasing Efficiency of Grain Drying With the Use of Electroactivated Air and Heater Control // Handbook of Research on Renewable Ener-gy and Electric Resourcesfor Sustainable Rural Development / ed. by V. Kharchenko, P. Vasant. — USA, PA, Hershey: IGI Global, 2018. — P. 255–282. — ISBN 9781522538677. — DOI: 10.4018/978- 1- 5225- 3867- 7.ch011. — URL: https://www.igi-global.com/chapter/increasing-efficiency-of-grain-drying-with-the-use-of-electroactivated-air-and-heater-control/201341

10. A.N. Vasilev, D.A. Budnikov, A.B. Ospanov, D.K. Karmanov, G.K. Karmanova, D.B. Shalginbayev, A.A. Vasilev Controlling reactions of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology IJPT, Dec-2016, vol. 8, Issue No. 4, 26855-26869 pp., ISSN: 0975-766X.

УДК 631.563.2

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА И ТЕПЛООБМЕНА В БЛОКАХ ПИТАНИЯ МАГНЕТРОНОВ СВЧ УСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ANALYSIS OF HEATING PROCESSES AND HEAT TRANSFER IN THE POWER SUPPLIES FOR THE MAGNETRONS OF THE MICROWAVE INSTALLATIONS FOR AGRICULTURAL PURPOSES

А.А. ВАСИЛЬЕВ, *научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия*

A.A. VASIL'EV*, researcher, Federal state budget scientific institution, Federal scientific center of agricultural engineering VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В статье проводится анализ нагрева и теплообмена в трансформаторах блоков питания магнетронов, используемых в СВЧ установках сельскохозяйственного назначения. В основном установках обеззараживания и сушки зерна. Рассмотрены работы российских и зарубежных исследователей, и на их основе выбрано направления для исследования теплообмена для разрабатываемых блоков питания.*

Ключевые слова*: теплообмен, трансформатор, блок питания магнетрона, СВЧ.*

Abstract*. The article analyzes heating and heat transfer in transformers of power supplies of magnetrons used in microwave installations for agricultural purposes. Basically installations of disinfection and drying grain. Considered the work of Russian and foreign researchers, and based on these selected areas for heat transfer studies for developed power supplies.*

Keywords*: heat exchange, transformer, magnetron supply, microwave.*

Цель исследования: на основании проведенного анализа существующих исследований и компьютерного моделирования теплообмена создать набор блоков питания магнетронов для установок микроволновой обработки зерна, обеспечивающих беспрерывную работу магнетронов в течение 8 часов.

Задача исследования провести анализ теоретических и экспериментальных исследований процессов нагрева и теплообмена в блоках питания магнетронов СВЧ установок сельскохозяйственного назначения.

Как показано на рисунке ниже, схема блока питания магнетрона состоит из высоковольтного трансформатора на 2800 В, включающего в себя накальную обмотку на 3,15 В, умножителя напряжения и предохранителя. Наибольшему нагреву и выходу из строя при длительной работе подвержен высоковольтный трансформатор.

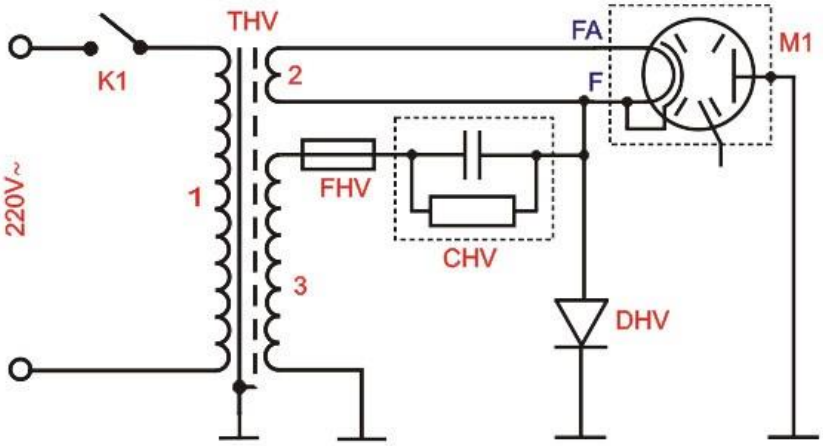


Рисунок 1 – Схема блока питания магнетрона

Согласно ГОСТ Р 54827-2011, максимальная температура, при которой может работать сухой трансформатор, составляет 105 °С. При этом следует учитывать, что при длительной работе на данной температуре происходит быстрое старение изоляции и трансформатор выходит из строя в два раза быстрее. Нормальная температура работы трансформатора, при которой сохраняются его эксплуатационные качества, составляет 90 °С. Соответственно необходимо разработать такую компоновку трансформаторов и системы охлаждения, чтобы обеспечить необходимый температурный режим.

Был проведен поиск теоретических и экспериментальных исследований процессов нагрева и теплообмена в сухих трансформаторах. Проанализированы работы таких ученых, как Котенев С.В., Евсеев А.Н, Патлахов В. Е., Пентегов И. В., Иванков В. Ф., Kulkarni S.V., Лыков А. В. и многих других.

В основу расчета теплового режима трансформатора положено классическое уравнение [3,15]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\left(+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (1)$$

где x, y и z принимают значения от нуля до границы поверхности трансформатора и воздуха (Рис. 2), $a = \lambda / c\rho$ - коэффициент температуропроводности, λ - коэффициент теплопроводности и T_0 – температура окружающей среды.

Теплообмен с окружающей средой на поверхности трансформатора описывается следующим уравнением:

$$-\lambda \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_s = \alpha(T|_s - T_0) \quad (2)$$

где S – поверхность стенки, α – коэффициент теплоотдачи среды (воздух спокойный, поток воздуха, масло).

В качестве источников тепла в трансформаторе рассматриваются потери тока в обмотке трансформатора и потери в магнитопроводе [6,7,8]. Методы расчета и граничные условия в математических моделях в анализируемых исследованиях отличаются в зависимости от сложности исполнения самого трансформатора и состава окружающей среды. Практика показывает, что при

расчете процессов теплообмена тепловым излучением трансформатора можно пренебречь [2,15].

В проанализированных работах показана зависимость между температурой трансформатора и величиной тока, потребляемого трансформатором [4,11,13]. В дальнейшем это позволит контролировать перегрев блоков питания в разрабатываемой установке по СВЧ обработке зерна автоматически.

С учетом проведённого обзора работ, необходимо создать математическую модель нагрева и теплообмена в блоках питания магнетронов СВЧ установок сельскохозяйственного назначения. В работах Патлахова В. Е.[1] при создании математической модели поля температур реальная структура обмоток трансформатора заменялась анизотропной структурой с эквивалентными значениями теплопроводности по трем характерным направлениям. При этом ввиду симметричности, моделирование проводилось только для четверти трансформатора. Для упрощения моделирования в своей модели примем такие же допущения.

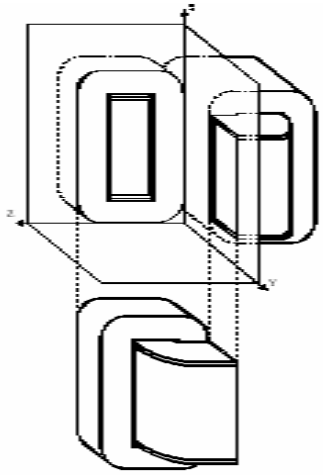


Рисунок 2 – Выбор зоны моделирования трансформатора.

Поскольку отведение тепла с поверхности трансформатора происходит в основном за счет конвекции, для построения математической модели необходимо задать граничные условия принимая в расчет геометрию трансформатора и компоновку их в блоке питания, а также рассчитать необходимые коэффициенты теплоотдачи, при которых трансформатор не будет перегреваться.

В существующих моделях блоков питания, в том числе используемых и в установках сельскохозяйственного назначения, увеличение теплоотдачи с поверхности трансформатора осуществляется за счет создания потока воздуха, обдувающего трансформатор, или за счет установки радиаторов охлаждения непосредственно на сам трансформатор [16]. Наиболее греющиеся части трансформатора могут быть соединены с радиатором теплоотводящими шинами. Разработки блоков питания промышленных микроволновых установок велись в США, Японии и Китае [17], пример данного блока питания представлен на Рис. 3.

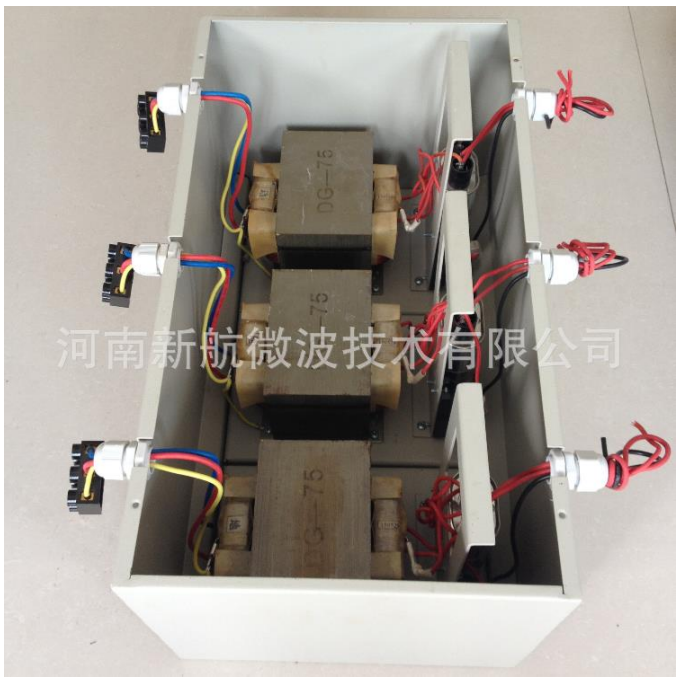


Рисунок 3 – Контейнер для масленого охлаждения трансформаторов блока питания микроволновой печи [17].

Выводы: необходимо задать граничные условия и разработать математическую и компьютерную модель для нагрева трансформатора блока питания магнетрона в установках сельхозназначения. При моделировании выяснить оптимальную компоновку нескольких трансформаторов в блоке питания с воздушным охлаждением. Если при построении математической модели и моделировании выяснится, что при охлаждении напором воздуха невозможно обеспечить необходимые коэффициенты теплоотдачи, в качестве хладагента может быть выбрано масло.

На данный момент не один расчет блоков питания и трансформаторов не проходит без компьютерного моделирования. Для компьютерного моделирования используются как программы, написанные для конкретного вида трансформаторов [2], так и многофункциональные средства проектирования, такие как Comsol Multiphysics и ANSYS [4,10,11,14]. В любом случае компьютерное моделирование позволит подтвердить адекватность разработанной математической модели и выбранной компоновки блоков питания магнетронов СВЧ установок сельскохозяйственного назначения.

Список литературы

1. Патлахов В.Е. Исследование и проектирование трансформаторов малой мощности повышенной частоты оптимальных по массе // автореф. дис. на соиск. учен. степ. танд. тех. наук / Самарский государственный технический университет. - Самара, 2006. – 20 с.

2. Кутарев А.М., Патлахов В.Е. К вопросу проектирования трансформаторов малой мощности повышенной частоты оптимальных по массе // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 9 (59). С. 312-316.

3. Хисматуллин А. С. Гареев И. М. Расчет трехмерного температурного поля в силовых масляных трансформаторах с элегазовым охлаждением // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10 (часть 3) – С. 534-537

4. Кучерявая И. Н. Компьютерное моделирование тепловых процессов в однофазном трансформаторе с учетом анизотропии тепловых свойств активных элементов // ISSN 1607-7970. Техн. электродинамика. 2014. № 1 – С. 20-27

5. ГОСТ Р 54827-2011 Трансформаторы сухие. Общие технические условия

6. Пентегов, И. В. (2014). К теории метода тепловых источников, используемого при анализе тепловых процессов в электротехнических системах. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 10 (3), 5-14.

7. Иванков В. Ф., Басова А. В., Шульга Н. В. (2014). Электротепловые расчетные модели элементов конструкции трансформаторного оборудования. Електротехніка і електроенергетика, (2), 41-52.

8. Филлипов Н.Ф. Основы теплообмена в электрических машинах. – Ленинградское отделение: Энергия, 1974. – 384 с.

9. Babaie H., Farahani H.F. Analysis of thermal behavior of high frequency transformers using finite element method. // Journal of Electromagnetic Analysis & Applications (JEMAA). – 2010. – No. 2. – Pp. 627–632.

10. Comsol Multiphysics – http://www.comsol.ru

11. Lussier D.T., Ormiston S.J., Marko R.M. Theoretical determination of anisotropic effective thermal conductivity in transformer windings // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2003. – Vol. 30. – No. 3. – Pp. 313–322.

12. Лыков А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков. - М.: Высшая школа, 1967. - 600 с.

13. Kulkarni S. V. Transformer Engineering. Design and Practice / S. V Kulkarni, S. A. Khaparde. - Marcel Dekker, Inc., New York - Basel, 2004. - 477 p.

14. Ionescu B. Multiphysics-based simulation reduces transformer size, cost and noise / Bogdan Ionescu // ANSYS Advantage. Vol. Y, Issue 3, 2011. - P. 30-33.

15. Котенев С.В., Евсеев А.Н Расчет теплового режима для трансформатора тороидального типа // URL: http://www.tula-transformator.ru/article1.pdf

16. Пат. RU 2 547 809 C2 МПК H01F 27/08, H01F 27/28, Мансуров В. А. Манько Н. Г. Чудиновских В. Е. и др. Импульсный трансформатор // Патентообл. Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова" Заявка: 2013100675/07, 09.01.2013, Опубл.: 10.04.2015 Бюл. № 10

17. URL: http://www.chinaxhwb.com

18. Будников Д. А. Моделирование электромагнитного поля в зерновом слое различной плотности. // Вестник аграрной науки Дона. - 2018. - Т. 1. № 41. - С. 40-45.

19. Будников Д. А. Определение фактора диэлектрических потерь зерновоздушной смеси // Инновации в сельском хозяйстве. - 2018. - № 1 (26). - С. 7-14.

20. Васильев А.Н., Будников Д.А. Энергетические затраты на влагосъем при различной плотности зернового материала. // Вестник ВИЭСХ. - 2017. - № 3 (28). - С. 44-48.

21. Будников Д.А. Промежуточные результаты численного эксперимента по СВЧ нагреву пшеницы разной плотности. // Инновации в сельском хозяйстве. - 2017. - № 2 (23). - С. 28-33.

22. Пат. RU 2657469 Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Краусп В.Р., Васильев А.Н. Автоматизированный рулонный агрегат с обеззараживанием стебельчатых кормов // Патентообл. ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Заявка: 2017123953, 06.07.2017. Опубл.: 14.06.2018 Бюл. № 17

References

1. Patlahov V.E. Issledovanie i proektirovanie transformatorov maloj moshchnosti povyshennoj chastoty optimal'nyh po masse [Research and design of low-power transformers of high frequency with optimal mass] // avtoref. dis. na soisk. uchen. step. tand. tekh. nauk / Samarskij

gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – Samara [Samara State Technical University. - Samara], 2006. – 20 p.

2. Kutarev A.M., Patlahov V.E. K voprosu proektirovaniya transformatorov maloj moshchnosti povyshennoj chastoty optimal'nyh po masse // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [On the issue of designing low-power transformers of increased frequency optimal by mass // Bulletin of Orenburg State University.]. 2006. No. 9 (59). pp. 312-316.

3. Hismatullin A. S. Gareev I. M. Raschet trekhmernogo temperaturnogo polya v silovyh maslyanyh transformatorah s ehlegazovym ohlazhdeniem // Fundamental'nye issledovaniya [Calculation of the three-dimensional temperature field in power oil transformers with gas-cooled // Fundamental research]. – 2015. – No. 10 (chast' 3) – pp. 534-537

4. Kucheryavaya I. N. Komp'yuternoe modelirovanie teplovyh processov v odnofaznom transformatore s uchetom anizotropii teplovyh svojstv aktivnyh ehlementov [Computer simulation of thermal processes in a single-phase transformer taking into account the anisotropy of the thermal properties of active elements] // ISSN 1607-7970. Tekhn. ehlektrodinamika. 2014. No. 1 – pp. 20-27

5. GOST R 54827-2011 Transformatory suhie. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Transformers are dry. General technical conditions].

6. Pentegov, I. V. (2014). K teorii metoda teplovyh istochnikov, ispol'zuemogo pri analize teplovyh processov v ehlektrotekhnicheskih sistemah. EHlektrotekhnicheskie i informacionnye kompleksy i sistemy [To the theory of the method of heat sources used in the analysis of thermal processes in electrical systems. Electrotechnical and information systems and systems], 10 (3), 5-14.

7. Ivankov V. F., Basova A. V., SHul'ga N. V. (2014). EHlektroteplovye raschetnye modeli ehlementov konstrukcii transformatornogo oborudovaniya. Elektrotekhnika i elektroenergetika [Electrothermal design models of transformer equipment design elements. Electrical engineering and power engineering], (2), 41-52.

8. Fillipov N.F. Osnovy teploobmena v ehlektricheskih mashinah. – Leningradskoe otdelenie: EHnergiya [Fundamentals of heat transfer in electric cars. - Leningrad branch: Energy], 1974. – 384 p.

9. Babaie H., Farahani H.F. Analysis of thermal behavior of high frequency transformers using finite element method. // Journal of Electromagnetic Analysis & Applications (JEMAA). – 2010. – No. 2. – Rp. 627–632.

10. Comsol Multiphysics – http://www.comsol.ru

11. Lussier D.T., Ormiston S.J., Marko R.M. Theoretical determination of anisotropic effective thermal conductivity in transformer windings // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2003. – Vol. 30. – No. 3. – Rp. 313–322.

12. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti [Heat conduction theory] / A.V. Lykov. - M.: Vysshaya shkola, 1967. - 600 p.

13. Kulkarni S. V. Transformer Engineering. Design and Practice / S. V Kulkarni, S. A. Khaparde. - Marcel Dekker, Inc., New York - Basel, 2004. - 477 p.

14. Ionescu B. Multiphysics-based simulation reduces transformer size, cost and noise / Bogdan Ionescu // ANSYS Advantage. Vol. Y, Issue 3, 2011. - P. 30-33.

15. Kotenev S.V., Evseev A.N Raschet teplovogo rezhima dlya transformatora toroidal'nogo tipa [Calculation of thermal conditions for a toroidal transformer] // URL: http://www.tula-transformator.ru/article1.pdf

16. Pat. RU No. 2 547 809 C2 MPK H01F 27/08, H01F 27/28, Mansurov V. A. Man'ko N. G. CHudinovskih V. E. i dr. Impul'snyj transformator // Patentoobl. Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie "Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie avtomatiki imeni akademika N.A. Semihatova" [Импульсный трансформатор // Патентообл. Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова"] Zayavka: 2013100675/07, 09.01.2013, Opubl.: 10.04.2015 Byul. No. 10

17. URL: http://www.chinaxhwb.com

18. Budnikov D. A. Modelirovanie ehlektromagnitnogo polya v zernovom sloe razlichnoj plotnosti [Modeling of an electromagnetic field in a grain layer of various density]. // Vestnik agrarnoj nauki Dona. - 2018. - T. 1. No. 41. - pp. 40-45.

19. Budnikov D. A. Opredelenie faktora diehlektricheskih poter' zernovozdushnoj smesi // Innovacii v sel'skom hozyajstve [Determination of the dielectric loss factor of the grain-air mixture // Innovations in agriculture]. - 2018. - No. 1 (26). - pp. 7-14.

20. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A. EHnergeticheskie zatraty na vlagos"em pri razlichnoj plotnosti zernovogo materiala [Energy costs for moisture removal at different density of the grain material]. // Vestnik VIEHSKH. - 2017. - No. 3 (28). - pp. 44-48.

21. Budnikov D.A. Promezhutochnye rezul'taty chislennogo ehksperimenta po SVCH nagrevu pshenicy raznoj plotnosti [Intermediate results of a numerical experiment on the microwave heating of wheat of different density]. // Innovacii v sel'skom hozyajstve. - 2017. - No. 2 (23). - pp. 28-33.

22. Pat. RU No. 2657469 Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., Krausp V.R., Vasil'ev A.N. Avtomatizirovannyj rulonnyj agregat s obezzarazhivaniem stebel'chatyh kormov [Automated roll unit with stalked feed disinfection] // Patentoobl. FGBNU FNAC VIM. Zayavka: 2017123953, 06.07.2017. Opubl.: 14.06.2018 Byul. No. 17.

УДК 621.313.333.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПО М-ОБРАЗНОЙ СХЕМЕ ЗАМЕЩЕНИЯ В ПАКЕТЕ SIMULINK

MATHEMATICAL MODEL OF POWER LOSSES IN AN ASYNCHRONOUS MOTOR ACCORDING TO THE M-SHAPED SUBSTITUTION SCHEME IN THE SIMULINK PACKAGE

***Д.А. ВАСИЛЬЕВ**, аспирант, **Л.А. ПАНТЕЛЕЕВА**, к.т.н., доцент, **В.А. НОСКОВ**, к.т.н., доцент Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия*

***D. A. VASILYEV**, post-graduate student, **L. A. PANTELEEVA**, cand. tech. sci., assoc. prof., **V. A. NOSKOV**, cand. tech. sci., assoc. prof., Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia*

***Аннотация**. Целью работы является разработка математической модели асинхронного двигателя для выяснения особенностей режима работы и определения влияния питающего напряжения и нагрузки на потери в двигателе. Исследования выполнялись путём моделирования двигателя в математической системе MATLAB с применением пакета Simulink. Схема замещения асинхронного двигателя рассматривается в виде логического набора проводимостей для обмоток статора и ротора. Переход выполняется на основе известных формул преобразования электрической цепи с последовательным соединением сопротивлений в эквивалентную электрическую цепь с параллельным соединением проводимостей. Решение поставленных задач осуществлялось на основе теоретических и экспериментальных методов: математического и физического моделирования, исследуемых процессов с использованием современной измерительной и вычислительной техники, и проведения статистической обработки экспериментальных данных.*

***Ключевые слова**: MatLab, Simulink, асинхронный двигатель, проводимость цепи, составляющие тока, схема замещения, ток статора и ротора.*

***Abstract**. The purpose of the work under analysis is to elaborate the mathematical model of the engine to determine the effect of the operating mode of the electric motor and the influence of the supply voltage on the losses in the motor. The studies were carried out by modeling in the mathematical system MATLAB using the Simulink package. Scheme of substitution of an asynchronous machine in the form of a logical set of conductances for stator and rotor windings. Transition based on the known formulas for transforming an electrical circuit with series connection of resistance into the equivalent electrical circuit with parallel connection. The solution of the tasks was carried out on the basis of theoretical and experimental methods such as mathematical and physical modeling of the processes under the study using modern measuring and computing techniques and statistical processing of experimental data.*

***Keywords**: MatLab, Simulink, asynchronous motor, conductivity of the circuit, current components, replacement circuit, stator and rotor current, electric driver.*

Для оценки режимов работы асинхронного двигателя в библиографических источниках используются схемы замещения, представленные в виде электрических цепей, содержащие активные и индуктивные сопротивления [1, 2, 7, 9, 10]. При рассмотрении явлений в асинхронном двигателе важно знать не только падение напряжения на отдельных сопротивлениях схемы замещения, а токи фазы, их активные и

индуктивные составляющие, посредством которых определяются активная и реактивная мощности, коэффициент мощности и другие составляющие рабочих характеристик асинхронной машины. В связи с этим, предлагается схему замещения асинхронного двигателя представлять в виде проводимостей: активных и индуктивных.

Используя известные из электротехники формулы преобразования в электрических цепях, Г-образная схема замещения с набором сопротивлений может быть преобразована в эквивалентную схему соединений проводимостей, которая изображена на Рис. 1 [3, 7].

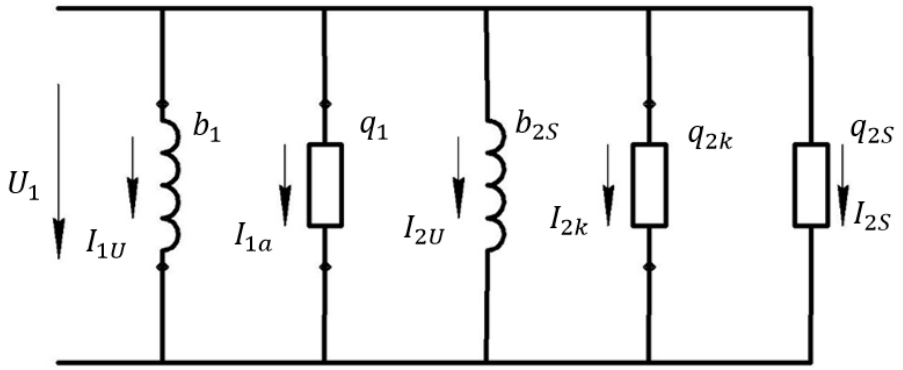


Рисунок 1 - Схема замещения одной фазы асинхронной машины, выраженная через проводимости статора и ротора

По найденным проводимостям для предложенной схемы замещения можно рассчитать соответствующие им токи и мощности асинхронного двигателя [4, 5].

Исследования произведены путем моделирования в математической системе MATLAB двигателя с использованием пакета Simulink.

Целью данной работы является разработка математических моделей двигателя с выяснением основных особенностей режимов работы электрического двигателя, а также влияние питающего напряжения и нагрузки на энергетические потери.

Решение этих задач осуществлялось на основе экспериментальных и теоретических методов: физического и математического моделирования, исследуемых процессов с применением современной вычислительной и измерительной техники, а также осуществления статистической обработки экспериментальных результатов.

Испытаниям подвергался широко применяемый асинхронный двигатель типа АИР100S4У3, номинальной мощностью 3 кВт, номинальным напряжением 380 В, номинальным током 7,3 А, номинальной частотой вращения 1410 мин$^{-1}$. Исходными данными для расчетов являлись параметры асинхронного электродвигателя АИР100S4, которые ранее определены опытным путем [4, 6].

Реактивная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, складывается из двух составляющих: реактивной мощности намагничивания Q_{1k}, определяемая проводимостью b_1, расходуемая на создание магнитного потока холостого хода:

$$Q_{1k} = U_{ф}^2 \cdot b_1 \quad (1)$$

и реактивной мощности полей рассеяния Q_{2k}, определяемая проводимостью b_{2s}:

$$Q_{2k} = U_{ф}^2 \cdot b_{2s} \quad (2)$$

Активная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, складывается из трех составляющих: активной мощности потерь цепи намагничивания фазы P_{1a}, определяемая проводимостью q_1:

$$P_{1a} = U_{ф}^2 \cdot q_1 \quad (3)$$

активной мощности потерь фазы P_{2k}, определяемая проводимостью q_{2k}:

$$P_{2k} = U_{ф}^2 \cdot q_{2k} \quad (4)$$

активная мощность преобразования из электрической в механическую P_{2s}, определяемая проводимостью q_{2s}:

$$P_{2s} = U_{ф}^2 \cdot q_{2s} \quad (5)$$

Разработана модель электрического двигателя АИР100S4У3 на основе М-образной схемы замещения. Схема модели приведена на рисунке 2. Ее основными входными параметрами являются блоки $R_1, L_1, L_M, X_1', R_1', X_2'', R_2''$, которые соответствуют параметрам схемы замещения, которые ранее определены опытным путем [4, 6], s скольжение, U, f соответственно амплитуда и частота напряжения питания асинхронного двигателя. Все остальные блоки данной модели применяются для вычисления и измерения электрических параметров для установившегося режима работы электрического двигателя [4].

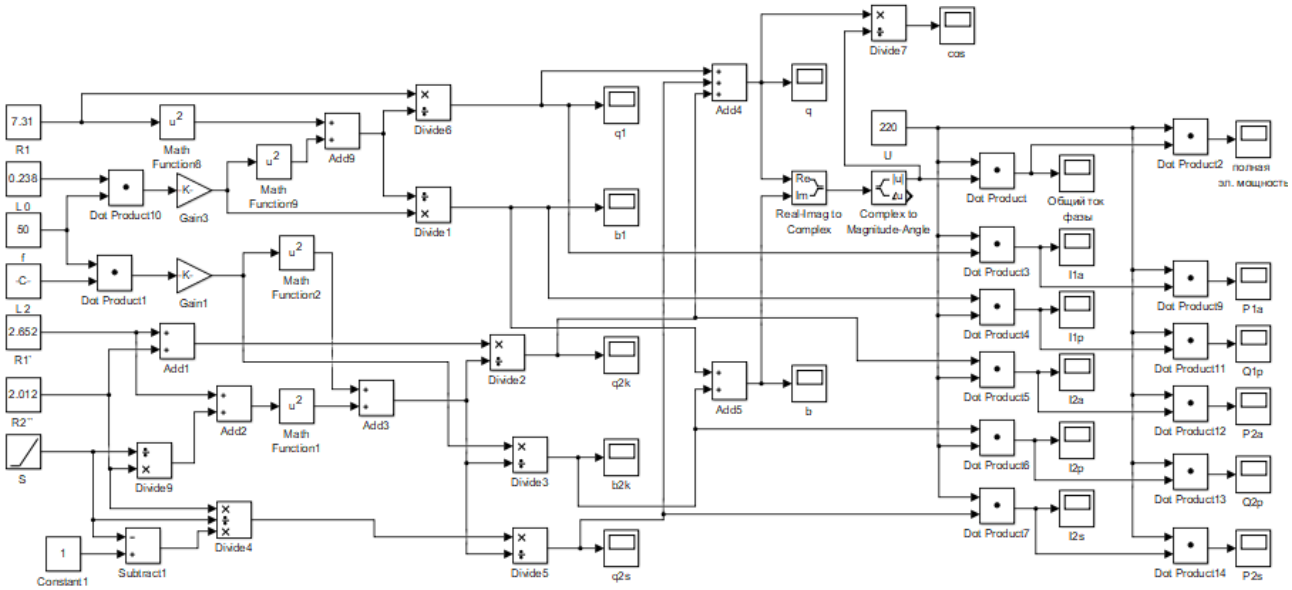


Рисунок 2 - Matlab модель электродвигателя АИР100S4У3 по М-образной схеме замещения

Модель создана для изучения потерь мощности в электродвигателе АИР100S4У3 и зависимости этих потерь от источника питания и режима работы асинхронного двигателя. Токи, проводимости и мощности необходимо рассматривать в комплексной форме [3].

Отмеченные свойства, дают основание, по-новому, строить векторные диаграммы асинхронного двигателя. Отпадает необходимость в расчете углов сдвига токов цепей намагничивания и ротора относительно напряжения фазы. Общий вектор тока можно изображать, как сумму векторов его активных и индуктивных составляющих.

Выводы

1. Применяя формулы, которые известны в электротехнике для преобразования в электрических цепях, предоставляется возможность перейти от Г - образной схемы замещения, содержащих индуктивные и активные сопротивления, к эквивалентной схеме замещения одной фазы асинхронных машин, содержащих индуктивные и активные проводимости.

2. По рассчитанным аналитическим зависимостям проводимостей для предложенной схемы замещения можно вычислить соответствующие им мощности и токи.

3. Разработана Matlab модель асинхронного двигателя, которая позволяет производить моделирование режимы работы асинхронного двигателя и выявлять мощность потерь при разных способах его нагрузки и питания.

4. Исследован вопрос измерений параметров режимов работы электрического двигателя на Matlab-модели. Разработаны необходимые схемы измерения, а также их настройка.

Список литературы

1. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины /А.В. Иванов-Смоленский- М.: Энергия 1980. - 928 с.

2. Вольдек, А.И. Электрические машины (3-е изд., перераб.). /А.И. Вольдек - Л.: «Энергия», 1978. - 832 с.

3. Носков, В.А М-образная схема замещения асинхронной машины /В.А. Носков // ЭЛЕКТРИЧЕСТВО Национальный исследовательский университет "МЭИ" (Москва). 2012. 50-53.

4. Васильев, Д.А. Разработка математической модели асинхронной машины по М-образной схеме замещения в пакете Simulink /Васильев Д.А., Дресвянникова Е.В., Пантелеева Л.А., Носков В.А. // Вестник НГИЭИ. 2018. № 4 (83). С. 38-54.

5. Васильев, Д.А. Исследования асинхронной машины на основе М образной схемы замещения в математической системе MATLAB с применением пакета Simulink /Д.А. Васильев, Л.А. Пантелеева, В.А. Носков, О.Г. Долговых // Сборник: Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI в.: вклад молодых ученых-исследователей. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2017. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия". 2017.

6. Васильев, Д.А. Исследование частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в лабораторных условиях /Д.А. Васильев, Л.А. Пантелеева, В.А. Носков// Сборник: научно обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства Материалы Международной научно-практической конференции в 3-ех томах. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия". 2017. С. 235-237.

7. Васильев, Д.А. Оценка энергетической эффективности асинхронного двигателя по М-образной схеме замещения / Васильев Д.А., Пантелеева Л.А., Носков В.А. //

Международный технико-экономический журнал. 2018. № 1. С. 34-40.
8. Васильев, Д.А. Оптимальные режимы работы асинхронного электродвигателя. /Д.А. Васильев, Л.А. Пантелеева, В.А. Носков//Роль молодых ученых-инноваторов в решении задач по ускоренному импортозамещению сельскохозяйственной продукции. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2015. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия". 2015. С. 146-149.
9. Некрасов А.И. Технические средства для диагностики электродвигателей в сельском хозяйстве/ Некрасов А.И., Некрасов А.А.// В сборнике: Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017) Материалы V Международной научно-практической конференции. 2017. С. 215-219.
10. Некрасов А.И. Эксплуатационный контроль и прогнозирование ресурса изоляции обмоток электродвигателей / Некрасов А.И., Некрасов А.А. // Техника и оборудование для села. 2017. № 12. С. 32-35.

References

1. Ivanov-Smolenskij, A.V. EHlektricheskie mashiny [Electrical machinery] /A.V. Ivanov-Smolenskij- M.: EHnergiya 1980. - 928 p.
2. Vol'dek, A.I. EHlektricheskie mashiny (3-e izd., pererab.) [Electrical machinery]. /A.I. Vol'dek - L.: «EHnergiya», 1978. - 832 p.
3. Noskov, V.A M-obraznaya skhema zameshcheniya asinhronnoj mashiny [M-shaped asynchronous machine replacement circuit] /V.A. Noskov // EHLEKTRICHESTVO Nacional'nyj issledovatel'skij universitet "MEHI" (Moskva). 2012. 50-53.
4. Vasil'ev, D.A. Razrabotka matematicheskoj modeli asinhronnoj mashiny po M-obraznoj skheme zameshcheniya v pakete Simulink [Development of a mathematical model of an asynchronous machine using the M-shaped equivalent circuit in the Simulink package] /Vasil'ev D.A., Dresvyannikova E.V., Panteleeva L.A., Noskov V.A. // Vestnik NGIEHI. 2018. No 4 (83). p. 38-54.
5. Vasil'ev, D.A. Issledovaniya asinhronnoj mashiny na osnove M obraznoj skhemy zameshcheniya v matematicheskoj sisteme MATLAB s primeneniem paketa Simulink [Investigations of an asynchronous machine based on the M-shaped equivalent circuit in the mathematical system MATLAB using the Simulink package] /D.A. Vasil'ev, L.A. Panteleeva, V.A. Noskov, O.G. Dolgovyh // Sbornik: Innovacionnyj potencial sel'skohozyajstvennoj nauki XXI v.: vklad molodyh uchenyh-issledovatelej. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2017. Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya". 2017.
6. Vasil'ev, D.A. Issledovanie chastotno-reguliruemyh asinhronnyh ehlektroprivodov v laboratornyh usloviyah [Research of frequency-controlled asynchronous electric drives in laboratory conditions] /D.A. Vasil'ev, L.A. Panteleeva, V.A. Noskov// Sbornik: nauchno obosnovannye tekhnologii intensifikacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v 3-ekh tomah. Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya". 2017. pp. 235-237.
7. Vasil'ev, D.A. Ocenka ehnergeticheskoj ehffektivnosti asinhronnogo dvigatelya po M-obraznoj skheme zameshcheniya [Evaluation of the energy efficiency of the induction motor using the M-shaped equivalent circuit] / Vasil'ev D.A., Panteleeva L.A., Noskov V.A. // Mezhdunarodnyj tekhniko-ehkonomicheskij zhurnal. 2018. № 1. pp. 34-40.
8. Vasil'ev, D.A. Optimal'nye rezhimy raboty asinhronnogo ehlektrodvigatelya Optimum operating modes of the asynchronous electric motor]. /D.A. Vasil'ev, L.A. Panteleeva,

V.A. Noskov//Rol' molodyh uchenyh-innovatorov v reshenii zadach po uskorennomu importozameshcheniyu sel'skohozyajstvennoj produkcii. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2015. Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya". 2015. pp. 146-149.

9. Nekrasov A.I. Tekhnicheskie sredstva dlya diagnostiki ehlektrodvigatelej v sel'skom hozyajstve [Technical tools for the diagnosis of electric motors in agriculture] / Nekrasov A.I., Nekrasov A.A.// V sbornike: Innovacionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii (ITNO-2017) Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2017. pp. 215-219.

10. Nekrasov A.I. EHkspluatacionnyj kontrol' i prognozirovanie resursa izolyacii obmotok ehlektrodvigatelej [Operational monitoring and prediction of the insulation resource of motor windings] / Nekrasov A.I., Nekrasov A.A. // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2017. No 12. pp. 32-35.

УДК 621.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПО РАЙОНАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

COMPARATIVE ANALYSIS OF RELIABILITY OF POWER SUPPLY IN DISTRICTS OF ELECTRICAL NETWORKS

А.В. ВИНОГРАДОВ, *канд. техн. наук,* ***А.В. ВИНОГРАДОВА,*** *канд. техн. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия,* ***И.Д. СКИТЁВА****, магистрант, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орёл, Россия,* ***А. А. ПАНФИЛОВ****, Филиал ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго», Орел, Россия*

A. V. VINOGRADOV*, cand. tech. sci.,* ***A. V. VINOGRADOVA,*** *cand. tech. sci, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia,* ***I. D. SKITEVA****, master's student****,*** *Orel State Agrarian University, Orel, Russia, A. A. PANFILOV, IDGC of Center, PJSC Branch – Orelenergo, Orel, Russia*

Аннотация*. В данной статье рассмотрены показатели надежности воздушных, кабельных линий электропередачи, оборудования трансформаторных подстанций и силовых трансформаторов по трём районам электрических сетей и одной сетевой компании, обслуживающей городские электрические сети. Это позволяет сравнить структуру сетей, выявить особенности повреждений элементов сетей, выявить статистические данные по показателям надежности сетей и сделать рекомендации по повышению надежности.*

Ключевые слова*: показатели надежности электроснабжения, сравнительный анализ надежности, система электроснабжения, электрические сети.*

Annotation. *This article discusses the reliability of air, cable power lines, transformer substation equipment and power transformers in three areas of electrical networks and one network company serving the city's electrical networks. This allows you to compare the structure of networks, to identify the features of damage to network elements, to identify statistical data on the reliability of networks and make recommendations for improving reliability.*

Keywords: *indicators of reliability of power supply, comparative analysis of reliability, power supply system, electrical networks.*

Надёжность электроснабжения потребителей зависит от целого ряда факторов, среди которых можно выделить технические, организационные, географические и климатические [1-4]. К техническим факторам, в первую очередь, можно отнести конструктивное исполнение элементов электрических сетей, таких как линии электропередачи (кабельные, воздушные, тип опор, марка проводов, кабелей и т.д.), оборудование трансформаторных подстанций (коммутационное оборудование, оборудование РЗиА, тип и марка силового трансформатора и т.д.). Исполнение элементов чаще всего зависит от назначения сети [5]. Так, для электроснабжения сельских потребителей в основном используются воздушные линии электропередачи (ЛЭП), выполненные неизолированным (ВЛ) или изолированным (ВЛИ – для сетей 0,38 кВ, ВЛЗ – для

сетей 6…10 и выше кВ), трансформаторные подстанции чаще всего выполняются мачтовыми, киосковыми. Для электроснабжения городских потребителей чаще используются кабельные ЛЭП (КЛ) всех напряжений, иногда, особенно для сети освещения или для электроснабжения потребителей в частном секторе, используются ВЛИ и ВЛЗ. ТП в городских электрических сетях чаще сего выполняются закрытыми (ЗТП) или блочными (БКТП) [6].

К организационным факторам можно отнести организационную структуру компании, обслуживающей рассматриваемые сети, уровень оснащенности её персоналом и техникой, уровень квалификации персонала, качество организации работ по обслуживанию и ремонту сетей [7].

К географическим и климатическим факторам относятся климатическая зона, где располагаются сети (грозовая активность, годовой ход температур, скорость ветра, образование гололёда и др.), характер местности, обеспеченность путями подъезда к местам расположения элементов сетей и т.п [8].

Выявление степени влияния того или иного фактора на показатели надёжности возможно только при обеспечении единства других факторов. Конечно, обеспечить одинаковое значение некоторых факторов весьма затруднительно, но, тем не менее, они могут быть близкими. Поэтому представляет интерес сравнительный анализ показателей надежности по сетям районов электрических сетей, входящих в одну организацию и обслуживающих сельские сети и по сетям организации, обслуживающей город.

Для проведения такого сравнения были взяты сети 0,38 и 6…10 кВ Орловского, Покровского и Мценского районов электрических сетей Филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орёлэнерго» и сети АО «Орёлоблэнерго» по г. Орлу. [9, 10]. Это исследование дополняет и расширяет проведенные ранее данные [11]. Следует отметить, что в организациях ведется учёт отказов и повреждений элементов сетей, но некоторые данные отсутствуют в связи с тем, что отчётность не предполагает, например, разбивку случаев отказа по маркам оборудования. Кроме того, в связи с тем, что реконструкция сети с применением новых типов проводов, трансформаторного оборудования проводится относительно недавно и ещё недостаточно большой процент сетевого оборудования обновлён, сложно выделить статистические показатели надёжности нового оборудования. Косвенно можно оценить их по надёжности сети в целом с учётом процента содержания в этой сети нового оборудования.

Данные по количеству оборудования и показателям надежности приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ показателей надежности по Покровскому РЭС, Мценскому РЭС, Орловскому РЭС Филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орёлэнерго» по АО «Орёлоблэнерго»

Принадлежность сетей, класс сетей, ТП		Количество линий, ТП, шт	Протяжённость сетей, км, кол-во трансформаторов силовых 10/0,4 кВ, шт	Средняя длина ЛЭП, кол-во транс. на ТП	Интенсивность отказов, λ, (год$^{-1}$/100км), (год$^{-1}$/100шт)	Недоотпуск электроэнергии, кВт·ч	Удельный недоотпуск электроэнергии по ЛЭП кВт·ч/100 км	Среднее время восстановления, ч
Орловский РЭС	ВЛ 10 кВ	103	1349,23	13,09	35,9	20444,5	1515,3	4,43
	ВЛЗ 10 кВ							
	ВЛ 0,38 кВ	1354	1414,43	1,045	97	46000	3252,2	5,86
	ВЛИ 0,38 кВ							
	КЛ 10 кВ	29	45	1,55	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
	КЛ 0,38 кВ	54	8,65	0,16	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
	Сил. тр. ТМ/ТМГ	772	768/30	1,03	1,8/0,1	6571,2	847,9	3,8
Покровский РЭС	ВЛ 10 кВ	29	649,29	23,3	23	2912	439,4	3,6
	ВЛЗ 10 кВ		27,51					
	ВЛ 0,38 кВ	374	646,16	1,77	24,8	2100	325	3,2
	ВЛИ 0,38 кВ		16,51					
	КЛ 10 кВ	-	-	-	-	-	-	-
	КЛ 0,38 кВ	-	-	-	-	-	-	-
	Сил. тр. ТМ/ТМГ	311	368/7	1,2	0,3/0,1	4200	1120	1,28 (для обор. ТП)
Мценский РЭС	ВЛ 10 кВ	46	837,96	18,9	14,6	3210	369,1	3,74
	ВЛЗ 10 кВ		31,84					
	ВЛ 0,38 кВ	450	640,88	1,61	10,48	2800	386,2	3,19
	ВЛИ 0,38 кВ		84,22					
	КЛ 10 кВ	-	-	-	-	-	-	-
	КЛ 0,38 кВ	-	-	-	-	-	-	-
	Сил. тр. ТМ/ТМГ	405	410/2	1,01	0,49	4300	1043,7	4 (для обор. ТП)
АО «Орёлоблэнерго»	ВЛ 6…10 кВ	12	5,9	0,67	24,8	48	600	4,4
	ВЛЗ 6…10 кВ		2,1					
	ВЛ 0,38 кВ	733	657,3	0,9	23	878	95,8	0,58
	ВЛИ 0,38 кВ	313	259,5	0,83				
	КЛ 6…10 кВ	1062	512,7	0,48	19,3	55942	10911	1,5
	КЛ 0,38 кВ	3315	493,7	0,15	10,9	1690	342,3	2,2
	Сил. тр. ТМ/ТМГ	467	835	1,79	0,12	4182	500,8	1,27 (для обор ТП)

Анализ представленных в Табл. 1 данных показывает следующее. В первую очередь это касается структуры и состава оборудования сетей. В РЭСах, обслуживающих сельские электрические сети преобладают ВЛ как на напряжении 0,38, так и на напряжении 6…10 кВ. В исполнении ВЛИ и ВЛЗ пока выполнен небольшой процент сетей (По Мценскому РЭС ВЛЗ 3,5%, ВЛИ 11,6%; по Покровскому РЭС ВЛЗ – 4%, ВЛИ – 2,5%; по Орловскому РЭС данные отсутствуют, но проценты примерно такие же). В то же время по сетям г. Орла как ВЛЗ, так и ВЛИ составляют порядка 30% из всех воздушных ЛЭП. Ток же следует отметить, что КЛ в РЭСах практически отсутствуют или представлены незначительно (в Орловском РЭСе есть КЛ 0,38 кВ, но это КЛ, которыми выполнены в основном перекидки к потребителям, поэтому нет данных по их повреждениям, КЛ очень короткие, повреждаются редко и часто не учитываются, так как указывается повреждение на основной линии, а она воздушная), в то время как АО «Орёлоблэнерго» эксплуатирует в основном кабельные линии. Показатели надежности ЛЭП различны по РЭСам так для ВЛ/ВЛЗ наименьшая интенсивность отказов наблюдается во Мценском РЭС (10,8 год$^{-1}$/100 км для ЛЭП 0,38 кВ и 14,8 год$^{-1}$/100 км для ЛЭП 10 кВ) наибольшая – в Орловском (97 год$^{-1}$/100 км для ЛЭП 0,38 кВ и 35,9 год$^{-1}$/100 км для ЛЭП 10 кВ). Это может быть связано как с большим количеством оборудования, находящегося на балансе Орловского РЭСа и большей территориальной РЭСа, так и с недостаточной оснащенностью РЭСа персоналом. В любом случае это показатель необходимости скорейшей реконструкции сети и работы над повышением надежности. Влияние на снижение интенсивности отказов по Мценскому РЭС оказал, очевидно, и больший процент ВЛИ и ВЛЗ в составе ЛЭП. По АО «Орёлоблэнерго» и по Покровскому РЭС значения интенсивности отказов воздушных ЛЭП близки к значениям, приводимым в литературных источниках [2, 5, 6, 8] и составляют порядка 23…25 (год$^{-1}$/100 км).

Кабельные линии эксплуатируются в АО «Орёлоблэнерго» для электроснабжения городских потребителей. Интенсивность отказов составила по КЛ 6…10 кВ 19,3 (год$^{-1}$/100 км), а по КЛ 0,38 кВ 10,8 (год$^{-1}$/100 км). Это меньше, чем по воздушным ЛЭП для этой организации и в большинстве РЭСов, но, тем не менее для КЛ 6…10 кВ интенсивность отказов достаточно велика, что связано с основной причиной повреждений – механическим повреждением, возникающим при осуществлении земляных работ без вызова строительными организациями или частными лицами представителя Орёлоблэнерго.

Что касается применения герметичных трансформаторов ТМГ, то постепенно происходит замена на них трансформаторов ТМ, но процентное соотношение пока так же небольшое. По АО «Орёлоблэнерго» эти данные не представлены. Интенсивность отказов, в связи с малыми количествами ТМГ оценить сложно, это удалось сделать только по Орловскому РЭС. Следует отметить, что интенсивность отказов по трансформаторам ТМ составила 1,8 (год$^{-1}$/100шт), а для ТМГ – 0,1 (год$^{-1}$/100шт). Это показывает, с одной стороны, большую надежность ТМГ, с другой стороны, выборка недостаточно

представительна по данной марке трансформаторов и срок их эксплуатации меньше, чем у ТМ. Поэтому сравнение носит предварительный характер.

Схемные решения сетей характеризуются такими данными, как количество трансформаторов на ТП. Для АО «Орёлоблэнерго» это соотношение составляет 1,79, то есть почти каждая ТП является двухтрансформаторной, есть возможность организации резервирования сети. В то же время для РЭСов эти значения составляют 1,01 для Мценского, 1,03 для Орловского и 1,2 для Покровского РЭС, что говорит о том, что подавляющее большинство ТП являются однотрансформаторными, питание потребителей не резервируется.

Характерными являются и данные по средней протяжённости сетей разного класса напряжения. Наиболее протяжёнными являются сети Покровского РЭС. Так, средняя длина ВЛ/ВЛЗ 6…10 кВ составляет 23,3 км, а ВЛ/ВЛИ 0,38 кВ – 1,77 км. Меньше средняя протяжённость ЛЭП во Мценском и Орловском РЭСах, хотя во Мценском РЭСе она все равно остается достаточно высокой (18,9 и 1.61 км соответственно). Орловский РЭС обслуживает достаточно большое количество сетей в черте города, поэтому длины ЛЭП там ниже. Наиболее короткие ЛЭП, причём как в воздушном, так и кабельном исполнении эксплуатирует АО «Орёлоблэнерго». Так, ВЛ 6…10 кВ имеют среднюю длину всего 5,9 км, а ВЛЗ – 2,1 км. Средняя протяжённость ВЛ 0,38 кВ несколько выше ВЛИ 0,38 кВ (0,9 км и 0,83 км), что говорит о том, что при реконструкции ЛЭП не только производится замена провода, но и разукрупнение линий, что положительно влияет на энергоэффективность ЛЭП и их надежность. Наиболее короткими являются кабельные линии. Средняя протяженность КЛ 6…10 кВ составляет по городу 0,48 км, а КЛ 0,38 кВ – 0,15 км. Это позволяет получать невысокие потери в линиях.

Одним из значимых показателей является недоотпуск электроэнергии потребителям. Он связан как с показателем интенсивности отказов, так и с временем восстановления электроснабжения, и средними нагрузками на электрические сети. В этом показателе заметно расхождение между сельскими и городскими ЛЭП. Для удобства проведения сравнения рассчитаны удельные значения недоотпуска. Наибольшее удельное значение недоотпуска приходится на КЛ 6…10 кВ городских сетей и составляет 10911 кВт·ч/100 км. Наименьший – 95,8 кВт·ч/100 км, что характерно так же для городских сетей, но ВЛ/ВЛИ 0,38 кВ, так как от этих линий в основном в городе питаются линии освещения, в которых вероятность повреждения в период присутствия нагрузки ниже. Эти ЛЭП чаще повреждаются днём, когда освещение не работает, да и нагрузка их обычно ниже, чем на ЛЭП, питающих потребителей.

Недоотпуск, связанный с повреждениями на ТП для сельских сетей составляет от 840 до 1200 кВт·ч/100 трансформаторов, в то время как для городских сетей он практически в 2 раза ниже – 500 кВт·ч/100 трансформаторов. Это связано с двухтрансформаторным выполнением городских ТП и значительно меньшим временем восстановления для них. Время восстановления в городских сетях в целом ниже, чем в сельских для всех элементов сети кроме ВЛ/ВЛИ 6…10 кВ, так как сети более сконцентрированы и меньше тратится

время на выезд бригады, обычно быстрей поступает информация об отключениях. Время восстановления ВЛ/ВЛИ 6…10 кВ выше в связи с большей сложностью проведения ремонта из-за плотности застройки, сложности доступа к ЛЭП и необходимостью выполнения большего количества отключений, так как практически все сети в городе являются петлевыми. Время восстановления, приведённое в таблице, не учитывает составляющей на время получения информации об отказе, так как в сетевых организациях время восстановления начинают отсчитывать с момента получения диспетчером сообщения об отключении, в то время как от момента отказа до получения сообщения диспетчером проходит определённое время [1, 3, 4, 7]. Тем не менее, следует предполагать, что для городских сетей это время ниже, чем для сельских.

По итогам анализа сетей рассмотренных РЭСов и АО «Орёлоблэнерго» можно сделать выводы:

1. Надёжность электрических сетей как в сельской, так и городской местности, остаётся на достаточно невысоком уровне, но происходит её повышение, что связано с проведением реконструкции сетей.
2. По значению интенсивности отказов воздушные и кабельные линии достаточно близки. Правда нет возможности оценить интенсивность КЛ в сельской местности, так как там они практически не применяются. Так же пока нет достаточно данных для оценки надежности ВЛИ и ВЛЗ отдельно от ВЛ, так как статистика отдельно не рассматривается в сетевых организациях. Но, на примере Мценского РЭСа заметно значительное повышение надёжности воздушных ЛЭП в целом при повышении в их составе доли ВЛИ/ВЛЗ. Интенсивность отказов при этом может быть даже меньше, чем у КЛ.
3. Применение герметичных трансформаторов приводит к повышению надежности трансформаторного оборудования ТП практически в 3 раза.
4. В сетевых организациях рационально организовывать проведение статистических исследований по показателям надежности отдельно для старых и новых образцов оборудования, так как это позволит более наглядно выявить преимущества и недостатки нового оборудования и получить необходимые статистические данные для проведения расчётов проектными организациями при проектировании новых объектов.
5. Следует проводить сравнительные исследования надежности электрических сетей так же по различным регионам, межрегиональные, учитывая так же удельные показатели недоотпуска электроэнергии.

Список литературы

1. Vinogradov, A., Vasiliev, A., Bolshev, V., Semenov, A. & Borodin, M. (2018). Time Factor for Determination of Power Supply System Efficiency of Rural Consumers. In V. Kharchenko, P. Vasant (Ed.), Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development (pp. 394-420). doi:10.4018/978-1-5225-3867-7.ch017

2. Виноградов А.В., Васильев А.Н., Семенов А.Е., Синяков А.Н., Большев В.Е. Анализ времени перерывов в электроснабжении сельских потребителей и методы его сокращения за счет мониторинга технического состояния линий электропередачи // Вестник ВИЭСХ. 2017. №2(27). С. 3-11.

3. Анищенко В.А., Колосова И.В. Основы надежности систем электроснабжения: пособие для студентов специальности «Электроснабжение». - Мн.: БНТУ, 2008.- 151 с.

4. Виноградов, А.В. АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ОТКАЗАХ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ / А.В. Виноградов, А.Е. Семенов А.Н. Синяков. // Теоретический и научно-практический журнал «Инновации в АПК: проблемы и перспективы - 2017. -№1 (13) - С.12-22

5. Комарова А.А. Анализ динамики состояния линий электропередачи 6-20 кВ/ А. А. Комарова, А.В. Виноградов //В сборнике: Энергосбережение и эффективность в технических системах Материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбовский государственный технический университет. - 2017. -С. 293-294.

6. Лещинская Т.Б., Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства. - Москва.: КолосС, 2008.- 655с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

7. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ /Виноградов А.В., Васильев А.Н., Виноградова А.В., Бородин М.В., Голиков И.О., Перьков Р.А., Семенов А.Е., Кучинов А.А., Синяков А.Н., Селезнёва А.О., Большев В.Е.// Курс лекций и практических занятий для обучающихся по направлениям «Агроинженерия» (направленность Электрооборудование и электротехнологии); «Электроэнергетика и электротехника», (направленность Электроснабжение); «Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» (научная специальность Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве) очной и заочной форм обучения / Орел, 2017.- 258 С.

8. Папков, Б. В., Осокин В. Л. Вероятностные и статистические методы оценки надёжности элементов и систем электроэнергетики: теория, примеры, задачи: учеб. пособие / Б. В. Папков, В. Л. Осокин; НГИЭУ. – Княгинино, 2015. – 356 с.

9. Технические отчеты АО «Орелоблэнерго».

10. Технические отчеты Филиала ПАО «МРСК Центра» - «Орелэнерго».

11. Семенов А.Е. Сравнение показателей надежности воздушных и кабельных линий в городской и сельской местности. / А. Е. Семенов, А. О. Селезнева, А. В. Виноградов // Основные направления развития техники и технологии в АПК: материалы VII всероссийской научно-практической конференции – Княгинино: НГИЭУ, 2015., с. 71 – 75

References

1. Vinogradov, A., Vasiliev, A., Bolshev, V., Semenov, A. & Borodin, M. (2018). Time Factor for Determination of Power Supply System Efficiency of Rural Consumers. In V. Kharchenko, P. Vasant (Ed.), Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development (pp. 394-420). doi:10.4018/978-1-5225-3867-7.ch017

2. Vinogradov A.V., Vasil'ev A.N., Semenov A.E., Sinyakov A.N., Bol'shev V.E. Analiz vremeni pereryvov v ehlektrosnabzhenii sel'skih potrebitelej i metody ego sokrashcheniya za schet monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya linij ehlektroperedachi [Analysis of the time of interruptions in the power supply of rural consumers and methods for its reduction due to the monitoring of the technical condition of power lines] // Vestnik VIEHSKH. 2017. No 2(27). p. 3-11.

3. Anishchenko V.A., Kolosova I.V. Osnovy nadezhnosti sistem ehlektrosnabzheniya: posobie dlya studentov special'nosti «EHlektrosnabzhenie» [Fundamentals of reliability of power supply systems: a manual for students of the specialty "Power supply"]. - Mn.: BNTU, 2008.- 151 p.

4. Vinogradov, A.V. ANALIZ VREMENI VOSSTANOVLENIYA EHLEKTROSNABZHENIYA SEL'SKIH POTREBITELEJ PRI OTKAZAH V LINIYAH EHLEKTROPEREDACHI [ANALYSIS OF THE TIME FOR THE RESTORATION OF ELECTRICAL SUPPLY OF RURAL CONSUMERS IN FAILURES IN ELECTRICAL TRANSMISSION LINES] / A.V. Vinogradov, A.E. Semenov A.N. Sinyakov. // Teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal «Innovacii v APK: problemy i perspektivy - 2017. -No 1(13) - p.12-22

5. Komarova A.A. Analiz dinamiki sostoyaniya linij ehlektroperedachi 6-20 kV [Analysis of the dynamics of the state of power lines 6-20 kV] / A. A. Komarova, A.V. Vinogradov //V sbornike: EHnergosberezhenie i ehffektivnost' v tekhnicheskih sistemah Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov, molodyh uchenyh i specialistov. Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. - 2017. -p. 293-294.

6. Leshchinskaya T.B., Naumov I.V. EHlektrosnabzhenie sel'skogo hozyajstva [Agriculture Power Supply]. - Moskva.: KolosS, 2008.- 655p.: il. – (Uchebniki i ucheb. posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. zavedenij).

7. OPTIMIZACIYA EHLEKTROSNABZHENIYA OB"EKTOV [OPTIMIZATION OF POWER SUPPLY OF OBJECTS] / Vinogradov A.V., Vasil'ev A.N., Vinogradova A.V., Borodin M.V., Golikov I.O., Per'kov R.A., Semenov A.E., Kuchinov A.A., Sinyakov A.N., Seleznyova A.O., Bol'shev V.E.// Kurs lekcij i prakticheskih zanyatij dlya obuchayushchihsya po napravleniyam «Agroinzheneriya» (napravlennost' EHlektrooborudovanie i ehlektrotekhnologii); «EHlektroehnergetika i ehlektrotekhnika», (napravlennost' EHlektrosnabzhenie); «Tekhnologii, sredstva mekhanizacii i ehnergeticheskoe oborudovanie v sel'skom, lesnom i rybnom hozyajstve» (nauchnaya special'nost' EHlektrotekhnologii i ehlektrooborudovanie v sel'skom hozyajstve) ochnoj i zaochnoj form obucheniya / Orel, 2017.- 258 p.

8. Papkov, B. V., Osokin V. L. Veroyatnostnye i statisticheskie metody ocenki nadyozhnosti ehlementov i sistem ehlektroehnergetiki: teoriya, primery, zadachi: ucheb. posobie [Probabilistic and statistical methods for assessing the reliability of elements and systems of electric power industry: theory, examples, tasks: a tutorial]. / B. V. Papkov, V. L. Osokin; NGIEHU. – Knyaginino, 2015. – 356 p.

9. Tekhnicheskie otchety AO «Oreloblehnergo» [Technical reports of Oreloblenergo JSC].

10. Tekhnicheskie otchety Filiala PAO «MRSK Centra» - «Orelehnergo»[Technical reports of the Branch of IDGC of Center, PJSC - Orelenergo].

11. Semenov A.E. Sravnenie pokazatelej nadezhnosti vozdushnyh i kabel'nyh linij v gorodskoj i sel'skoj mestnosti [Comparison of reliability indicators of air and cable lines in urban and rural areas]. / A. E. Semenov, A. O. Selezneva, A. V. Vinogradov // Osnovnye napravleniya razvitiya tekhniki i tekhnologii v APK: materialy VII vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii – Knyaginino: NGIEHU, 2015., p. 71 – 75

УДК 631.95

УЛУЧШЕНИЕ МИКРОКЛИМАТА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ ЗА СЧЕТ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

IMPROVEMENT OF THE MICROCLIMATE IN THE AGRICULTURAL PREMISES DUE TO THE DISINFECTION OF AIR WITH ULTRAVIOLET RADIATION

И.М. ДОВЛАТОВ, *аспирант,* ***Э.С. РУДЗИК,*** *лаборант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

I.M. DOVLATOV*, PhD student,* ***EH.S. RUDZIK****, laboratory assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В данной статье проводится анализ и сравнение наиболее распространенных бактерицидных установок и ультрафиолетовых ламп. Рассмотрены основные ультрафиолетовые лампы, применяемые в разных странах мира. Приведены сведения об обеззараживающих установках и ультрафиолетовых лампах, все полученные сведения сведены в сравнительные таблицы, в которых они оцениваются по следующим техническим показателям: мощность, бактерицидный поток, срок службы, КПД, цена – для ультрафиолетовых ламп; мощность, производительность, эффективность обеззараживания, удельные затраты энергии, цена – для бактерицидных установок.*

После анализа таблиц сделаны выводы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00793

Ключевые слова*: бактерицидные установки, ультрафиолетовые лампы, обеззараживание сельскохозяйственных помещений, технические характеристики.*

Abstract*. This article analyzes and compares the most common bactericidal plants and ultraviolet lamps. The basic ultraviolet lamps used in different countries of the world are considered. Information on decontamination plants and ultraviolet lamps is given, all the information obtained is summarized in the comparative tables in which they are evaluated according to the following technical indicators: capacity, bactericidal flow, service life, efficiency, price - for ultraviolet lamps; capacity, productivity, decontamination efficiency, specific energy costs, price - for bactericidal plants.*

After analyzing the tables, conclusions are drawn.

The study was performed with financial support RFBR, research project No. 18-38-00793.

Keywords*: bactericidal installations, ultraviolet lamps, disinfection of agricultural premises, technical characteristics.*

Важной задачей для фермеров большинства стран на сегодняшний день является поддержание хорошего состояния здоровья птиц и животных в сельскохозяйственных помещениях [1,2]. Влияет на решение этой задачи, поддержание микроклимата в допустимых пределах. Основной фактор, усугубляющий решение этой задачи загрязнённость воздуха в сельскохозяйственных помещениях по причине большой концентрации микроорганизмов. Обусловлено решение этой проблемы успешным сбытом качественной продукции и сохранением прибыли фермеров.

Целью исследования является обоснование, выбор современных физических средств воздействия и сравнение современных устройств по техническим показателям для решения рассмотренной проблемы.

Материалы и методы: технический анализ, методика анализа сбора доступной информации.

Наиболее важным условием для решения данной задачи является поддержание благоприятного микроклимата внутри помещения, где находятся птицы или животные. Наличие в воздухе вредных микроорганизмов негативно влияет на микроклимат, а значит на здоровье и рост животных и птиц [3]. Следовательно, возникает необходимость регулярно проводить дезинфекцию воздуха внутри помещения в присутствии животных и птиц.

Осуществляться обеззараживание воздуха внутри помещения может химическим (распыление аэрозольных смесей), механическим (ручная уборка) и физическими воздействиями (ультрафиолетовое облучение и озонирование воздуха) [4-6, 13].

Нами рассмотрены современные облучательные установки и ультрафиолетовые лампы, применяемые для обеззараживания воздуха и позволяющие улучшить микроклимат внутри сельскохозяйственного помещения на примере птичника.

Сведения о бактерицидных устройствах и ультрафиолетовых лампах [7] сведены в сравнительные таблицы, в которых отражены их актуальные стоимости, мощности, КПД, сроки служб, производительности и так далее.

Таблица 1

Сравнение основных ультрафиолетовых ламп

Тип ламп	Страна производитель	Мощ-ность лампы, Вт	Бакте-рицидный поток, Вт	Средняя продол-жительность горения, ч.	η бакт %	Цена, руб. 2017-2018 г.
ДБК-8	Россия	8	3,1	3000	39	80,91
ДБК-36	Россия	36	11,0	4000	30,6	148,34
ДБ-30	Россия	30	10	4000	33	155,08
OSRAM PURITEC HNS 15W	Германия	15	4,9	9000	32,6	309
OSRAM PURITEC HNS 30W	Германия	30	12	9000	40	500
OSRAM PURITEC HNS 55W	Германия	55	18	9000	32,7	900
Philips TUV TL-D 15W	Голландия	15,9	4,9	8000	31	568.55
Philips TUV TL-D 30W	Голландиz	30	12	8000	40	729
Philips TUV PL-L 95W/4P	Голландия	95	32	9000	34	4428
Philips TUV PL-L 60W/4P	Голландия	60	18	9000	30	2691
LTC15 T8	Венгрия	15	4,7	8000	31,3	2 714

ЛИТ ALC 100/32*	Россия	100	23	8000	23	16000
ЛИТ ALC 120/45*	Россия	120	30	8000	25	18000
ЛИТ ALC 170/70*	Россия	170	50	8000	29	20000
OSRAM HNS 8W G5	Германия	8	2.8	6000	35	240

*такие лампы продаются только целиком с установкой, в которой они размещены

Подводя итоги сравнительной Табл.1 проводим оценку по двум основным критериям бактерицидный поток, продолжительность работы было выявлено, что оптимальной лампой является Philips TUV PL-L 95W/4P.

Далее рассмотрим современные устройства для обеззараживания воздуха в разных странах мира, которые своим действием положительно влияют на микроклимат в помещениях.

Данные для таблицы взяты из источников [8-12] (табл.2).

Таблица 2

Сравнение современных устройств по обеззараживанию воздуха

Устройство	Мощность	Производительность воздуха, м³/ч	Эффективность обеззараживания при S=const	Удельные затраты, Вт*ч/м³	Цена, руб*.
ОЗУФ	40	89	94,6- 99,3	0,45	3500...7000
Дезар-5	100	100	99,9	1	11 500
Рециркулятор бактерицидный Аэролит-200	210	200	99,9	1,05	60904
Аэролит-3000	1500	3000	99,9	0,5	По запросу
Облучатель рециркулятор ОБРН 2х15 Азов	95	50	95-99,9	1,9	3290
Сибэст ОБС-2х30-150 М1	60	150	99,0	0,4	6890

*цена указана на период конец 2017 - начало 2018 года

Проанализировав данные Табл.2 и беря во внимание что устройства будут устанавливаться в птичниках, где производительность не должна превышать 200 м³/ч и возможность эксплуатации с учётом агрессивности среды при продолжительной работе и долгом эксплуатационном сроке службы, оценку будем проводить по критериям удельные затраты и цена за устройство, по этим критериям лидирующее место занимает Сибэст ОБС-2х30-150 М1.

Используются облучательные установки не только в сельском хозяйстве. Их применение для обеззараживания воздуха распространено в таких областях как медицина, например Дезар-5, а также в офисных и жилых зданиях. Данные установки не могут использоваться в сельскохозяйственной промышленности из-за агрессивности воздушной среды в помещениях, то есть сравнительно большой концентрации микроорганизмов и пыли.

Однако некоторые элементы таких установок или конструктивные особенности могу использоваться в качестве составляющих устройства для

обеззараживания воздуха в сельскохозяйственных помещениях. Поэтому облучательные устройства из других областей также подлежат изучению и анализу.

Проблема обеззараживания воздуха остается актуальной как в России, так и в других передовых странах. Скорость решения данной проблемы снижается из-за недостатка финансирования и незаинтересованности фермеров во внедрение инноваций на российский рынок. Положительный опыт отечественных и зарубежных коллег в смежных областях связанных с борьбой с вредоносными микроорганизмами позволяет нам проводить анализ методов борьбы с микроорганизмами и внедрять их в сельскохозяйственную отрасль.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00793

Список литературы

1. Юферев Л.Ю. Разработка системы электрофизического двухкомпонентного обеззараживания воздуха в птицеводческих помещениях автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Всероссийский научно-исследовательский институт электирификации сельского хозяйства. Москва, 2006
2. Довлатов И.М. Обеззараживание воздуха в птицеводческих помещениях УФ излучением/ Инновации в сельском хозяйстве. 2017 № 1(22) С 13-14
3. Алферова Л.К., Юферев Л.Ю. Бактерицидная установка повышенной эффективности/ Техника в сельском хозяйстве. 2002. № 2. С. 29-31.
4. Василенко А.А., Приданова М.А. Анализ физических методов дезинфекции воздуха. Инновационные тенденции развития науки. Материалы X Международной научно-практической конференция молодых ученых, посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ. 2017/ Издательство: Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск) С: 144-147
5. Василяк Л.М., Микаева С.А., Васильев А.И., Костюченко С.В., Крючкова О.Б., СизиковВ.П Применение импульсного ультрафиолетового излучения обеззараживания воздуха и поверхностей.XIII Всероссийская научная техническая конференция с международным участием "Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики" в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Саранск, 15-16 марта 2017 г. Сборник трудов конференции 2017 С 75-88 УДК: 614.485
6. Гаврикова Е.И Сравнение ультрафиолетовых и ультразвуковых методов и средств обеззараживания воздуха на объектах агропромышленного комплекса. Агротехника и энергообеспечение. Издательство: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина (Орел). ISSN: 2410-5031 № 1 год 2014 С. 534-538 УДК 3314
7. Юферев Л.Ю. Разработка системы электрофизического двухкомпонентного обеззараживания воздуха в птицеводческих помещениях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва, 2006
8. Алферова Л.К., Козлов А.И., Юферев Л.Ю. Ультрафиолетовый облучатель-озонатор/ Сельский механизатор. 2000. № 6. С. 35.
9. Прокопенко А.А., Юферев Л.Ю. Эффективность применения уф облучателей – озонаторов "ОЗУФ" на объектах ветеринарного надзора / В сборнике: ЭКОЛОГИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА материалы 4-й научно-практической конференции. 2005. С. 262-266.
10. Юферев Л.Ю. Повышение эксплуатационных и энергетических характеристик облучателей "ОЗУФ"/ Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2006. Т. 3. С. 270-275.

11. Довлатов И.М. Установки для обеззараживания птичников аэрозолем / Инновации в сельском хозяйстве 2017 № 2(23), С. 61-66.

12. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.

13. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Светотехника в сельском хозяйстве. Москва, 2016.

References

1. YUferev L.YU. Razrabotka sistemy ehlektrofizicheskogo dvuhkomponentnogo obezzarazhivaniya vozduha v pticevodcheskih pomeshcheniyah avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk [Development of an electro-physical two-component air disinfecting system in poultry-farming rooms the dissertation author's abstract for the degree of candidate of technical sciences] / Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ehlektirifikacii sel'skogo hozyajstva. Moskva, 2006

2. Dovlatov I.M. Obezzarazhivanie vozduha v pticevodcheskih pomeshcheniyah UF izlucheniem [Air disinfection in poultry houses by UV radiation] / Innovacii v sel'skom hozyajstveyu. 2017 No 1(22) p 13-14

3. Alferova L.K., YUferev L.YU. Baktericidnaya ustanovka povyshennoj ehffektivnosti [Bactericidal plant increased efficiency] / Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2002. No 2. p. 29-31.

4. Vasilenko A.A., Pridanova M.A. Analiz fizicheskih metodov dezinfekcii vozduha. Innovacionnye tendencii razvitiya nauki [Analysis of physical methods of air disinfection]. Materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferenciya molodyh uchenyh, posvyashchennoj Godu ehkologii i 65-letiyu Krasnoyarskogo GAU. 2017/ Izdatel'stvo: Krasnoyarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet (Krasnoyarsk) p: 144-147

5. Vasilyak L.M., Mikaeva S.A., Vasil'ev A.I., Kostyuchenko S.V., Kryuchkova O.B., SizikovV.P Primenenie impul'snogo ul'trafioletovogo izlucheniya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej [The use of pulsed ultraviolet radiation disinfecting air and surfaces]. XIII Vserossijskaya nauchnaya tekhnicheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem "Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoj svetotekhniki, ehlektrotekhniki i ehnergetiki" v ramkah IV Vserossijskogo svetotekhnicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. Saransk, 15-16 marta 2017 g. Sbornik trudov konferencii 2017 p 75-88 UDK: 614.485

6. Gavrikova E.I Sravnenie ul'trafioletovyh i ul'trazvukovyh metodov i sredstv obezzarazhivaniya vozduha na ob"ektah agropromyshlennogo kompleksa [Comparison of ultraviolet and ultrasonic methods and means of air disinfection at the facilities of the agro-industrial complex]. Agrotekhnika i ehnergoobespechenie. Izdatel'stvo: Orlovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni N.V. Parahina (Orel). ISSN: 2410-5031 No 1 2014 p. 534-538 UDK 3314

7. YUferev L.YU. Razrabotka sistemy ehlektrofizicheskogo dvuhkomponentnogo obezzarazhivaniya vozduha v pticevodcheskih pomeshcheniyah [Development of a two-component electrophysical air disinfection system in poultry houses]. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Moskva, 2006

8. Alferova L.K., Kozlov A.I., YUferev L.YU. Ul'trafioletovyj obluchatel'-ozonator [Ultraviolet irradiator-ozonizer] / Sel'skij mekhanizator. 2000. No 6. S. 35.

9. Prokopenko A.A., YUferev L.YU. EHffektivnost' primeneniya uf obluchatelej – ozonatorov "OZUF" na ob"ektah veterinarnogo nadzora [The effectiveness of UV irradiators - ozonizers "OZUF" on the objects of veterinary supervision] / V sbornike: EHKOLOGIYA I SEL'SKOHOZYAJSTVENNAYA TEKHNIKA materialy 4-j nauchno-prakticheskoj konferencii. 2005. p. 262-266.

10. YUferev L.YU. Povyshenie ehkspluatacionnyh i ehnergeticheskih harakteristik obluchatelej "OZUF" [Improving the performance and energy characteristics of irradiators "OZUF"] / Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii EHnergoobespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve. 2006. T. 3. p. 270-275.

11. Dovlatov I.M. Ustanovki dlya obezzarazhivaniya ptichnikov aehrozolem [Installations for the disinfection of poultry houses with aerosol] / Innovacii v sel'skom hozyajstve 2017 No 2(23) p. 61-66.

12. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki organicheskih othodov. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) [Methods for assessing the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the functioning of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergy processing of organic waste. research report (Federal Agency of Scientific Organizations)]. Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, 198 p.

13. YUferev L.YU., Alferova L.K. Svetotekhnika v sel'skom hozyajstve. Moskva, 2016.

УДК [635.9:582.477]:631.531.027.33+628.94

УФ СВЕТОДИОДНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ТУИ ЗАПАДНОЙ

UV LED IRRADIATOR FOR PRECISE TREATMENT OF TUI WESTERN SEEDS

Н.П. КОНДРАТЬЕВА, *д-р техн наук, проф., Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия,* ***Р.Г. БОЛЬШИН****, канд. техн. наук, преподаватель,* ***М.Г. КРАСНОЛУЦКАЯ,*** *исследователь, преподаватель, Негосударственное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно-научный инновационный центр «Омега», Ижевск, Россия,* ***Ю.С. ЗЕМБЕКОВ,*** *магистр,* ***К.Ю. ДОЛГАНОВ,*** *бакалавр, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия*

N.P. KONDRAT'EVA, *Dr tech. sci., Prof., Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia,* ***R.G. BOL'SHIN****, cand. tech. sci., lecturer,* ***M.G. KRASNOLUCKAYA****, researcher, teacher, Non-state educational institution of additional professional education "Educational and scientific innovation center" Omega ", Izhevsk, Russia,* ***YU.S. ZEMBEKOV****, Master,* ***K.YU. DOLGANOV****, bachelor, Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia*

Аннотация*. В статье приводятся результаты опытов по облучению семян туи западной УФ светодиодным облучателем, разработанным авторами. УФ LED облучатель не содержит ртути и является энергоэффективным и экономичным. Эксперименты показали положительное воздействие УФ облучения, заключающееся в повышении всхожести семян на 8 % по сравнению с необлученными семенами.*

Ключевые слова*: ультрафиолетовое излучение, УФ светодиодный облучатель, туя западная, семена, доза ультрафиолетового облучения.*

Abstract*. The article presents the results of experiments on irradiation of seeds with tuja by a western UV LED irradiator developed by the authors. UV LED irradiator does not contain mercury and is energy efficient and economical. The experiments showed a positive effect of UV irradiation, consisting in an increase in seed germination by 8% compared to non-irradiated seeds.*

Keywords*: ultraviolet radiation, UV LED irradiator, thuja western, seeds, dose of ultraviolet irradiation.*

С ростом города, развитием его промышленности, становится все более сложной проблема охраны окружающей среды, создания нормальных условий для жизнедеятельности человека. В последние десятилетия усилилось отрицательное влияние человека на окружающую среду и, в частности, на зелёные насаждения. Между тем растительность является средовосстанавливающей системой, обеспечивающей комфортность условий проживания людей в городе, регулирующей, в определенной степени, газовый состав воздуха и степень его загрязненности, климатические характеристики городских территорий, снижающей влияние шумового фактора и имеющая огромное значение для человека, как источник эстетического отдыха людей. В

современных городах в систему озеленения входят зеленые насаждения на жилых территориях во дворах домов, на участках школ, детских учреждений, в парках культуры и отдыха, детских, спортивных и других специализированных парках, в скверах, на бульварах, а также заповедники, санитарно-защитные и водоохранные зоны и т.д..

По данным специалистов, хвойные растения задерживают пыль в 30 раз больше, чем осина, в 12 раз больше, чем береза, а фитонцидов выделяют в 2 раза больше, чем лиственные породы. Поэтому для озеленения городов необходимо использовать хвойные культуры, которые вечнозеленые, неприхотливые. В 2006 г. в Российской Федерации был принят Лесной кодекс, в котором отмечается, что для воспроизводства лесов, должны использоваться только сортовые семена.

Среди множества способов активации ростовых процессов семян мы используем УФ предпосевную обработку семян, основанную на природных механизмах и поэтому не причиняющую вред здоровью людей и не требующую больших финансовых затрат. Этот способ дает положительные результаты, заключающиеся в повышении всхожести семян, сокращении расхода семян, т. е. нормы высева [1, 2, 3, 4, 5].

Для озеленения городов в основном используются следующие хвойные деревья: сосна, ель, лиственница, можжевельник, туя и т д.

Туя очень популярна не только в частных садах, но и масштабно используется для городского озеленения, т. к. растение чрезвычайно неприхотливо к экологии города: хорошо переносит загазованность, запылённость и задымленность. Легко приживается после пересадки, хорошо поддается обрезке и стрижке, некоторые сорта совершенно не требуют коррекции формы – растут сами по себе пирамидой, конусом или шаром (Рис. 1).

а) б)

Рисунок 1 – Общий вид туи западной (а) и веточка туи западной (б)

Туя – это растение, привезенное в Европу из Северной Америки в 1536 году. В роду имеется пять видов деревьев или кустарников, но в России в декоративном садоводстве наиболее популярен вид туи западной (ThujaoccidentalisL). Это медленное растущее зимостойкое дерево выстой до 12

м, не чувствительное к сухости воздуха, имеющее декоративную крону и выдерживающее без укрытия морозы до температуры минус 36°С.

В отношении семян туи западной влияние УФ излучения изучено недостаточно. Поэтому повышение эффективности светодиодной УФ облучательной установки для предпосевной обработки семян туи западной с использованием программируемых логических контроллеров для поддержания требуемой дозы УФО является актуальной задачей.

Целью исследований является разработка УФ светодиодного облучателя (УФ LED облучателя) и обоснование наиболее эффективной дозы ультрафиолетового облучения семян туи западной, позволяющей повысить всхожесть семян и снизить затраты электрической энергии на облучение.

Задачи исследования:

1. Разработать УФ LED облучатель.
2. Провести лабораторные испытания для обоснование наиболее эффективной дозы ультрафиолетового облучения семян туи западной.

Для реализации УФ облучения семян туи западной нами был сделан УФ облучатель. Технические данные УФ светодиодов (УФ LED) приведены в Табл. 1 [6, 7, 8, 9. 10].

Таблица 1

Технические данные УФ LED

Производитель	Hyelesiontek
Длина волны	300-400 нм
Тип линзы	Сферическая
Тип корпуса	SMD 3528
Мощность излучения	10 мВт
Напряжение	3.0-3.4 В
Ток потребления	<15 мА
Размеры	3,5x2,8x1,9 мм

На Рис. 2 показан общий вид УФ LED облучателя размерами 55мм×65мм×20 мм, состоящий из 81 светодиодов.

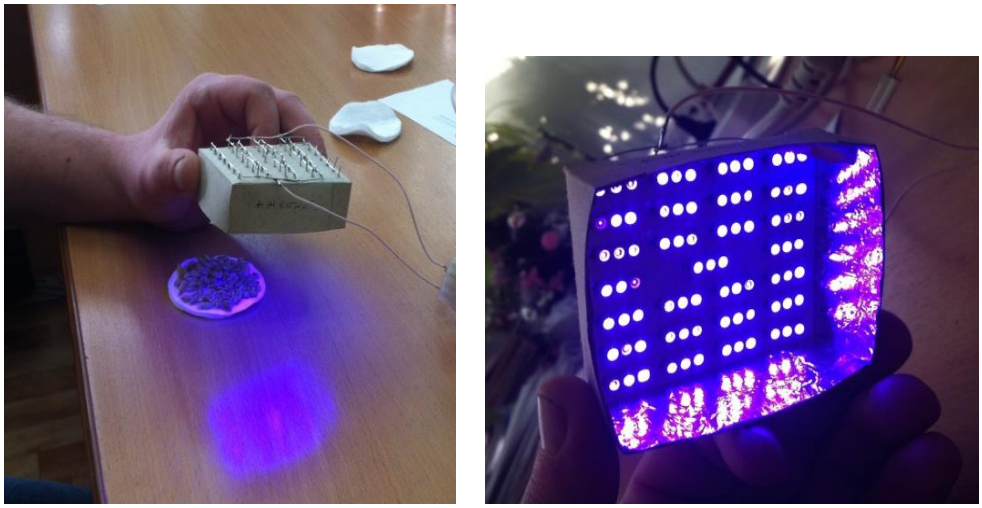


Рисунок 2 - Общий вид УФ LED облучателя

Технические данные предлагаемого УФ облучателя следующие:

- ✓ Напряжение питание УФ LED облучателя $U_{ПИТ}$=11,98 В;
- ✓ Напряжение на резисторе $U_{РЕЗ}$=2,7 В;
- ✓ Напряжение на трех УФ светодиодах $U_{НА\ 3\ УФ\ LED}$=9,6В;
- ✓ Напряжение на одном УФ светодиоде $U_{НА\ 1\ УФ\ LED}$=3,2В;
- ✓ Общий ток от 81 УФ светодиодов $I_{ОБЩ}$=0,195 А;
- ✓ Ток одной ветви, состоящей из последовательно включенных резистора и трех УФ LED, равен $I_{ВЕТВИ}$=7,22 мА
- ✓ Общая мощность УФ LED облучателя, состоящего из 81 УФ светодиодов, составляет 2,34 Вт или примерно 3 Вт.

Прибором ТКА – АВС (Рис. 3) было измерено ультрафиолетовое излучение в трех зонах (Табл. 2).

Рисунок 3 - Общий вид прибора ТКА – АВС

Таблица 2

Спектральный состав излучения УФ светодиодов фирмы Hyelesiontek

Зона УФ излучения	Спектральный диапазон, нм	Мощность излучения,	
		мВт/м^2	%
УФ-А	315... 400	3500	100
УФ-В	280... 315	87,5	2,5
УФ-С	200… 280	13	0,37

Тепловизором Flir была измерена температура нагрева УФ LED облучателя. Измерения показали, что поверхность облучателя в процессе работы нагревается не более 40^{0}С.

Исследования проводились на семенах туи западной (Рис. 4).

Рисунок 4 - Общий вид исследуемых семян туи западной

Все семена были разбиты на четыре группы по 100 растений в каждой. Каждая группа семян, кроме контроля, получала свою дозу УФ облучения (Табл. 3).

Таблица 3

Исследуемые варианты по УФ облучению семян туи западной

Параметры	Вариант		
	1	2	3
t, мин	9,5	14,3	19
t ^{0}C	28	29	30
Доза, кДж/м^2	1,995	3,003	3,99

Из Табл. 3 видно, что семена в процессе обработки также нагревались.

В Табл. 4 приведены полученные результаты.

Таблица 4

Результаты опытов по УФ облучению семян туи западной УФ LED облучателем

Вариант	Всего семян, шт.	Взошло, шт.	Не взошло, шт.	Взошло, %
Контроль	49	39	10	80
1	50	44	6	88
2	50	42	8	84
3	50	41	9	82

Из результатов опытов видно, что УФ облучение положительно влияет на всхожесть семян, что подтверждает результаты предварительных исследований, а также других авторов [11, 12, 13, 14, 15, 16]. Наиболее эффективной для семян туи западной оказалась доза УФ облучения равная 2 кДж/м^2 (вариант 1). При облучении этой дозой всхожесть возрастает на 8 % по сравнению с необлученными семенами.

Опираясь на полученные положительные результаты, в перспективе мы планируем разработать компактную светодиодную УФ облучательную установку, основными звеньями которой будут предлагаемый УФ LED облучатель и микропроцессорная система управления дозой УФ облучения [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

Выводы:

1. Анализ специальной литературы показал, что УФ облучение семян зерновых культур разрядными ртутными лампами повышает их всхожесть. Для озеленения городов широко используется декоративная культура – туя западная, которая не боится наших морозов. зимостойкая

2. Нами разработан экологически чистый, энергоэффективный и экономичный УФ светодиодной облучатель, мощностью около 3 Вт.

3. Проведенные эксперименты показали, что наиболее эффективной для семян туи западной оказалась доза УФ облучения равная 2 кДж/м$^{2.}$, при использовании которой всхожесть семян возросла на 8 % по сравнению с необлученными семенами.

Список литературы

1. Кондратьева Н.П., Корепанов Д.А., Бывальцев А.В., Перевозчиков Е.А. Ультрафиолетовое облучение семян декоративных растений туи западной и ели колючей / Известия Международной академии аграрного образования. 2011. № 12. С. 13-15

2. Украинцев В.С., Корепанов Д.А., Кондратьева Н.П., Бывальцев А.В Влияние ультрафиолетового облучения на повышение посевных качеств семян хвойных пород / Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2011. № 6-1. С. 132-137.

3. Стерхова Т.Н., Кондратьева Н.П., Корнаухов П.Д., Краснолуцкая М.Г. Триер с УФ излучателем / патент на изобретение RUS 2589781 24.09.2014

4. Васенев Е.А., Романов В.Ю., Корепанов Д.А., Кондратьева М.Г., Нигматуллин С.И Механизм подъема и опускания источника излучения устройства для предпосевной обработки семян / патент на полезную модель RUS 150044 05.08.2014

5. Кондратьева М.Г., Корепанова Д.Д. Результаты опытов по влиянию спектра ФАР на повышение всхожести семян садовой клюквы / В сборнике: Современные тенденции в сельском хозяйстве III Международная научная Интернет-конференция: Материалы. ИП Синяев Д. Н.. 2014. С. 56-59.

6. Кондратьева Н.П., Духтанова Н.В., Краснолуцкая М.Г., Литвинова В.М., Большин Р.Г / Компактная светодиодная ультрафиолетовая облучательная установка для предпосевной обработки семян хвойных растений // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 2 (27). С. 62-69.

7. Кондратьева Н.П., Корепанов Д.А., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г Предпосевная обработка семян декоративных растений хвойных пород ультрафиолетовым излучением / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2 (23). С. 45-54.

8. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Зембеков Ю.С., Большин Р.Г Светодиодная УФ установка для облучения семян / Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Марийский государственный университет (Йошкар-Ола) 2017. № 19. С. 269-272.

9. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Зембеков Ю.С., Большин Р.Г. Светодиодная УФ установка для облучения семян / Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2017. № 19. С. 269-272.

10. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. Разработка УФ светодиодной (LED) облучательной установки для предпосевной обработки семян / В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК материалы VII международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Трушкина В.А.. 2016. С. 93-96.

11. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г., Корепанов Д.А УФ светодиодная облучательная установка для обработки семян перед посевом / Агротехника и энергообеспечение. 2016. Т. 1. № 4 (13). С. 22-31.

12. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р., Климачева Т.Н., Духтанова Н.В., Зембеков Ю.С., Большин Р.Г Результаты опытов по влиянию УФ облучения на семена, из которых выращивается зеленей корм на гидропонике / Агротехника и энергообеспечение. 2016. Т. 2. № 4 (13). С. 6-14.

13. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р. Светодиодная интеллектуальная фитоустановка / Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2017. № 19. С. 280-282.

14. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Литвинова В.М., Сомова Е.Н. Результаты опытов по дозированию

фотосинтетически активной радиации микропроцессорной системой, управляющей работой LED фитоустановками / Вестник ВИЭСХ. 2017. № 3 (28). С. 56-64.

15. Kondratieva N., Litvinova V., Bolshin R., Krasnolutskaya M. Energy - saving regiment : RGB techmologies and ultra-violet LEDs for protected soil // Yale review of education and science. 2015. T. V. № 1 (16). С. 758-761.

16. Кондратьева Н.П., Стерхова Т.Н., Владыкин И.Р. Прогрессивные электротехнологии для защищенного грунта на предприятиях АПК Удмуртской Республики // В сборнике: Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings Proceedings of the 3th International scientific conference. Editor Ludwig Siebenberg. 2013. С. 103-106.

17. Кондратьева Н.П., Романов В.Ю., Чефранова М.Н., Нуреева Т.В., Корепанов Д.А., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г Перспективы использования электротехнологии для повышения посевных качеств семян УФ-излучением / Известия Международной академии аграрного образования. 2015. № 24. С. 10-13.

18. Кондратьева Н.П., Юран С.И., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Козырева Е.А., Баженов В.А.Прогрессивные электротехнологии и электрооборудование / Вестник НГИЭИ. 2016. № 2 (57). С. 49-57.

19. Глухов Д.А., Кондратьева Н.П Автоматизация расчетов освещением и облучения в сельском хозяйстве // В сборнике: Инновационные электротехнологии и электрооборудование - предприятиям АПК материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 35-летию факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства, 20 апреля 2012 г.. ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. 2012. С. 76-79.

20. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р., Зембеков Ю.С., Литвинова В.М. Разработка структурной схемы и алгоритма работы ультрафиолетовой светодиодной облучательной установки / Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 3 (16). С. 50-57

21. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Батурин А.И., Литвинова В.М., Филатова О.М Разработка микропроцессорных систем автоматического управления работой светодиодных облучательных установок / Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4 (53). С. 72-80.

22. Большин Р.Г., Ильясов И.Р., Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Краснолуцкая М.Г., Литвинова В.М., Филатова О.М. Разработка микропроцессорной системы дозирования фотосинтетически активной радиации / Вестник НГИЭИ. 2017. № 9 (76). С. 46-56.

23. Коростелев Д.В., Краснолуцкая М.Г., Ельцов В.А., Большин Р.Г Анализ системы управления электрическим освещением / В сборнике: Студенческая наука: современные технологии и инновации в АПК Материалы Всероссийской студенческой научной конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ФГБОУ ВПО "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия". 2014. С. 139-145.

References

1. Kondrat'eva N.P., Korepanov D.A., Byval'cev A.V., Perevozchikov E.A. Ul'trafioletovoe obluchenie semyan dekorativnyh rastenij tui zapadnoj i eli kolyuchej / Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya [Ultraviolet irradiation of seeds of ornamental plants of thuja western and spruce barbed / News of the International Academy of Agrarian Education]. 2011. № 12. pp. 13-15

2. Ukraincev V.S., Korepanov D.A., Kondrat'eva N.P., Byval'cev A.V Vliyanie ul'trafioletovogo oblucheniya na povyshenie posevnyh kachestv semyan hvojnyh porod / Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle [The effect of ultraviolet irradiation on

increasing the sowing qualities of seeds of conifers / Bulletin of Udmurt University. Biology series. Earth Sciences]. 2011. № 6-1. pp. 132-137.

3. Sterhova T.N., Kondrat'eva N.P., Kornauhov P.D., Krasnoluckaya M.G. Trier s UF izluchatelem / patent na izobretenie [Trier with UV emitter / patent for invention] RUS 2589781 24.09.2014

4. Vasenev E.A., Romanov V.YU., Korepanov D.A., Kondrat'eva M.G., Nigmatullin S.I Mekhanizm pod"ema i opuskaniya istochnika izlucheniya ustrojstva dlya predposevnoj obrabotki semchn / patent na poleznuyu model'[The mechanism of raising and lowering the radiation source of the device for presowing treatment of seeds / patent for a utility model] RUS 150044 05.08.2014

5. Kondrat'eva M.G., Korepanova D.D. Rezul'taty opytov po vliyaniyu spektra FAR na povyshenie vskhozhesti semyan sadovoj klyukvy / V sbornike: Sovremennye tendencii v sel'skom hozyajstve III Mezhdunarodnaya nauchnaya Internet-konferenciya: Materialy [The results of experiments on the influence of the spectrum of PAR on the increase in germination of seeds of garden cranberries / In the collection: Modern trends in agriculture III International Scientific Internet Conference: Materials]. IP Sinyaev D. N.. 2014. pp. 56-59.

6. Kondrat'eva N.P., Duhtanova N.V., Krasnoluckaya M.G., Litvinova V.M., Bol'shin R.G / Kompaktnaya svetodiodnaya ul'trafioletovaya obluchatel'naya ustanovka dlya predposevnoj obrabotki semyan hvojnyh rastenij [Compact LED ultraviolet irradiation unit for presowing treatment of seeds of conifers] // Vestnik VIEHSKH. 2017. № 2 (27). pp. 62-69.

7. Kondrat'eva N.P., Korepanov D.A., Krasnoluckaya M.G., Bol'shin R.G Predposevnaya obrabotka semyan dekorativnyh rastenij hvojnyh porod ul'trafioletovym izlucheniem / Innovacii v sel'skom hozyajstve [Presowing treatment of seeds of ornamental plants of conifers with ultraviolet radiation / Innovations in agriculture]. 2017. № 2 (23). pp. 45-54.

8. Kondrat'eva N.P., Krasnoluckaya M.G., Zembekov YU.S., Bol'shin R.G Svetodiodnaya UF ustanovka dlya oblucheniya semyan / Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozyajstva. Marijskij gosudarstvennyj universitet (Joshkar-Ola) [LED UV plant for seed irradiation / Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. Mari State University (Yoshkar-Ola)] 2017. № 19. pp. 269-272.

9. Kondrat'eva N.P., Krasnoluckaya M.G., Zembekov YU.S., Bol'shin R.G. Svetodiodnaya UF ustanovka dlya oblucheniya semyan / Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozyajstva [LED UV plant for seed irradiation / Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products]. 2017. № 19. pp. 269-272.

10. Kondrat'eva N.P., Bol'shin R.G., Krasnoluckaya M.G. Razrabotka UF svetodiodnoj (LED) obluchatel'noj ustanovki dlya predposevnoj obrabotki semyan / V sbornike: Aktual'nye problemy ehnergetiki APK materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Pod obshchej redakciej Trushkina V.A. [Development of a UV LED (LED) irradiation unit for presowing treatment of seeds / In the collection: Actual problems of the energy sector of the AIC materials VII international scientific and practical conference. Under the general editorship of Trushkin V.A.]. 2016. pp. 93-96.

11. Kondrat'eva N.P., Krasnoluckaya M.G., Bol'shin R.G., Korepanov D.A UF svetodiodnaya obluchatel'naya ustanovka dlya obrabotki semyan pered posevom / Agrotekhnika i ehnergoobespechenie [Korepanov D.A. UV LED irradiation unit for seed treatment before sowing / Agrotechnology and energy supply]. 2016. T. 1. № 4 (13). pp. 22-31.

12. Kondrat'eva N.P., Krasnoluckaya M.G., Il'yasov I.R., Klimacheva T.N., Duhtanova N.V., Zembekov YU.S., Bol'shin R.G Rezul'taty opytov po vliyaniyu UF oblucheniya na semena, iz kotoryh vyrashchivaetsya zelenej korm na gidroponike / Agrotekhnika i ehnergoobespechenie [The results of experiments on the effect of UV irradiation on the seeds, of which green food is grown in hydroponics / Agrotechnology and energy supply.]. 2016. T. 2. № 4 (13). pp. 6-14.

13. Kondrat'eva N.P., Krasnoluckaya M.G., Bol'shin R.G., Korepanov R.I., Il'yasov I.R. Svetodiodnaya intellektual'naya fitoustanovka / Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozyajstva [LED Intelligent Phyto-setting / Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products.]. 2017. № 19. pp. 280-282.

14. Kondrat'eva N.P., Bol'shin R.G., Krasnoluckaya M.G., Korepanov R.I., Il'yasov I.R., Litvinova V.M., Somova E.N. Rezul'taty opytov po dozirovaniyu fotosinteticheski aktivnoj radiacii mikroprocessornoj sistemoj, upravlyayushchej rabotoj LED fitoustanovkami [The results of experiments on the dosing of photosynthetically active radiation by a microprocessor system that controls the work of LED fit-machines.] / Vestnik VIEHSKH. 2017. № 3 (28). pp. 56-64.

15. Kondratieva N., Litvinova V., Bolshin R., Krasnolutskaya M. Energy - saving regiment : RGB techmologies and ultra-violet LEDs for protected soil // Yale review of education and science. 2015. T. V. № 1 (16). pp. 758-761.

16. Kondrat'eva N.P., Sterhova T.N., Vladykin I.R. Progressivnye ehlektrotekhnologii dlya zashchishchennogo grunta na predpriyatiyah APK Udmurtskoj Respubliki // V sbornike [Progressive electrical technologies for protected ground at the enterprises of the agro-industrial complex of the Udmurt Republic // In the collection]: Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings Proceedings of the 3th International scientific conference. Editor Ludwig Siebenberg. 2013. pp. 103-106.

17. Kondrat'eva N.P., Romanov V.YU., CHefranova M.N., Nureeva T.V., Korepanov D.A., Krasnoluckaya M.G., Bol'shin R.G Perspektivy ispol'zovaniya ehlektrotekhnologii dlya povysheniya posevnyh kachestv semyan UF-izlucheniem / Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya [Prospects for the use of electrical technology to improve the seed quality of seeds by UV radiation / News of the International Academy of Agrarian Education]. 2015. № 24. pp. 10-13.

18. Kondrat'eva N.P., YUran S.I., Vladykin I.R., Baranova I.A., Kozyreva E.A., Bazhenov V.A.Progressivnye ehlektrotekhnologii i ehlektrooborudovanie [Advanced Electrotechnology and Electrical Equipment] / Vestnik NGIEHI. 2016. № 2 (57). pp. 49-57.

19. Gluhov D.A., Kondrat'eva N.P Avtomatizaciya raschetov osveshcheniem i oblucheniya v sel'skom hozyajstve // V sbornike: Innovacionnye ehlektrotekhnologii i ehlektrooborudovanie - predpriyatiyam APK materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 35-letiyu fakul'teta ehlektrifikacii i avtomatizacii sel'skogo hozyajstva, 20 aprelya 2012 g.. FGBOU VPO Izhevskaya GSKHA [Automation of calculations by lighting and irradiation in agriculture // In the collection: Innovative electrotechnologies and electrical equipment - to enterprises of the agroindustrial complex materials of the All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 35th anniversary of the Faculty of Electrification and Automation of Agriculture, April 20, 2012]. 2012. pp. 76-79.

20. Kondrat'eva N.P., Bol'shin R.G., Krasnoluckaya M.G., Il'yasov I.R., Zembekov YU.S., Litvinova V.M. Razrabotka strukturnoj skhemy i algoritma raboty ul'trafioletovoj svetodiodnoj obluchatel'noj ustanovki / Agrotekhnika i ehnergoobespechenie [Development of the block diagram and algorithm of the ultraviolet LED irradiation installation / Agrotechnology and energy supply]. 2017. № 3 (16). pp. 50-57

21. Kondrat'eva N.P., Bol'shin R.G., Krasnoluckaya M.G., Korepanov R.I., Il'yasov I.R., Baturin A.I., Litvinova V.M., Filatova O.M Razrabotka mikroprocessornyh sistem avtomaticheskogo upravleniya rabotoj svetodiodnyh obluchatel'nyh ustanovok / Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii [Development of microprocessor-based automatic control systems for LED irradiation plants / Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy]. 2017. № 4 (53). pp. 72-80.

22. Bol'shin R.G., Il'yasov I.R., Kondrat'eva N.P., Korepanov R.I., Krasnoluckaya M.G., Litvinova V.M., Filatova O.M. Razrabotka mikroprocessornoj sistemy dozirovaniya fotosinteticheski aktivnoj radiacii [Development of a microprocessor dosing system for photosynthetically active radiation] / Vestnik NGIEHI. 2017. № 9 (76). pp. 46-56.

23. Korostelev D.V., Krasnoluckaya M.G., El'cov V.A., Bol'shin R.G Analiz sistemy upravleniya ehlektricheskim osveshcheniem / V sbornike: Studencheskaya nauka: sovremennye tekhnologii i innovacii v APK Materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchnoj konferencii. Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, FGBOU VPO "Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya" [Analysis of the electric lighting control system / In the collection: Student science: modern technologies and innovations in the agro-industrial complex Materials of the All-Russian Student Scientific Conference. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Izhevsk State Agricultural Academy.]. 2014. pp. 139-145.

УДК 631.53.027.34:621.384.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ LED ФИТОУСТАНОВКАМИ МЕРИСТЕМНОГО ВИНОГРАДА IN VITRO И EX VITRO

INCREASE IN IRRADIATION EFFICIENCY OF LED MERISTEMNY PHYTOINSTALLATIONS OF IN VITRO AND EX VITRO GRAPES

***Н.П. КОНДРАТЬЕВА**, д-р. техн. наук, **Р.И. КОРЕПАНОВ,** аспирант,*
Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ижевск, Россия
***N.P. KONDRAT'EVA**, Dr. tech. sci., **R.I. KOREPANOV**, graduate student, Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia*

***Аннотация**. Предлагается использовать для повышения эффективности облучения меристемного винограда LED фитоустановки на основе RGB светодиодных лент. Данные LED фитоустановки управляются от микроконтроллера, что позволяет менять спектральный состав излучаемого светового потока за счет смешивания цветов в зависимости от выращиваемой культуры. Кроме этого микроконтроллер автоматически управляет временем свечения LED фитоустановки.*

***Ключевые слова**: светодиодные фитоустановки, растения in vitro, микропроцессорная система управления, светодиодные ленты, фотосинтетически активая радиация.*

***Abstract**. It is offered to use for increase in irradiation efficiency of meristemny LED grapes of phytoinstallation on the basis of RGB of LED tapes. These LED phytoinstallations cope from the microcontroller that allows to change a spectral distribution of an emitted luminous flux due to intermingling colors depending on the grown-up culture. Besides the microcontroller automatically operates LED phytoinstallation luminescence time.*

***Keywords**: LED phyto-irradiator, in vitro plants, microprocessor control system, LED strips, photosynthetic active radiation.*

В настоящее время затраты на энергоресурсы составляют значительную долю в себестоимости сельскохозяйственной продукции. Искусственное освещение является одним из важнейших и энергоемких факторов при выращивании растений [1, 2, 3].

Учеными в области электрификации сельскохозяйственного производства доказана эффективность применения ОИ для получения дополнительной растениеводческой продукции, сформулированы, обоснованы и предсказаны разнообразные по характеру новые возможные пути интенсификации производства растений и рационального использования электрической энергии при искусственном облучении растений.

При этом искусственно воздействуя на растения различным по спектральному составу излучением и величиной облученности, можно удлинять или сокращать его вегетационный период, что позволит значительно сократить расходы на тепловую и электрическую энергию при выращивании растений [4,

5, 6]. Поэтому обоснование и выбор наиболее эффективного по спектру источника излучения, величины облученности для конкретной культуры является актуальной задачей.

Эксперименты проводили в меристемной лаборатории Удмуртского НИИСХ. Для исследований использовали культивируемые растения винограда сорта РФ-48 на этапах укоренения и пролиферации (in vitro) и на этапе адаптации (ex vitro) (Рис. 1).

Рисунок 1 - Общий вид меристемных растений винограда

Укоренение и пролиферацию микрорастений *in vitro* проводили в светокомнате лаборатории на питательной среде по прописи Мурасиге-Скуга с добавлением индолилмасляной кислоты (ИМК) в дозе 0,5 мг/л при температуре воздуха 23-25°С [7, 8]. Адаптация меристемных растений проходила в тех же условиях в контейнерах объемом 0,5 л с грунтом на основе верхового торфа.

В опытах сравнивались четыре варианта:

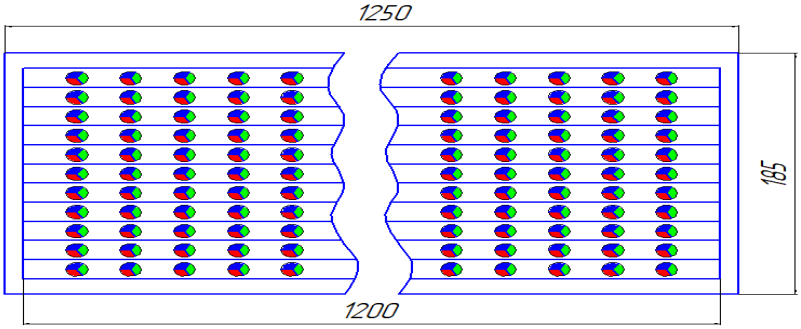
1. LED фитоустановка с отражающими экранами в режиме смешивания цветов мощностью 30 Вт (Рис. 2).

2. LED фитоустановка с ультрафиолетывыми светодиодами в режиме смешивания цветов мощностью 30 Вт (Рис. 3).

3. LED фитоустановка с отражающими экранами работающая в максимальном режиме мощностью 42 Вт.

4. Светильник ЛПО-46 с газоразрядными лампами 2×36 Вт (контроль).

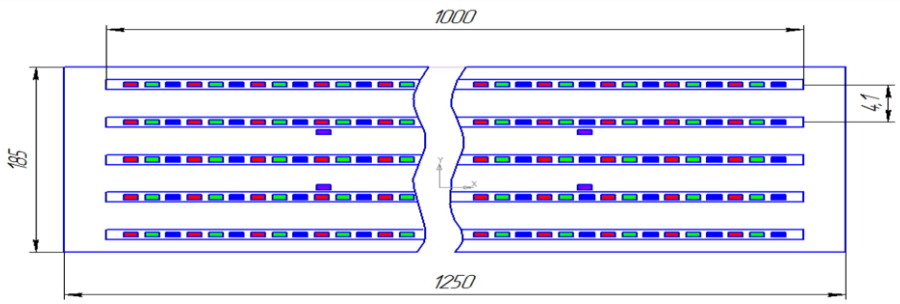
a



b

Рисунок 2 - LED фитоустановка с отражающими экранами: a – общий вид; b - структурная схема LED фитоустановки с отражающими экранами.

a



b

Рисунок 3 - LED-фитоустановка с ультрафиолетовыми светодиодами: a – общий вид; b – Структурная схема LED фитооблучателя с УФ светодиодами.

Параметры фитооблучателей приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики фитооблучателей.

Фитооблучатель	Параметры		
	Напряжение, В	Потребляемая мощность, Вт	Освещенность, лк
LED фитоустановка с отражающими экранами	12	30	2200
LED фитоустановка с ультрафиолетывыми светодиодами	12	30	2180
LED фитоустановка с отражающими экранами в максимальном режиме	12	42	2340
Светильник ЛПО с газоразрядными лампами	220	72	2250

Для автоматического управления работой LED-фитоустановок на базе микроконтроллера ATmega328 создана микропроцессорная система дозирования спектральных составляющих зоны ФАР (Рис. 4).

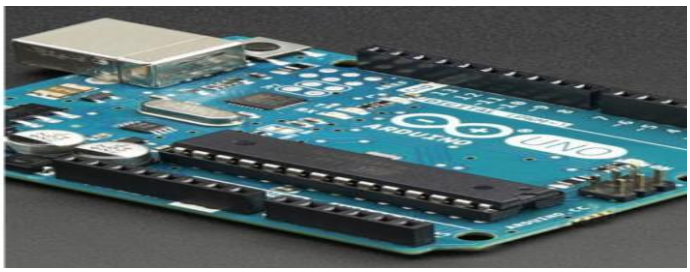


Рисунок 4 - Плата Ardurino UNO с вмонтированным в него микроконтроллером ATmega328.

Принцип работы системы автоматического управления работой светодиодных фитооблучателей описан в литературе [9 -13].

Производственные испытания с разными LED фитоустановками проводились в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ с 2015 по 2018 гг.

Общая площадь поверхности листьев на этапах invitro и exvitro измерялась приборами-проекторами через каждые 5 дней роста винограда и определялась как средняя арифметическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций листьев растений.

В Табл.х 2-4 приведены результаты исследований.

Таблица 2

Результаты опытов по облучению меристемного винограда РФ 48 на этапе укоренения.

Параметры		Облучательные установки			
		LED фитоустановка с отражающими экранами	LED фитоустановка с ультрафиолетывыми светодиодами	LED фитоустановка с отражающими экранами в максимальном режиме	Светильник ЛПО с газоразрядными лампами низкого давления
Время работы облучательной установки, ч.		390	390	480	480
Расход электроэнергии	кВт·ч	0,03	0,03	0,042	0,072
	%	41,67	41,67	58,33	100
Изменение площади листьев	мм^2	100,788	66,685	42,41	23,273
	%	433,07	286,53	182,228	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм^2	0,12	0,18	0,48	1,48
	%	8,11	12,16	32,432	100

Таблица 3

Результаты опытов по облучению меристемного винограда РФ 48 на этапе пролиферации.

Параметры		Облучательные установки			
		LED фитоустановка с отражающими экранами	LED фитоустановка с ультрафиолетывыми светодиодами	LED фитоустановка с отражающими экранами в максимальном режиме	Светильник ЛПО с газоразрядными лампами низкого давления
Время работы облучательной установки, ч.		390	390	480	480
Расход электроэнергии	кВт·ч	0,03	0,03	0,042	0,072
	%	41,67	41,67	58,33	100
Изменение площади листьев	мм^2	98,788	65,935	37,015	24,523
	%	402,84	268,87	150,939	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм^2	0,11	0,18	0,545	1,41
	%	7,8	12,7	38,652	100

Таблица 4

Результаты опытов по облучению меристемного винограда РФ 48 на этапе адаптации.

Параметры		Облучательные установки			
		LED фитоустановка с отражающими экранами	LED фитоустановка с ультрафиолетывыми светодиодами	LED фитоустановка с отражающими экранами в максимальном режиме	Светильник ЛПО с газоразрядными лампами низкого давления
Время работы облучательной установки, ч.		325	325	400	400
Расход электроэнергии	кВт·ч	0,03	0,03	0,042	0,072
	%	41,67	41,67	58,33	100
Изменение площади листьев	мм^2	166,28	176,76	116,8	103,62
	%	160,47	170,58	112,719	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм^2	0,059	0,055	0,14	0,28
	%	21,07	19,64	50	100

Анализ данных показывает, что применение LED фитоустановок оказывает существенное влияние на рост меристемного винограда РФ 48 при значительных снижениях энергозатрат. Наиболее эффективной на этапе укоренения и пролиферации in vitro является LED фитоустановка с отражающими экранами в режиме смешивания цветов, а на этапе адаптации ex vitro LED фитоустановка с ультрафиолетывыми светодиодами в режиме смешивания цветов оказалась эффективнее.

Список литературы

1. Пронина, И.Н., Матушкина О.В. Экономические аспекты использования клонального микроразмножения в системе производства посадочного материала плодовых и ягодных культур. // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. Т26. С. 82-88.
2. Васильев А.Н., Халин Е.В., Некрасов А.И., Шеповалова О.В., Некрасов А.А., Михайлова Е.Е., Дурнев Д.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Трубников В.З., Рощин О.А., Лактионова Н.И., Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Кузмичев А.В., Тихомиров А.В., Маркелова Е.К., Уханова В.Ю., Свентицкий Н.И., Казакова В.А. и др. Разработать методы и модели построения систем электроснабжения сельских потребителей. Выполнить научное обоснование параметров и режимов работы новых системообразующих технических средств теплоэнергообеспечения сельскохозяйственных объектов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 104 с.
3. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.
4.Жилинский, Ю.М. Электрическое освещение и облучение / Жилинский Ю.М., Кумин В.Д., М., Колос, 1982 г., С 268 .
5.Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 1. С. 13-16
6. Квашин, Г.Н. Исследование работы сельскохозяйственных облучательных систем и установок для растениеводства с использованием групповых систем включения / Квашин Г.Н. А.Р., дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. М., ВИЭСХ, 1983 г.
7. Курсаков, Г.А. Методические рекомендации по применению искусственной культуры тканей и органов в генетико-селекционных работах с плодовыми. Мичуринск. 1987. С. 60.
8. Murashige, T. Plant tissue an cell culture application to crop improvement. Prauge: Czechosl. Acad. Sci., 1984. С. 23-32
9. Ильясов, И.Р. Повышение эффективности дозирования ФАР (фотосинтетически активной радиации) / Ильясов И.Р. // В сборнике: Научные труды студентов Ижевской ГСХА ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». Ижевск, 2017. С. 212-213.
10. Ильясов, И.Р. Разработка программного обеспечения для реализации режима облучения / Ильясов И.Р. // В сборнике: Научные труды студентов Ижевской ГСХА

Электронный ресурс. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Ижевск, 2017. С. 490-494.

11. Кондратьева, Н.П. Светодиодная интеллектуальная фитоустановка / Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р. // В сборнике: Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства Мосоловские чтения. 2017. С. 280-281.

12. Корепанов, Р.И. Автоматизированная светодиодная фитоустановка для меристемной земляники (клубники) / Корепанов Р.И., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р., Лещев А.С. // В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Ответственный редактор О. Е. Железникова. 2017. С. 32-40.

13. Корепанов, Р.И. Интеллектуальная светодиодная фитоустановка / Корепанов Р.И, Кондратьева Н.П., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. // В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Ответственный редактор О. Е. Железникова. 2017. С. 23-28.

Referrences

1. Pronina, I.N., Matushkina O.V. EHkonomicheskie aspekty ispol'zovaniya klonal'nogo mikrorazmnozheniya v sisteme proizvodstva posadochnogo materiala plodovyh i yagodnyh kul'tur [Economic aspects of the use of clonal micropropagation in the production system of planting material of fruit and berry crops]. // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2011. No 26. p. 82-88.

2. Vasil'ev A.N., Halin E.V., Nekrasov A.I., SHepovalova O.V., Nekrasov A.A., Mihajlova E.E., Durnev D.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Trubnikov V.Z., Roshchin O.A., Laktionova N.I., Tihomirov D.A., Trunov S.S., Kuzmichev A.V., Tihomirov A.V., Markelova E.K., Uhanova V.YU., Sventickij N.I., Kazakova V.A. i dr. Razrabotat' metody i modeli postroeniya sistem ehlektrosnabzheniya sel'skih potrebitelej. Vypolnit' nauchnoe obosnovanie parametrov i rezhimov raboty novyh sistemoobrazuyushchih tekhnicheskih sredstv teploehnergoobespecheniya sel'skohozyajstvennyh ob"ektov. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) [Develop methods and models for building power supply systems for rural consumers. Perform a scientific substantiation of the parameters and modes of operation of the new system-forming technical equipment for heat and power supply of agricultural facilities. research report (Federal Agency of Scientific Organizations)]. Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. 2017. 104 p.

3. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for the processing of feed, fertilizer, plant waste. scientifically based parameters of energy-saving combination plants for disinfecting air and surfaces. research report (Federal Agency of Scientific Organizations)]. Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. 2017. 115 p.

4. ZHilinskij, YU.M. EHlektricheskoe osveshchenie i obluchenie [Electric lighting and irradiation] / ZHilinskij YU.M., Kumin V.D., M., Kolos, 1982, p 268 .

5. Strebkov D.S., YUferev L.YU., Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Povyshenie ehffektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems] // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2014. No 1. p. 13-16

6. Kvashin, G.N. Issledovanie raboty sel'skohozyajstvennyh obluchatel'nyh sistem i ustanovok dlya rastenievodstva s ispol'zovaniem gruppovyh sistem vklyucheniya [Study of the work of agricultural irradiation systems and installations for crop production using group inclusion systems] / Kvashin G.N. A.R., diss. na soiskanie uch. st. kand. tekhn. nauk. M., VIEHSKH, 1983.

7. Kursakov, G.A. Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu iskusstvennoj kul'tury tkanej i organov v genetiko-selekcionnyh rabotah s plodovymi. Michurinsk. 1987. p. 60.

8. Murashige, T. Plant tissue an cell culture application to crop improvement. Prauge: Czechosl. Acad. Sci., 1984. p. 23-32

9. Il'yasov, I.R. Povyshenie ehffektivnosti dozirovaniya FAR (fotosinteticheski aktivnoj radiacii) [Improving the efficiency of dosing PAR (photosynthetically active radiation)] / Il'yasov I.R. // V sbornike: Nauchnye trudy studentov Izhevskoj GSKHA FGBOU VO «Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya». Izhevsk, 2017. p. 212-213.

10. Il'yasov, I.R. Razrabotka programmnogo obespecheniya dlya realizacii rezhima oblucheniya [Development of software for the implementation of the irradiation regime] / Il'yasov I.R. // V sbornike: Nauchnye trudy studentov Izhevskoj GSKHA EHlektronnyj resurs. Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. Izhevsk, 2017. p. 490-494.

11. Kondrat'eva, N.P. Svetodiodnaya intellektual'naya fitoustanovka [LED Intelligent Phyto-setting] / Kondrat'eva N.P., Krasnoluckaya M.G., Bol'shin R.G., Korepanov R.I., Il'yasov I.R. // V sbornike: Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozyajstva Mosolovskie chteniya. 2017. p. 280-281.

12. Korepanov, R.I. Avtomatizirovannaya svetodiodnaya fitoustanovka dlya meristemnoj zemlyaniki (klubniki) [Automated LED light fitting for meristem strawberries] / Korepanov R.I., Krasnoluckaya M.G., Il'yasov I.R., Leshchev A.S. // V sbornike: Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoj svetotekhniki, ehlektrotekhniki i ehnergetiki materialy XIII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkah IV Vserossijskogo svetotekhnicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. Otvetstvennyj redaktor O. E. ZHeleznikova. 2017. p. 32-40.

13. Korepanov, R.I. Intellektual'naya svetodiodnaya fitoustanovka [Intelligent LED phyto installation] / Korepanov R.I, Kondrat'eva N.P., Il'yasov I.R., Bol'shin R.G., Krasnoluckaya M.G. // V sbornike: Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoj svetotekhniki, ehlektrotekhniki i ehnergetiki materialy XIII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkah IV Vserossijskogo svetotekhnicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem. Otvetstvennyj redaktor O. E. ZHeleznikova. 2017. p. 23-28.

УДК 621.313.333

МЕТОДИКА ПЕРЕРАСЧЁТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА СОВМЕЩЁННУЮ ОБМОТКУ СТАТОРА

THE METHOD OF RECALCULATION OF AN INDUCTION MOTOR ON A COMBINED STATOR WINDING

***К.В. МАРТЫНОВ**, старший преподаватель, В.А. **НОСКОВ**, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО ИжГСХА), Ижевск, Россия*

***K.V. MARTYNOV**, Senior Lecturer, **V.A. NOSKOV**, cand. tech. sci., associate professor, Federal Public Budgetary Educational Institution of Higher Education "Izhevsk State Agricultural Academy", Izhevsk, Russia.*

***Аннотация**. Свойства магнитного поля, создаваемого током трёхфазной обмотки статора асинхронного двигателя, во много зависят от вида этой обмотки. Чем меньше высших ("паразитных") гармоник по отношению к основной (рабочей) гармонике содержится в кривой МДС, тем эффективней обмотка. На практике, в качестве обмотки статора асинхронного двигателя небольшой мощности, широкое распространение получили трёхфазные однослойные 6-зонные обмотки, которые в силу своей конструкции слабо способствует уменьшению высших гармоник.*

Для улучшения формы магнитного поля давно известны и широко распространены-таки методы как распределение фаз обмотки по нескольким пазам и укорочение шага обмотки. Возможны и другие способы совершенствования обмоток. Существует совмещённая 12-зонная обмотка, состоящая из двух трёхфазных обмоток, одна из которых соединена по схеме "звезда", другая по схеме "треугольник". В результате увеличивается число фазных зон и уменьшается содержание высших гармоник.

Статья посвящена разработке методики перерасчёта обмотки статора асинхронного двигателя со стандартной 6-зонной на совмещённую 12-зонную. Представленная в работе методика строилась с соблюдением условий равенства магнитного потока и коэффициента заполнения паза в двигателях со стандартной и совмещённой обмоткой, а

***Abstract**. Properties of magnetic field, created by current of a three-phase winding of the starter of induction motor greatly depend on type of winding. The less upper («parasitic») harmonics towards the major working harmonic in the curve of magneto motive force are the more effective winding is. Three-phase monolayer 6-zones windings are widely used as a stator winding of induction motor of higher harmonics.*

Winding phase techniques such as multiple distribution grooves and shortening the pitch of the winding are well known and still widely distributed to improve the shape of the magnetic field. There are also other ways to improve the windings. There is a combined winding, consisting of two three-phase windings, one of which is a "star" is connected to the scheme and another "triangle". As a result, an increasing number of zones of phase and reduced harmonic content is observed.

This article is devoted to the development of the recalculation methodology of standard 6-zone deposed on 12-zone induction motor stator winding. Presented in the article methodology was carried out with the equal terms of magnetic flow and filling rate of the groove in the engines with standard and combined winding. The term of equal distribution of capacity between the phases "stars" and "triangle" was complied. This methodology was carried out for parallel and series connection of the phases of combined

также условия равного распределения мощности между фазами "звезды" и "треугольника". Методика перерасчёта выполнена как для параллельного, так и для последовательного варианта соединения фаз совмещённой обмотки. Приведён удобный для практических целей алгоритм перерасчёта на совмещённую обмотку. В заключение указывается наиболее вероятная область применения таких совещённых обмоток.

***Ключевые слова**: асинхронный двигатель, совмещённая обмотка, расчёт обмотки, высшие гармоники.*

winding. The useful algorithm of recalculation on the combined winding was given. In conclusion the primary field of application of combined winding was described.

***Keywords**: induction motor, combined winding, winding calculation, higher harmonics.*

Одно из актуальных направлений совершенствования асинхронных двигателей является уменьшение высших гармоник в составе магнитодвижущей силы (МДС), создаваемой токами обмотки статора. Высшие гармоники МДС негативно влияют на работу асинхронного двигателя, они приводят к увеличению вибрации, шума, индуктивности обмотки, появлению тормозящих моментов и добавочных потерь [1].

В сельском хозяйстве в качестве электропривода наибольшее распространение получили асинхронные двигатели мощностью не более 11 кВт, средняя мощность применяемых двигателей составляет 5,5 кВт. В большинстве таких двигателей в статоре уложена однослойная трёхфазная 6-зонная обмотка, которая в силу своей конструкции слабо способствует уменьшению высших гармоник.

Теоретически, уменьшить содержание высших пространственных гармоник (ВПГ) в кривой распределения МДС можно используя вместо стандартной обмотки, совмещённую (рисунок 1). Совмещённая обмотка состоит из двух трёхфазных обмоток, смещённых в пространстве на 30 электрических градусов, фазы, одной из которых соединяются по схеме "звезда", а второй по схеме "треугольник". При этом к фазам "звезды" и "треугольника" подводиться различное напряжение, смещённое относительно друг друга по фазе на 30 электрических градусов. В результате увеличивается число фазных зон обмотки, и такая обмотка будет трёхфазной 12-зонной. Предполагается, что магнитное поле, создаваемое токами, протекающими по фазам совмещённой обмотки, будет близко к магнитному полю шестифазного двигателя, то есть будет содержать меньше ВПГ [2].

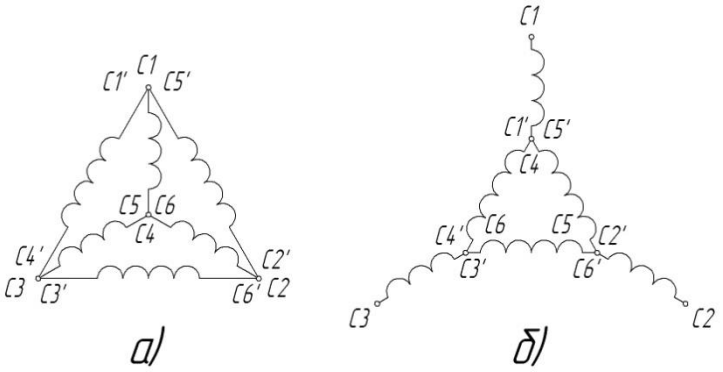


Рисунок 1 - Схемы соединения совмещённых обмоток: а) параллельное соединение; б) последовательное соединение

Впервые совмещённая обмотка встречается в патенте Ульяма Кортельса от 1918 года [3]. Позже были зарегистрированы и другие патенты [4, 5]. Но несмотря на то, что совмещённые обмотки известны давно, они по-прежнему остаются малоизученными.

В предыдущих работах нами были проведены теоретические исследования совмещённых обмоток, а именно: сравнительная оценка относительного содержания ВПГ по отношению к основной гармонике в МДС [6, 7], гармонический анализ МДС [8], оценка изменения активного сопротивления обмотки в зависимости от габаритов машины при различных вариантах обмотки статора [9].

Цель настоящей работы - разработать удобную для практического применения методику перерасчёта асинхронного двигателя на совмещённую обмотку. В особенности данная цель становиться актуальна, по причине возросшего за последние годы интереса в России к таким обмоткам.

Требования предъявляемые к совмещённой обмотке

1. Равенство значений магнитного потока Ф в двигателе со стандартной и совмещённой обмоткой.

Данное требование достигается правильным выбором числа последовательно соединённых витков в фазе w_i:

$$w_i = \frac{k_E \cdot U_i}{4{,}44 \cdot f \cdot k_{обi} \cdot \Phi}, \qquad (1)$$

где i – индекс, обозначающий принадлежность к обмотке (без индекса – фаза стандартной обмотки, Y и Δ – соответственно фаза "звезды" и "треугольника" совмещённой обмотки); k_E – коэффициент пропорциональности между наводимой ЭДС в фазе обмотки и приложенным к ней напряжением (для предварительных расчётов совмещённой обмотки примем равным значению для стандартной обмотки); U_i – напряжение на фазе двигателя, В; f – частота тока, Гц; $k_{обi}$ – обмоточный коэффициент; Ф – основной магнитный поток, Вб.

Обмоточный коэффициент можно представить как произведение коэффициента распределения k_{pi} и коэффициента укорочения k_{yi}, которые удобно взять из приложения в [10], для стандартной обмотки - обмотки трёхфазного тока и для совмещённой обмотки - обмотки шестифазного тока или рассчитать по формуле:

$$k_{обi} = k_{pi} k_{yi} = \frac{\sin\left(q_i \pi p / z\right)}{q_i \sin\left(\pi p / z\right)} \sin\left(\frac{y_i \pi}{2\tau}\right), \qquad (2)$$

где q_i – число катушек в катушечной группе; p – число пар полюсов; z – число пазов; y_i – шаг обмотки; τ – полюсное деление.

2. Мощности фаз "звезды" и "треугольника" совмещённой обмотки должны быть равны.

Ввиду того, что количество витков - число целое, данное условие является самым труднодостижимым на практике. Для его реализации необходимо, что бы число витков фаз "звезды" и "треугольника" в общем случае соответствовали равенству:

$$k_{об\Delta} w_{\Delta} = \sqrt{3} k_{обY} w_{Y} . \qquad (3)$$

3. Равенство коэффициента заполнения паза статора двигателя со стандартной и совмещённой обмоткой.

$$k_{з} = \frac{d_{изi}^{2} w_{пi} c_{i}}{S'_{пi}} , \qquad (4)$$

где $d_{изi}$ – диаметр обмоточного провода в изоляции, мм; $w_{пi}$ – число эффективных проводников в пазу; c_i – число элементарных проводников в одном эффективном проводнике; $S'_{пi}$ – площадь паза с изоляцией в свету, мм^2.

Данное условие должно обеспечить значение плотности тока не больше, чем в стандартной обмотке.

Для перерасчета числа витков, необходимо определить значение напряжения, приложенного к фазам обмотки. На рисунке 2 даны суммы длин векторов приложенных напряжений.

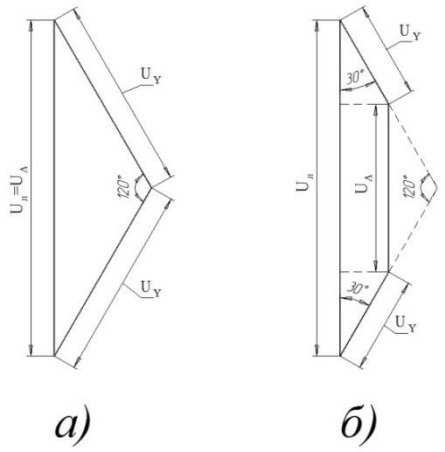


Рисунок 2 - Суммы длин векторов приложенных напряжений к фазам совмещённой обмотки: а) при параллельном соединении; б) при последовательном соединении

При параллельном соединении совмещённой обмотки напряжение фазы "треугольника" U_{Δ} равно линейному напряжению сети $U_л$, а величина напряжения "звезды" при этом в $\sqrt{3}$ раз меньше. Соблюдая условия равенства магнитных потоков в случае, если стандартная обмотка была соединена по схеме "звезда", получим числа витков фаз совмещённой обмотки:

$$\begin{cases} w_{Y} = \dfrac{k_{об} w}{k_{обY}} \\ w_{\Delta} = \sqrt{3} w_{Y} \end{cases} . \qquad (5)$$

При последовательном соединении совмещённой обмотки линейное напряжение сети уравнивается геометрической суммой напряжений "треугольника" и двух напряжений "звезды" (рисунок 2 б). В этом случае числа витков обмотки определяются:

$$\begin{cases} w_Y = \dfrac{k_{об} w}{2k_{обY}} \\ w_\Delta = \sqrt{3} w_Y \end{cases}. \qquad (6)$$

Для практических расчётов нами предлагается алгоритм представленный на рисунке 3.

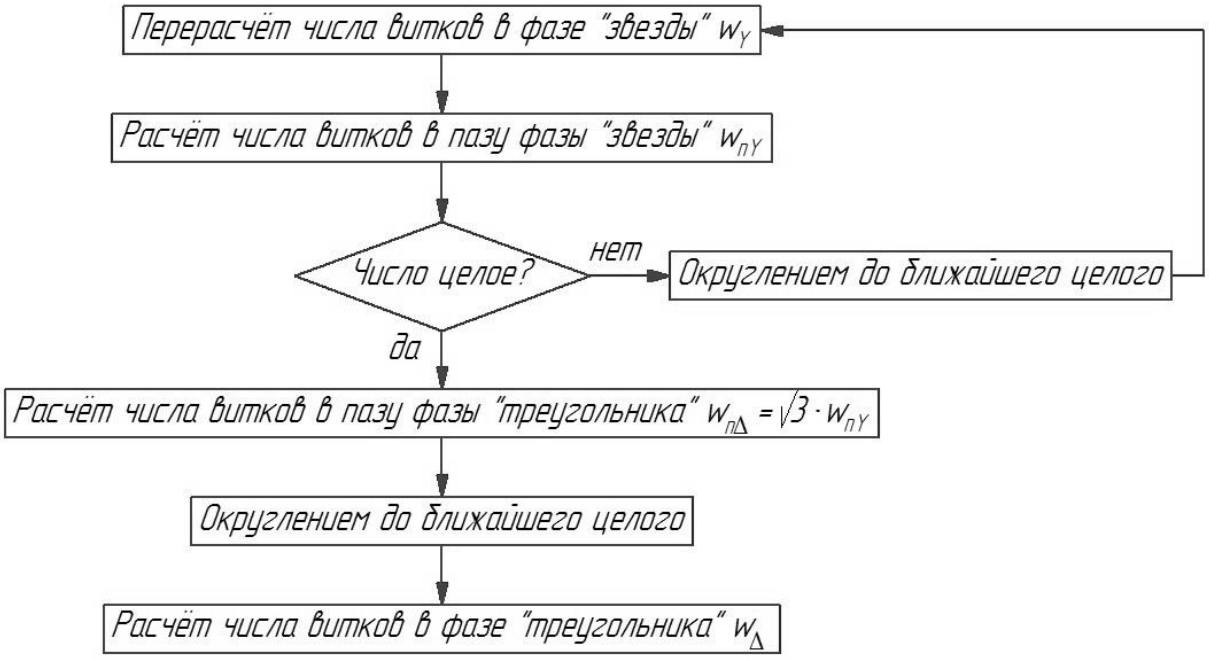


Рисунок 3 - Алгоритм перерасчёта числа витков в фазах совмещённой обмотки

Диаметры обмоточных проводов фаз "звезды" и "треугольника" совмещённой обмотки предлагается находить исходя из условия равенства коэффициентов заполнения паза.

$$d_{изi} = \sqrt{\frac{d_{из}^2 w_п c}{w_{пi} c_i}}. \qquad (7)$$

После чего обмоточные провода выбираются из сортамента.

Наибольшую трудность при реализации совещённых обмоток представляет соблюдение равенства (3). Данное условие проще достичь при большом числе витков в фазе обмотки, что обычно встречается в двигателях небольшой и средней мощности. Кроме того, стоит отметить, что с увеличением распределения фазы обмотки (увеличением числа пазов, приходящихся на полюс и фазу q) соблюдение равенства (3) усложняется, однако эффективность от применения совмещённой обмотки возрастает [7].

Список литературы

1. Геллер, Б. Высшие гармоники в асинхронных машинах / Б. Геллер, В. Гамата / пер. с англ. под ред. З. Г. Каганова. – М.: "Энергия", 1981. – 352 с.

2. Попов, В.И. Новые схемы трёхфазных обмоток электрических машин с улучшенными электромагнитными свойствами: монография / В.И. Попов. – Н. Новгород: ВГИПИ, 1998. – 116 с.

3. Kothals-Altes W. Motor winding // U.S. Patent 1 267 232. May 21, 1918.

4. Auinger H. Dreiphasige Wicklung in Stern-Dreieck-Mischschaltung für eine elektrische Maschine // Patent DE 3202958. 1986.

5. Auinger H. Mehrphasige Wicklungen in Stern-Polygon-Mischschaltung für eine elektrische Maschine // Patent EP 0 557 809. 1993.

6. Мартынов, К.В. Совершенствование конструкции обмотки статора асинхронного двигателя / К.В. Мартынов, В.А. Носков, Л.А. Пантелеева // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – №1(26). – С. 5-12.

7. Носков, В.А. Повышение эффективности обмоток машин переменного тока / В.А. Носков, Л.А. Пантелеева, К.В. Мартынов // Электротехника. – 2018. – №1. – С. 39-43.

8. Мартынов, К.В. Гармонический анализ магнитодвижущей силы асинхронного двигателя с совмещённой обмотки / К.В. Мартынов, В.А. Носков // Развитие энергосистем АПК: перспективные технологии: материалы Международной научно-практической конференции Института агроинженерии (Челябинск, 2018) / под ред. проф., д-ра с.-х. наук М. Ф. Юдина. – Челябинск: ФГБОУ ВО Южно- Уральский ГАУ, 2018. – 160 с

9. Мартынов, К.В. Оптимизация конструкции обмотки статора асинхронного двигателя по активному сопротивлению / К.В. Мартынов, В.А. Носков // Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI века: вклад молодых учѐных-исследователей: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 24-27 октября 2017 года: сборник статей [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. – 313 с.

10. Жерве, Г.К. Обмотки электрических машин / Г.К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 400 с.

References

1. Geller, B. Vysshie garmoniki v asinhronnyh mashinah [Higher harmonics in asynchronous machines] / B. Geller, V. Gamata / per. s angl. pod red. Z. G. Kaganova. – M.: "EHnergiya", 1981. – 352 p.

2. Popov, V.I. Novye skhemy tryohfaznyh obmotok ehlektricheskih mashin s uluchshennymi ehlektromagnitnymi svojstvami: monografiya [New schemes of three-phase windings of electrical machines with improved electromagnetic properties: a monograph] / V.I. Popov. – N. Novgorod: VGIPI, 1998. – 116 p.

3. Kothals-Altes W. Motor winding // U.S. Patent 1 267 232. May 21, 1918.

4. Auinger H. Dreiphasige Wicklung in Stern-Dreieck-Mischschaltung für eine elektrische Maschine // Patent DE 3202958. 1986.

5. Auinger H. Mehrphasige Wicklungen in Stern-Polygon-Mischschaltung für eine elektrische Maschine // Patent EP 0 557 809. 1993.

6. Martynov, K.V. Sovershenstvovanie konstrukcii obmotki statora asinhronnogo dvigatelya [Improving the design of the stator winding of an asynchronous motor] / K.V. Martynov, V.A. Noskov, L.A. Panteleeva // Vestnik VIEHSKH. – 2017. – No.1(26). – pp. 5-12.

7. Noskov, V.A. Povyshenie ehffektivnosti obmotok mashin peremennogo toka [Improving the efficiency of windings of AC machines] / V.A. Noskov, L.A. Panteleeva, K.V. Martynov // EHlektrotekhnika. – 2018. – No.1. – pp. 39-43.

8. 8. Martynov, K.V. Garmonicheskij analiz magnitodvizhushchej sily asinhronnogo dvigatelya s sovmeshchyonnoj obmotki [Harmonic analysis of the magnetomotive force of an asynchronous motor with a combined winding] / K.V. Martynov, V.A. Noskov // Razvitie ehnergosistem APK: perspektivnye tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii Instituta agroinzhenerii [Development of energy systems in the agro-industrial sector: promising technologies: materials of the International Scientific and Practical Conference of the Institute of Agroengineering] (CHelyabinsk, 2018) / pod red. prof., d-ra s.-h. nauk M. F. YUdina. – CHelyabinsk : FGBOU VO YUzhno- Ural'skij GAU, 2018. – 160 p.

9. Martynov, K.V. Optimizaciya konstrukcii obmotki statora asinhronnogo dvigatelya po aktivnomu soprotivleniyu [Optimization of the design of the stator winding of an induction

motor for active resistance] / K.V. Martynov, V.A. Noskov // Innovacionnyj potencial sel'skohozyajstvennoj nauki XXI veka: vklad molodyh uchènyh-issledovatelej: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 24-27 oktyabrya 2017 goda: sbornik statej [Innovative potential of agricultural science of the XXI century: the contribution of young scientists and researchers: materials of the All-Russian scientific-practical conference. October 24-27, 2017: a collection of articles] / FGBOU VO Izhevskaya GSKHA. – Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2017. – 313 p.

10. ZHerve, G.K. Obmotki ehlektricheskih mashin [Windings of electrical machines] / G.K. ZHerve. – L.: EHnergoatomizdat. Leningr. otd-nie, 1989. – 400 p.

УДК 631.544.4

ЗАВИСИМОСТЬ БИОСИНТЕЗА ПИГМЕНТОВ И ПРОДУКТИВНОСТИ ТОМАТА ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ

DEPENDENCE OF BIOSYNTHESIS OF PIGMENTS AND PRODUCTIVITY OF TOMATO ON THE SPECTRAL COMPOSITION OF RADIATION

А.А. СМИРНОВ, *кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ВИМ, Москва, Российская Федерация*

A.A. SMIRNOV*, candidate of technical Sciences, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В последнее время во всем мире интенсивно разрабатывают и испытывают облучатели для растениеводства на основе светодиодов в основном синего, белого и красного спектра так как, варьируя спектральный состав излучения можно целенаправленно менять питательные качества овощей и их урожайность. Целью исследований является проведение сравнительного исследования влияния излучения светодиодов с различным спектральным составом и натриевой лампы на рост и продуктивность томата обыкновенного (Solánum lycopérsicum). Растения томатов выращивались в трех фитокамерах на кокосовом субстрате с капельным поливом. Выявлены зависимости интенсивности биосинтеза пигментов (хлорофилла, каротиноидов, антоцианов), урожайности и питательной ценности томата от различных комбинаций УФ, синего, зеленого и красного света в суммарном спектре облучения. Установлено, что синий свет играет роль стрессового фактора, инициирующего биосинтез антоцианов в листьях и стеблях растения с максимумом полосы поглощения при 530 нм на стадии плодоношения, что в конечном итоге снижает продуктивность томата. Узкополосное излучение красных и синих светодиодов приводит к ингибированию генеративного развития растения, излучение белого светодиода дает увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов. Результаты исследования показали, что путем подбора комбинаций светодиодов можно варьировать спектральный состав фотосинтетически активной радиации (ФАР)*

Abstract*. Recently, throughout the world, intensively developing and testing irradiators for plant growing on the basis of light-emitting diodes mainly blue, white and red spectrum. Varying the spectral composition of radiation, it is possible to purposefully change the nutritional quality of vegetables and their yield. Conduct a comparative study of the effect of radiation from light-emitting diodes with different spectral compositions and the sodium lamp on the growth and productivity of tomato (Solánum lycopérsicum). Tomato plants were grown in three phytocameras on a coconut substrate with drip irrigation. Dependences of the intensity of biosynthesis of pigments (chlorophyll, carotenoids, anthocyanins), yield and nutritional value of tomato from various combinations of UV, blue, green and red light in the total irradiation spectrum are revealed. It was established that blue light plays the role of a stress factor initiating the biosynthesis of anthocyanins in the leaves and stems of a plant with a maximum of the absorption band at 530 nm at the fruiting stage, which ultimately reduces the productivity of the tomato. Narrow-band emission of red and blue light-emitting diodes leads to inhibition of generative plant development, white light emitting diode gives a significant increase in the content of chlorophylls and carotenoids. By means of combinations of light-emitting diodes, it is possible to vary the spectral composition of photosynthetically active radiation (PAR) and thereby increase the efficiency of photosynthesis and yield without losing the nutritional qualities of tomato fruit in*

и повышать тем самым эффективность фотосинтеза и урожайность без потери питательных качеств плодов томатов по сравнению с соответствующими характеристиками ФАР натриевых ламп и солнечного света.

***Ключевые слова**: томат, светодиод, спектр, пигменты, фотосинтез.*

comparison with the corresponding characteristics PAR of sodium lamp and sunlight.

***Keywords**: tomato, LED, spectrum, pigments, photosynthesis.*

Известно [1], что эффективность фотосинтеза и продуктивность овощных культур в условиях защищенного грунта существенно зависит от спектрального состава излучения облучателя. В последнее время во всем мире интенсивно разрабатывают и испытывают облучатели для растениеводства на основе светодиодов (СИД) в основном синего, белого и красного спектров [2,3]. Так в 2017 г. в Калужской области построена теплица для выращивания томата «Чери» с помощью специализированных для этого сорта облучателя Philips LED Lighting. Как заявляют в компании Philips, применение LED-технологии сократит энергопотребление освещения до 50% по сравнению с традиционными решениями, а уникальные световые сценарии позволяют увеличить количество урожая до 30% в темный зимний период. Это первая в России теплица, полностью оснащенная светодиодным освещением.

Возможность широкого варьирования светотехнических характеристик СИД, в принципе, позволяет оптимизировать спектр облучателя не только под вид растения, но и под вегетационный период их роста [4]. Таким образом, открывается возможность целенаправленного изменения питательных качеств овощей и управления их урожайностью.

Цель исследований - провести сравнительные испытания светодиодных облучателей различного спектрального состава и натриевой лампы высокого давления (ДНАТ) и изучить влияние комбинаций СИД с излучением в УФ, синей, зеленой, красной и дальней красной области спектра на интенсивность биосинтеза пигментов, рост, питательную ценность и продуктивность томата обыкновенного.

Исследования проводились в испытательной лаборатории ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Для исследований выбран индетерминантный гибрид томата Императрица F1 селекции компании «СеДеК», предназначенный для выращивания в теплицах в весеннее-летний период. Томаты выращивались в трех фитокамерах на кокосовом субстрате с капельным поливом. Удобрения использовались фирмы General Hydroponics (Франция) Flora Series. Посев томата производился 30.08.2016 г., высадка 31.10.2016 г., начало плодоношения 29.12.2017 г., ликвидация 31.03.2017 г.

В качестве источников излучения использовали облучатели на основе СИД синего (С), белого (Б), красного (К), дальнего красного (ДК) и УФ-А (УФ) излучения в различных комбинациях (Табл. 1) [11,12] и светильник с натриевой лампой высокого давления (ДНАТ) в качестве контрольного. Фитокамера со светильником ДНАТ была разделена светонепроницаемой, отражающей перегородкой на две половины, в одной из которых были дополнительно

размещены СИД синего, дальнего красного и УФ излучения. Облученность ФАР во всех фитотронах была установлена ~55 Вт/м^2 при 18-ти часовом световом периоде и температуре воздуха 21/16°С (день/ночь).

Потребляемая мощность светильников СИД и ДНАТ, составляла 220 и 330 Вт, соответственно. Для измерения фотосинтетически активной радиации (ФАР) и анализа спектра излучения пользовались спектрофотометром ТКА-Спектр. Для управления нагревом, вентиляцией, обогащением двуокисью углерода, влажностью, освещением и регистрацией условий окружающей среды использовался климатический компьютер.

Таблица 1

Спектральные характеристики исследуемых облучателей

Тип облучателя (тип СИД)	Соотношение потоков С:З:К+ДК (% от общего потока)	Облученность УФ-А, Вт/м^2
№1 СИД-1 (С, Б, К, ДК) №2 LED-2 (Bl, Wh, Rd, FR)	15:30:55+14	0,01
№2 ДНАТ №2 HPS	9:67:26+5	0,05
№3 ДНАТ + СИД (С, ДК, УФ) №3 HPS+LED (Bl, FR, UV)	18:59:23+6	0,28
№4 СИД-2 (С, К, ДК, УФ) №4 LED-2 (Bl, Rd, FR, UV)	19:1:80+5	0,31

Интенсивность фотосинтеза оценивали по содержанию пигментов в листьях томата. К ним относятся хлорофилл *a* и *b* (Хл), каротиноиды (k) и антоцианы (Ан). Хл и k экстрагировали из листьев, измельчая и выдерживая их в 95% этаноле (ЭТ) в водяной бане при 50-70°С. Плотность поглощения (D) раствора Хл в ЭТ на длинах волн 440,5; 664 и 649 нм измеряли на спектрофотометре Specord M-40 в кювете толщиной 1 см. Содержание Хл*a* (C_a), Хл*b* (C_b) и каротиноидов ($C_к$) в мг/мл в ЭТ рассчитывали по формулам (1), (2) и (3) из [5]:

$$C_a = 13.36\, A_{664.1} - 5.19\, A_{648.6}\,, \quad (1)$$

$$C_b = 27.43\, A_{648.6} - 8.12\, A_{664.1}\,, \quad (2)$$

$$C_к = 4.68\, A_{440.5} - 0.268\, C_{a+b}\,. \quad (3)$$

Содержание Хл и k в растительном материале в мг/г сухого веса рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{C \cdot V}{P \cdot 1000}, \quad (4)$$

где, *C* - концентрация пигмента в мг/л; *V* - объем вытяжки пигмента в мл; *P* - навеска растительного материала в мг; *A* - содержание пигмента в растительном материале в мг на 1 г сухого или сырого веса.

Антоцианы (Ан) экстрагировали из листьев в растворе воды: ЭТ (1:1) + HCl (1%). Содержание антоцианов ($C_{Ан}$) определяли по формуле:

$$C_{Ан}\ (мг/г) = (D_{530} V \mu)/(P\varepsilon), \quad (5)$$

где, D_{530} – оптическая плотность раствора Ан на длине волны 530 нм, μ – молекулярный вес Ан (449), ε – молярный коэффициент экстинкции, равный

27000 л/ (моль см). Для расчетов и построения графиков использовали программу Excel.

Спектры поглощения антоцианов, экстрагированных из листьев томата, выращенного под излучением СИД-2 представлен на Рис 1. Антоцианам приписывается роль защитного фильтра клетки от разрушающего фотодинамического действия света и УФ радиации в особенности. Наиболее сильный абсорбционный максимум антоцианов относится к 265-280 нм и 510-560 нм.

Зависимости морфологических характеристик томатов от времени роста и спектра облучателя представлены на Рис 2. Распределение содержания сухого вещества, моносахаров, аскорбиновой кислоты и нитратов в плодах томата проводили в испытательной лаборатории ФГБНУ ВНИИССОК по стандартным методикам. Эти результаты приведены в Табл. 2 с указанием разброса в ряду проб каждого образца. Сбор плодов осуществляли по мере достижения биологической спелости.

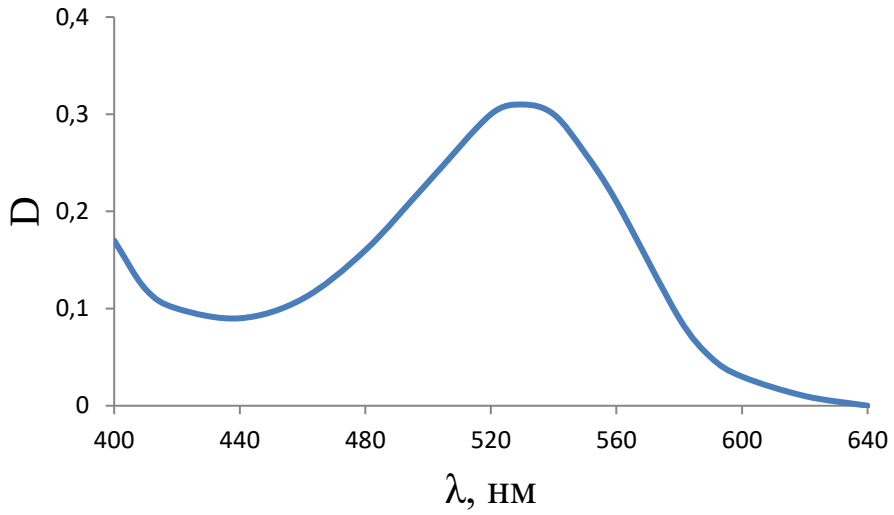


Рисунок 1 - Спектр поглощения антоцианов из листьев томата в растворе воды: этанол (1:1)+ HCl (1%).

Распределение пигментов в образцах листьев зависело от периода вегетации растения, места расположения листа на кусте и состояния пробы листа для каждого облучателя (Табл. 3). Вследствие этого разброс величин А для разных проб каждого образца достигал 20%. В зависимости от периода вегетации содержание воды в зеленых листьях меняется в пределах ~60-90%, поэтому при одинаковой величине Р в формулах (4) и (5) величины А для сухих образцов должны быть в ~2-10 раз больше, чем для сырых образцов. Эта закономерность прослеживается также и для сухих образцов листьев периода плодоношения (№1-№4) при пересчете содержания пигментов к сырому весу и с учетом различия их морфологического состояния.

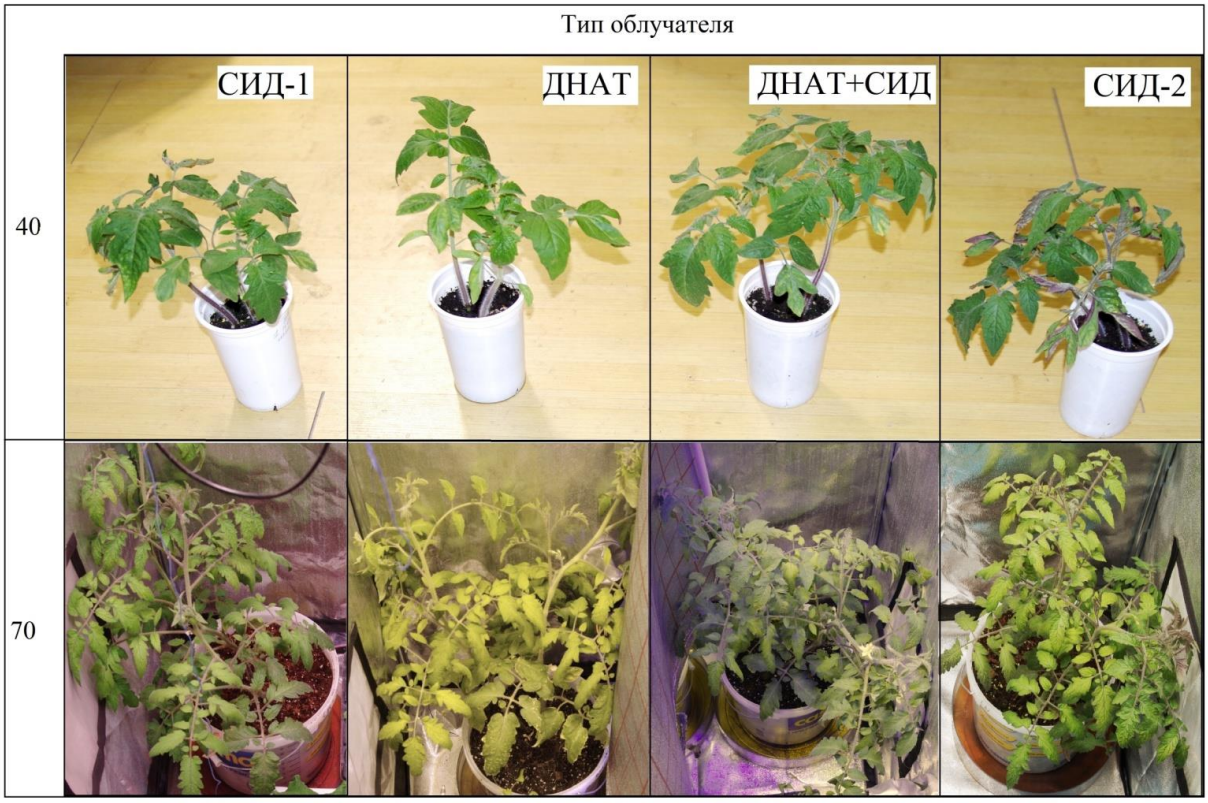


Рисунок 2 - Растения томата на 40 и 70 сутки роста под разными облучателями.

Таблица 2

Результаты биохимического анализа плодов

Образец томата (облучатель)	Сухое в-во, %	Моносахара, %	Аскорбиновая кислота, мг % (или мг/100 г)	Нитраты NO_3^-, мг/кг
№1 (СИД-1) №1 (LED-1)	7,85±1,3%	3,37±6%	30,8±3%	95±17%
№2 (ДНАТ) №2 (HPS)	7,38±0,7%	3,34±1,2%	27,1±5,3%	75±20%
№4 (СИД-2) №4 (LED-2)	7,58±0,7%	3,12±2%	29±3%	94±16%

Таблица 3

Результаты химического анализа листьев

Образцы Листьев	Образец томата (облучатель)	Хлорофилл (мг/г)		$C_к$	$C_{Ан}$
		C_a	C_b	(мг/г)	
Сухие Dried	№1 (СИД-1) (LED-1)	0,55	0,54	1,23	1,4
	№2 (ДНАТ) (HPS)	0,69	0,55	2,98	<0,1
	№3 (ДНАТ+СИД) (HPS+LED)	0,57	0,57	1,32	0,5
	№4 (СИД-2) (LED-2)	0,94	0,53	2,32	2,5
	№5 (Солнце*)	1,10	0,75	7,9	<0,1

Зеленые Green	(Sunlight*)				
	№6 (Солнце* + СИД-2) (Sunlight*+LED-2)	2,79	1,26	11,6	<0,1
	№7 (СИД-1) (LED-1)	3,07	1,49	12,2	<0,1

*) Солнечный свет экранирован стеклом

Таблица 4

Урожай одного растения томата

Образец томата (облучатель)	Урожай, г	Средняя масса плодов, г	Количество плодов, шт.
№1 (СИД-1) (LED-1)	1974,24	56,41	35
№2 (ДНАТ) (HPS)	1969,70	61,55	32
№3 (ДНАТ+СИД) (HPS+LED)	1904,05	61,42	31
№4 (СИД-2) (LED-2)	1136,16	47,34	24

С влиянием состава ФАР можно связать различия в содержании пигментов в листьях и продуктивности томатов для образца №4, по сравнению с образцами облучаемыми другими светодиодами, а также солнцем и ДНАТ (Табл. 3 и 4). Образцы №1 и №4 отличались фиолетовым оттенком листьев и стеблей. Предположили, что данный оттенок обусловлен появлением в растении помимо хлорофилла еще антоцианов, производных флавоноидов [6]. В спектре ДНАТ синяя полоса имеет максимум при 460 нм, тогда как максимумы «синей» полосы излучения СИД и полосы Соре хлорофилла практически совпадают. Интенсивность излучения ДНАТ в синей области лишь в 1,5-2 раза меньше интенсивности потоков света в этой области у СИД (Табл. 1), тогда как эффективность синтеза Ан в образце №2 более чем на порядок ниже, чем в образцах №1 и №4. Учитывая это и корреляцию содержания Ан с интенсивностью синей полосы излучения СИД (Табл. 3), предположили, что синтез антоцианов инициирует свет, возбуждающий в хлорофилле переход на новый энергетический уровень $S_o \rightarrow S_2$ [7]. Биосинтез антоцианов, по-видимому, конкурирует с фотосинтезом других пигментов, снижая тем самым продуктивность томата. Можно полагать, что синий свет СИД досрочно запускает генетическую программу биохимического синтеза флавоноидов, обеспечивающих красную окраску плодов. Такое действие синего света квалифицируется как стрессовый фактор [6,8]. Отсутствие УФ-А в спектре СИД-1 (Табл. 1) исключает действие УФ излучения в качестве стрессового фактора для томатов [8,9].

Высокое содержание Хл в образце №4 при низкой его продуктивности указывает на то, что в стрессовом состоянии фотосинтетического аппарата растения генная программа биохимии плодоношения нарушается, что приводит к снижению урожайности и качества продукта (Табл. 2, 3, 4). Узкополосное излучение красных и синих светодиодов приводит к ингибированию генеративного развития растения, что также подтверждено исследованиями на зеленных культурах [11]. В сравнении с продуктивностью томата под

действием солнечного света, белый светодиод дает существенное увеличение содержания Хл и каротиноидов. При этом наблюдается меньшее содержание Ан, по сравнению с действием света СИД-1 (Табл. 3). После перенесения растения томата под солнечный свет (образец №6) спустя 2 недели содержание Ан значительно снизилось, отсюда можно сделать вывод, что процесс синтеза Ан является обратимым и прекращается при изменении условий облучения.

Исследования показали, что путем комбинаций спектров светодиодов, можно варьировать ФАР и повышать тем самым эффективность фотосинтеза и урожайность без потери питательных качеств плодов томатов по сравнению с соответствующими характеристиками ФАР натриевых ламп и солнечного света. Применение светодиодов в качестве источников света в тепличных облучателях, позволит повысить качество выращиваемой овощной продукции с одновременным снижением затрат на электроэнергию.

Список литературы

1. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. – Светокультура растений: биофизическое и биотехнологические основы / Новосибирск: Изд. Сиб. отд. РАН, 2000. - 213 с.

2. Соколов А.В., Рощин О.А., Качан С.А. Испытание светодиодных установок для облучения растений без внешнего освещения // Инновации в сельском хозяйстве: Электронный журнал. 2017. №2, С. 128-132.

3.Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. Научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций) Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.

4. Hao X., Guo X., Zheng J., Celeste L., Kholsa S., Chen X. Response of greenhouse tomato to different vertical spectra of LED lighting under overhead high pressure sodium and plasma lighting / Acta Hortic. 1170. ISHS 2017. Proc. Int. Symp. on New Tech. and Mgt. for Greenhouses – GreenSys 2015 P. 1003-1010. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1170.129.

5. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. F4.3.1-F4.3.8.

6. Raymond B. Keller Flavonoids: Biosynthesis, Biological Effects and Dietary Sources / NovaSciencePublishers, 2009. - 388 p.

7. Холманский А.С., Смирнов А.А., Пармон В.Н. Обесцвечивание растворов a и b хлорофилла синим и красным светом // Химия высоких энергий. 2018. Т.52, № 1. С. 8-14. DOI: 10.1134/S001814391801006X.

8. Giliberto, L., Perrotta, G., Pallara, P., Weller, J.L., Fraser, P.D., Bramley, P.M., Fiore, A., Tavazza, M., Giuliano Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content // Plant Physiol. G. 2005. P. 199-208. DOI:10.1104/pp.104.051987

9. Ebisawa, M., Shoji, K., Kato, M., Shimomura, K., Goto, F., and Yoshihara, T. Supplementary ultraviolet radiation B together with blue Llight at night increased quercetin content and flavonol synthase gene expression in leaf lettuce (Lactuca sativa L.). Envrion. Control Biol. 2008. 46 (1), P. 1–11. https://doi.org/10.2525/ecb.46.1

10. Смирнов А.А. Влияние УФ-А радиации на биосинтез антоцианов краснолистного салата // Инновации в сельском хозяйстве: Электронный журнал. 2017. №1, С. 115-121.

11. Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Солянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // Физиология растений, 2009, том 56, №1, с. 17-26.

12. Юферев Л.Ю., Соколов А.В., Юферева А.А. Результаты испытаний воздействия светодиодного освещения на растения. Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3 (13). С. 108-112.

13.Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Моделирование спектра освещения светодиодным облучателем. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 8. С. 22-24.

References

1. Tihomirov A.A., SHarupich V.P., Lisovskij G.M. – Svetokul'tura rastenij: biofizicheskoe i biotekhnologicheskie osnovy [Photoculture of plants: biophysical and biotechnological bases] / Novosibirsk: Izd. Sib. otd. RAN, 2000. - 213 p.

2. Sokolov A.V., Roshchin O.A., Kachan S.A. Ispytanie svetodiodnyh ustanovok dlya oblucheniya rastenij bez vneshnego osveshcheniya // Innovacii v sel'skom hozyajstve: EHlektronnyj zhurnal [Testing of LED installations for irradiating plants without external illumination // Innovations in agriculture: Electronic journal.]. 2017. No.2, pp. 128-132.

3. 3.Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. Nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for the processing of feed, fertilizer, plant waste. Scientifically based parameters of energy-saving combination plants for disinfecting air and surfaces. research report (Federal Agency of Scientific Organizations) Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM]. 2017. 115 p.

4. Hao X., Guo X., Zheng J., Celeste L., Kholsa S., Chen X. Response of greenhouse tomato to different vertical spectra of LED lighting under overhead high pressure sodium and plasma lighting / Acta Hortic. 1170. ISHS 2017. Proc. Int. Symp. on New Tech. and Mgt. for Greenhouses – GreenSys 2015 P. 1003-1010. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1170.129.

5. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. F4.3.1-F4.3.8.

6. Raymond B. Keller Flavonoids: Biosynthesis, Biological Effects and Dietary Sources / NovaSciencePublishers, 2009. - 388 p.

7. Holmanskij A.S., Smirnov A.A., Parmon V.N. Obescvechivanie rastvorov a i b hlorofilla sinim i krasnym svetom // Himiya vysokih ehnergij [Discoloration of chlorophyll a and b solutions with blue and red light // High Energy Chemistry]. 2018. T.52, No. 1. pp. 8-14. DOI: 10.1134/S001814391801006X.

8. Giliberto, L., Perrotta, G., Pallara, P., Weller, J.L., Fraser, P.D., Bramley, P.M., Fiore, A., Tavazza, M., Giuliano Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content // Plant Physiol. G. 2005. P. 199-208. DOI:10.1104/pp.104.051987

9. Ebisawa, M., Shoji, K., Kato, M., Shimomura, K., Goto, F., and Yoshihara, T. Supplementary ultraviolet radiation B together with blue Llight at night increased quercetin content and flavonol synthase gene expression in leaf lettuce (Lactuca sativa L.). Envrion. Control Biol. 2008. 46 (1), P. 1–11. https://doi.org/10.2525/ecb.46.1

10. Smirnov A.A. Vliyanie UF-A radiacii na biosintez antocianov krasnolistnogo salata // Innovacii v sel'skom hozyajstve: EHlektronnyj zhurnal [Effect of UV-A radiation on the biosynthesis of anthocyanins of red leaf lettuce // Innovations in agriculture: Electronic journal]. 2017. No.1, pp. 115-121.

11. Avercheva O.V., Berkovich YU.A., Erohin A.N., ZHigalova T.V., Pogosyan S.I., Solyanina S.O. Osobennosti rosta i fotosinteza rastenij kitajskoj kapusty pri vyrashchivanii pod svetodiodnymi svetil'nikami // Fiziologiya rastenij [Features of growth and photosynthesis of Chinese cabbage plants when grown under LED lights // Plant Physiology], 2009, tom 56, No.1, pp. 17-26.

12. YUferev L.YU., Sokolov A.V., YUfereva A.A. Rezul'taty ispytanij vozdejstviya svetodiodnogo osveshcheniya na rasteniya. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2015. № 3 (13). S. 108-112.

13. Sokolov A.V., YUferev L.YU. Modelirovanie spektra osveshcheniya svetodiodnym obluchatelem. Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2015. № 8. S. 22-24.

УДК 621.3.031; 58.037

АНАЛИЗ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТИМУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ

ANALYSIS AND HISTORY OF PROGRESS OF ELECTRICAL STIMULATION OF PLANT

***А.В. СОКОЛОВ**, к.т.н., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

***A.V. SOKOLOV**, cand. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Рассматривается совокупность явлений воздействия электричества на биологические объекты – растения. История и современность в выращивании растений в условиях так называемой электрокультуры. Различные варианты применения электрической стимуляции для повышения урожайности растений. Приводятся проблемы в области электрической стимуляции растительных организмов.*

***Ключевые слова**: электростимуляция, растения, электрокультура, электрофизические воздействия.*

***Abstract**. The set of phenomena of influence of electricity on biological objects – plants is considered. History and modernity in the cultivation of plants in the so-called electroculture. Various applications of electrical stimulation to increase crop yields. Problems in the field of electrical stimulation of plant organisms are presented.*

***Keywords**: electrostimulation, plants, electroculture, electrophysical influence.*

Восприятие живыми растениями внешних электрических воздействий можно отнести к удивительным свойствам. В растениях генерируются биоэлектрические потенциалы, и они сами подвержены воздействиям атмосферного электричества. В растениях распространяются сигналы, например, корень при повреждении "информирует" стебель, далее раздражение передается листьям, и они, все вместе откликаясь изменяют активность корня. В основном поврежденная часть становится электрически отрицательной в пределах 20-120 мВ в зависимости от вида растения и других причин [1].

Существует разность потенциалов между различными органами растений, например, между отдельными частями стебля, корня, цветка [2]. В различных деревьях между электродом в почве и электродом разность потенциалов достигает от 0,1 В до 0,7 В [3].

Цель исследований – проанализировать способы электрических воздействий на растения, выделить проблемы, с которыми сталкиваются исследователи при электрической стимуляции растений, определить варианты решений этих проблем.

Растения не безразличны к электричеству, это было установлено научными и любительскими опытами как успешными, так и неудачными. В 1747 г. обнародовал свои результаты французский физик Жан-Антуан Нолле об ускорении прорастания семян побывавших в электрическом поле. В 1783 г. аббат Бертелон из Франции привел отрицательный результат эксперимента по влиянию электричества. Он полагал, что электричество приводит к задержке

прорастания и росту растений. Причина такой неудачи схожа с результатами опытов итальянца Гардини, он сеткой из металлических проволок экранизировал растения от атмосферного электричества[1].

Уже в XIX веке после серии неудач проведен был эксперимент с колпаком из проволоки и помещенным под ним растением. В такую клетку ввели электрод с острия, которого заряд стекал в атмосферу. Кукуруза под колпаком через 10 суток выросла до 17 см, когда в естественных условиях вырастала до 8 см[1].

С конца XIX века исследователи стали экспериментировать с атмосферным электричеством. В виноградную лозу на высоте 0,8 м вставляли платиновые иглы с медными проволоками, второй провод внизу растения уходил в землю. Атмосферный электрический ток протекал через растение, в ягодах в два раза больше становилось глюкозы и меньше становилось содержание кислот. А также фиксировалось снижение количества зольных элементов в древесине, а в листьях, наоборот, увеличение. Французский писатель Альбер Робида в книге "Электрическая жизнь" (1883г.) писал, что в будущем для стимулирования роста всходов поля будут подвергать электрообработке[1].

Физик Лемстром в 1904 году заметил, что интенсивный рост растительности в течение короткого арктического лета обусловлен своеобразностью электрических условий атмосферы в северных полярных районах. Он провел эксперимент, для чего на высоте 0,5 м от земли расположил металлическую сетку, подал на неё высокое напряжение. Он был поражен эффектом: полевые культуры ускорили рост на 100, а огородные на 120%. Созревание земляники в электрическом поле началось на 26-й день, в то время как в естественных условиях на 54-й. Также финский физик установил, что эффект действия электрического поля зависит напрямую от плодородия почвы[1].

Проводились опыты в Англии в 20-е годы XX века. Так учёный Блекман на высоте 2,1 м развешивал сети проводов и подавал напряжение от 40 до 80 кВ. Сила тока в пределах 0,5–1 мА. Период воздействия два раза в день по 3 ч в течение 20 дней. Эксперименты с полевыми культурами дали увеличение сухого веса надземной массы культур, с некоторыми культурами получен неудачный результат. Из опытов Блекмана и ученых его школы видна зависимость влияния погодных условий и времени года на эффективность электрических воздействий на растения, а также учеными доказано, что сила тока не должна превышать $0{,}1 \cdot 10^{-10}$ А. [1]

И.В. Мичуринподвергал гряды с растениями электризации, и это дало поразительные результаты. Для достижения эффекта он полагал, что напряжения не должны превышать двух вольт. [1].

Русский агроном Н.Н. Спешнев занимался исследованиями электрокультур, электризовав в экспериментах не только почву, но и приземный слой воздуха. Он получил повышение урожайности ячменя и овса, корнеплодов редиса и моркови. Н.Н. Спешнев пропагандировал использование электрокультур среди населения, но попытки были безуспешными[1].

На рубеже XIX и XX вв. Е.Пилсудский разработал метод электрокультуры с использованием цинковых и железных листов в земле на противоположных концах поля так, чтобы в каждой паре токи шли навстречу. В опытах гальванические токи были 0,05–0,25 В. Провода соединявшие листы разъединяли еженедельно на сутки. Урожайность свеклы в опытах Пилсудскогоувеличивалась в три раза, содержание сахара в ее корнях повышалось на 12% [1].

В 1930-е годы в лабораторных опытах Н.А. Артемьева и его группы обнаружено вредное влияние на растения сильной ионизации атмосферы. Так при уменьшении концентрации ионов в 10 раз, урожай огурцов повышается вдвое [1].

З.И. Журбицкий в 1924 году заметил, что растения усваивают азот и фосфор в 1,3 раза больше, чем калия при обычном положительном потенциале атмосферы (130 В/м), а при отрицательном потенциале атмосферы (500 В/м) азота и фосфора – в 2,5 раза меньше[1].

Учеными Института физиологии растений получено, что урожай овса, ячменя, огурцов и кукурузы повышался до 50% при повышении разности потенциалов на 90 В между растениями и атмосферой.Обратный эффект – ограничение роста вдвое растений получали прикрытием металлической сеткой от атмосферного электричества[1].

В 1986 г. в МСХА им. К. А. Тимирязева наблюдали эффект от электростимуляции при низкой почвенной влажности. У опытных растений никаких признаков недостатка влаги не наблюдалось, хотя контрольные были наиболее развитыми, хуже выглядели растения с низкой влажностью почвы и без стимуляции.

Учеными Волгоградского ГАУ проведены опыты по воздействию электрическим током на процесс прирастания прививок растений, получен эффект увеличения положительной результативности не менее чем в два раза и более быстрое протекание процесса срастания [4].

Российские ученые проводили изучение влияния электромагнитного воздействия на коллекционные образцы семян риса. Замечено, что повышается всхожесть, энергия прорастания семян и стимулируются ростовые процессы. Исследованные партии положительно реагировали на электрообработку, но с разной степенью отзывчивости. [5].

Интересны конструкции Почеевского В.Н. в области электростимуляций растений с "бесплатным" природным источником тока. Он использует у себя в огороде электростимуляцию растений преобразованным свободным электричеством земли. Автор утверждает об "обильных" урожаях без дополнительных подкормок, а также о простоте визуальной красоте устройства [6].

Много различных вариантов электрической стимуляции было предложено нашими учеными и за рубежом. На рисунке 1 приведен один из вариантов электростимуляции с источником тока, где отрицательный полюс присоединен к верхним листам растения, а положительный полюс к корням.

На жизнедеятельность растений благоприятно действует слабый электрический ток, пропускаемый через почву. Опытов по электризации почвы проведено много и за рубежом и в нашей стране. При этом почва очень сложный объект, электропроводность которого зависят от влажности, температуры, химического состава, плотности, структуры и других факторов [1,7-11].

В современных зарубежных работах проводится стимуляция роста семян пшеницы [11], факты о важности для физиологического состояния растения электрических сигналов [12]. Описываются различные системы сигнализации, позволяющие интегрировать экологические сигналы для координации молекулярных процессов, связанных как с ранним развитием, так и с физиологией взрослого растения [13].

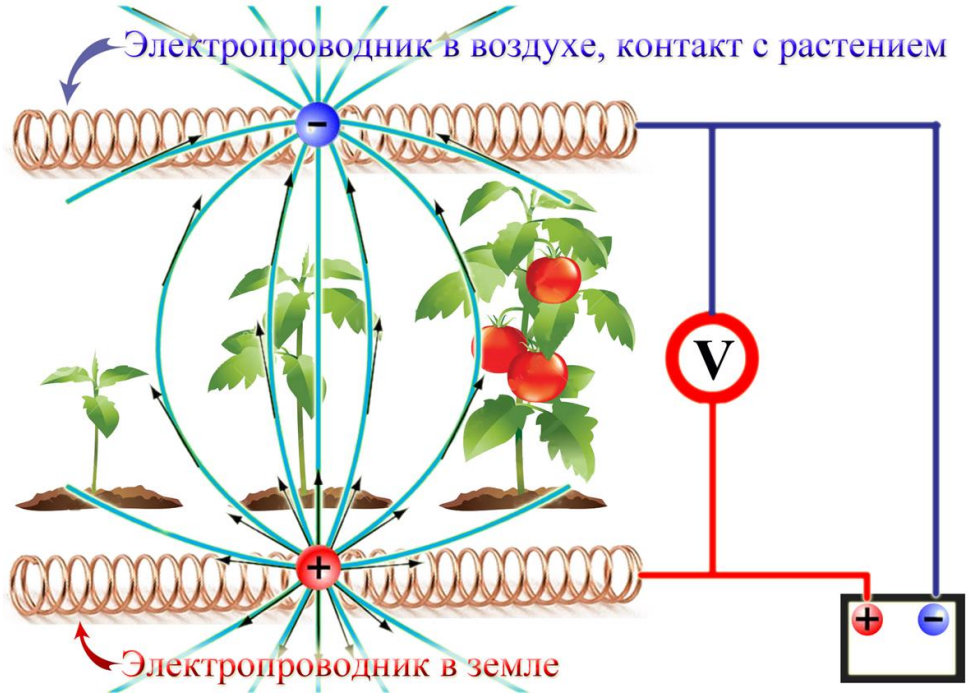


Рисунок 1 – Электрическая стимуляции растений

Многие ученые отмечали, что электростимуляция летом не эффективна, а в таких же экспериментах в зимний период результативность была высокой. Также замечено неодинаковость влияния электричества на проростки в различное время суток. Это свидетельствовало о влиянии естественного электрического фона атмосферы на жизнь растений [1].

Таким образом, в вопросах электростимуляции растений очень много влияющих факторов, которые учесть в одном эксперименте практически невозможно: электропроводность почвы, атмосферное электричество, время года, температура, время суток, электрические параметры самого обрабатываемого организма, его диэлектрическую проницаемость, диэлектрические потери, удельное поверхностное и объемное сопротивление, активное сопротивление отдельных тканей, органов, состояния организма, активности метаболизма в данный период.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что в направлении электростимуляции растений есть очень много нерешенных вопросов. Для их реализации потребуется проведение больших научно-исследовательских работ. Проведения экспериментов с ведением баз данных результатов, разработкой алгоритмов анализа, прогнозирования роста и развития культур с целью формирования базы знаний для реализации функции управления технологическими процессами. И постепенному переходу к интеллектуальной системе контроля и управления технологическими процессами электрической стимуляции растений и их корневой системы.

Решение таких задач должно привести к выявлению зависимостей электростимуляции растений и урожайности, обоснованию параметров системы электрической стимуляции под конкретные сорта растений с целью получения определенных потребительских качеств продукции. И создания системы электростимуляции растений для формирования требуемых качеств растительной продукции.

Список литературы

1. Гордеев А.М., Шешнев В.Б. Электричество в жизни растений. - М.: Наука, 1991. - 160 с.

2.Опритов В.А., Пятыгин С.С., Ретивин В.Г. Биоэлектрогенез у высших растений. – М.: Наука, 1991. – 216с .

3. Холманский А.С., Кожевников Ю.М. Механизм генерации электрохимического потенциала дерева// Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 5 (353). С. 73-80.

4. Баев В.И., Петрухин В.А. Качественное описание процесса прирастания прививок растений при электрической стимуляции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4 (36). С. 241-245.

5. Юдаев И.В., Носова Т.А. Влияние предпосевной электростимуляции на семяна риса с низкими посевными качествами //В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве 80-я научно-практическая конференция. 2015. С. 464-468.

6.Почеевский В. Овощи на... электричестве // Приусадебное хозяйство. Издательский дом "Сельская новь" Москва. 2016. №5. С.32-35.

7. Гуреева М.А. Влияния электростимуляции на растения через корневую систему// Точная наука. 2018. №21. С. 18-21

8. Топорков В.Н., Королев В.А. Исследование воздействия электрических разрядов на содержание усвояемых форм азота в почве // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 2 (23). С. 110-113.

9.Трофимова Н.Б., Топорков В.Н. Исследование воздействия кистевого разряда на почву // Научно-технический бюллетень по электрификации сельского хозяйства. 1984. № 2. С. 18-21.

10. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. Научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное

агентство научных организаций) Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.

11.Maniruzzaman, M; Sinclair, AJ; Cahill, DM ; Wang, XG; Dai, XJJ. Nitrate and Hydrogen Peroxide Generated in Water by Electrical Discharges Stimulate Wheat Seedling Growth// PLASMA CHEMISTRY AND PLASMA PROCESSING Volume.: 37 Issue: 5 Pages: 1393-1404 Published: SEP 2017

12. Chen, Y ; Zhao, DJ; Wang, ZY; Wang, ZY; Tang, GL; Huang, L. Plant Electrical Signal Classification Based on Waveform Similarity//ALGORITHMS Volume: 9 Issue: 4 Article Number: 70 Published: DEC 2016

13. Canales, J; Henriquez-Valencia, C; Brauchi, S. The Integration of Electrical Signals Originating in the Root of Vascular Plants //FRONTIERS IN PLANT SCIENCE Volume: 8 Article Number: 2173 Published: JAN 10 2018.

References

1. Gordeev A.M., SHeshnev V.B. EHlektrichestvo v zhizni rastenij [Electricity in plant life]. - M.: Nauka, 1991. - 160 p.

2. 2Opritov V.A., Pyatygin S.S., Retivin V.G. Bioehlektrogenez u vysshih rastenij [Bioelectricity in higher plants]. –M.: Nauka, 1991. – 216 p.

3. Holmanskij A.S., Kozhevnikov YU.M. Mekhanizm generacii ehlektrohimicheskogo potenciala dereva// Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal [Mechanism of generation of the tree's electrochemical potential // News of higher educational institutions. Forest Journal]. 2016. № 5 (353). pp. 73-80.

4. Baev V.I., Petruhin V.A. Kachestvennoe opisanie processa prirastaniya privivok rastenij pri ehlektricheskoj stimulyacii // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Qualitative description of the process of accretion of plant inoculations during electrical stimulation // News of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education]. 2014. № 4 (36). pp. 241-245.

5. YUdaev I.V., Nosova T.A. Vliyanie predposevnoj ehlektrostimulyacii na semyana risa s nizkimi posevnymi kachestvami //V sbornike: Metody i tekhnicheskie sredstva povysheniya ehffektivnosti ispol'zovaniya ehlektrooborudovaniya v promyshlennosti i sel'skom hozyajstve 80-ya nauchno-prakticheskaya konferenciya [Influence of presowing electrostimulation on rice seeds with low sowing qualities // In collection: Methods and technical means for increasing the efficiency of using electrical equipment in industry and agriculture 80th Scientific and Practical Conference]. 2015. pp. 464-468.

6. Pocheevskij V. Ovoshchi na... ehlektrichestve // Priusadebnoe hozyajstvo [Vegetables on ... electricity // Homestead farm]. Izdatel'skij dom "Sel'skaya nov'" Moskva. 2016. №5. pp.32-35.

7. Gureeva M.A. Vliyaniya ehlektrostimulyacii na rasteniya cherez kornevuyu sistemu// Tochnaya nauka [Effects of electrostimulation on plants through the root system // Exact science]. 2018. №21. pp. 18-21

8. Toporkov V.N., Korolev V.A. Issledovanie vozdejstviya ehlektricheskih razryadov na soderzhanie usvoyaemyh form azota v pochve [Investigation of the impact of electrical discharges on the content of assimilable nitrogen forms in the soil] // Vestnik VIEHSKH. 2016. № 2 (23). pp. 110-113.

9. Trofimova N.B., Toporkov V.N. Issledovanie vozdejstviya kistevogo razryada na pochvu // Nauchno-tekhnicheskij byulleten' po ehlektrifikacii sel'skogo hozyajstva [Study of the impact of a wrist discharge on the soil // Scientific and Technical Bulletin on Electrification of Agriculture]. 1984. № 2. pp. 18-21.

10. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh

kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. Nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for the processing of feed, fertilizer, plant waste. Scientifically based parameters of energy-saving combined installations for disinfecting air and surfaces]. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. 2017. 115 p.

11. Maniruzzaman, M; Sinclair, AJ; Cahill, DM ; Wang, XG; Dai, XJJ. Nitrate and Hydrogen Peroxide Generated in Water by Electrical Discharges Stimulate Wheat Seedling Growth// PLASMA CHEMISTRY AND PLASMA PROCESSING Volume.: 37 Issue: 5 Pages: 1393-1404 Published: SEP 2017

12. Chen, Y ; Zhao, DJ; Wang, ZY; Wang, ZY; Tang, GL; Huang, L. Plant Electrical Signal Classification Based on Waveform Similarity//ALGORITHMS Volume: 9 Issue: 4 Article Number: 70 Published: DEC 2016

13. Canales, J; Henriquez-Valencia, C; Brauchi, S. The Integration of Electrical Signals Originating in the Root of Vascular Plants //FRONTIERS IN PLANT SCIENCE Volume: 8 Article Number: 2173 Published: JAN 10 2018.

УДК 631.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ЗЕРНА В БУНКЕРЕ КОМБАЙНА ВО ВРЕМЯ УБОРОЧНЫХ РАБОТ

THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR DETERMINING THE WEIGHT OF GRAIN IN THE HOPPER OF THE COMBINE DURING HARVESTING

***Е.В. ПУХОВ**, доктор технических наук, заведующий кафедрой, **М.Г. ТИМОШИНОВ,** аспирант**,** ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж, Россия*

***E.V. PUHOV**, doctor of technical Sciences, head of Department, **M.G. TIMOSHINOV**, a graduate student of the Voronezh state agricultural UNIVERSITY, Voronezh, Russia*

***Аннотация**. Введение. Стремительное развитие технологий ведет за собой необходимость своевременной адаптации всех отраслей производства, в том числе агропромышленного комплекса. Одно из направлений заслуживающее особого внимания, это искусственные нейронные сети. На сегодняшний день уже есть положительный опыт их применения в сельском хозяйстве, но это лишь незначительная часть от их потенциала.*

Цель исследований. На основе существующих способов использования нейросетей в сельском хозяйстве, разработать метод определения массы зерна во время уборочных работ.

Материалы и методы. В статье применяются методы идентификации, системного и сравнительного анализа.

Результаты. Были рассмотрены существующие способы использования нейросетей в агропромышленном комплексе. Был разработан метод определения массы зерна во время уборочных работ при помощи нейросетей, который позволит избежать расходов, связанных с воровством, штрафами, непредвиденными поломками, недогрузкой.

Выводы. На основе проделанной работы, было определено, что нейросети нашли широкое применение в различных сферах жизни, и могут быть полезны для сельскохозяйственной отрасли.

***Ключевые слова**: нейросети, сельское хозяйство, TensorFlow, масса зерна, бункер-перегрузчик, метод определения массы.*

***Abstract**. Introduction. The rapid development of technologies leads to the need for timely adaptation of all industries, including agriculture. One of the areas that deserves special attention is artificial neural networks. To date, there is already a positive experience of their application in agriculture, but this is only a small part of their potential.*

Purpose of research. On the basis of existing methods of using neural networks in agriculture, to develop a method for determining the mass of grain during harvesting.

Materials and methods. The article uses the methods of identification, system and comparative analysis.

Results. The existing ways of using neural networks in the agro-industrial complex were considered. A method of determining the mass of grain during harvesting using neural networks was developed, which will avoid the costs associated with theft, fines, unforeseen breakdowns, underloading.

Summary. Based on the work done, it was determined that neural networks are widely used in various spheres of life, and can be useful for the agricultural sector.

***Keywords**: neural networks, agriculture, TensorFlow, grain mass, hopper-reloader, mass determination method.*

Искусственная нейронная сеть (нейросеть) - это система соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов) способных к самообучению [1, 2]. Они нашли широкое применение в таких сферах

жизни, как экономика (прогнозирование цен на сырье, оптимизация товарных и денежных потоков, считывание и распознавание чеков и документов и др.), медицина (диагностика заболеваний, мониторинг состояния пациента и др.), авионика (распознавание сигналов радаров, беспилотное управление летательными аппаратами и др.), связь (скоростное кодирование-декодирование, сжатие видеоинформации и др.), интернет (ассоциативный поиск информации, поиск по изображению и др.), автоматизация производства (мониторинг и визуализация диспетчерской информации, оптимизация режимов производственного процесса и др.), робототехника (построение маршрута движения, распознавание объектов перед роботом и др.), безопасность (распознавание лиц, анализ данных с разнообразных датчиков и др.), геологоразведка (обработка сейсмических данных, оценка расположения полезных ископаемых и др.) [3,4,5,6]. Сферы жизни в которых применяются нейросети показаны на рисунке 1.

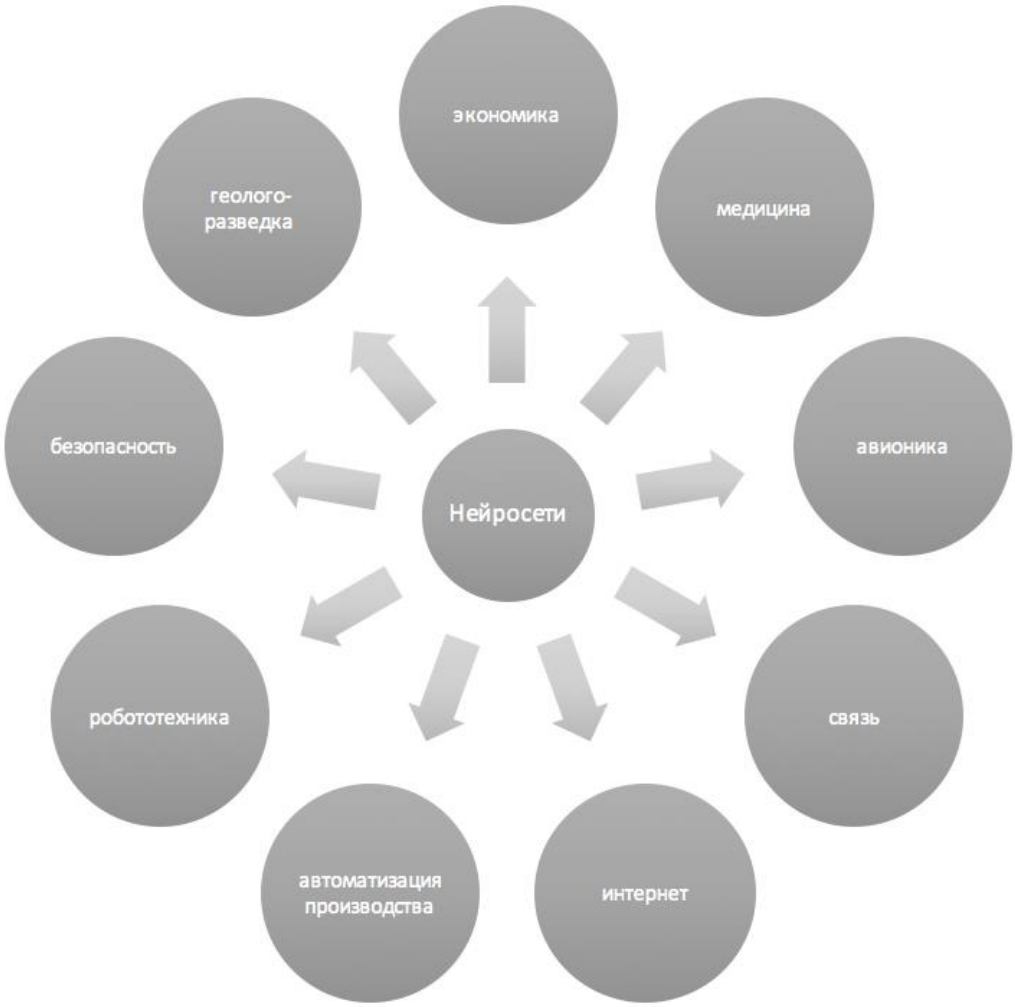


Рисунок 1 – Применение нейросетей в различных сферах жизни

Перечисленное выше может быть применено в агропромышленном комплексе. Например, своевременный прогноз цены на сельскохозяйственную продукцию позволит ускорить реализацию выбранной культуры. Диагностика узлов и деталей транспортных и технологических машин предотвратит неожиданные поломки, тем самым предотвратит простои дорогостоящей техники в разгар уборочн-

ных работ. Использование беспилотников с системой распознавания сможет определить площадь посевов, и отследить качество выполнения полевых работ работниками сельскохозяйственного предприятия. Ускорит передачу данных с поля диспетчерскому отделу. Позволит находить необходимую информацию быстрее. Оптимизирует режимы производственного процесса, например упростив транспортную логистику. Сделает реальным управление техникой без оператора. Поможет искоренить воровство на предприятии. При помощи анализа сейсмических данных спрогнозирует оптимальное время для уборки.

В Андхра-Прадеше, одном из штатов Индии, усилиями Международного научно-исследовательского института сельскохозяйственных культур для полузасушливых тропиков (ICRISAT), Microsoft и правительством штата, было испытано новое приложение для посева на базе нейросети, которое позволило на 30 % повысить урожайность [7].

Это приложение разрабатывалось с целью достижения оптимальных урожаев, которое в зависимости от погодных условий, почвы и других показателей рекомендовало лучшее время для посева. Сотрудничество ICRISAT и Microsoft дало возможность фермерам применять современные технологии и методы ведения сельского хозяйство в штате, что позволило получать сведения о здоровье почвы, рекомендации по удобрениям и прогноз погоды на семь дней, из лучших в мире систем наблюдения за погодными условиями и моделей глобального прогноза. Эти данные обрабатываются для максимальной точности на уровне деревни.

В последствии фермер получает SMS на телефон, включающее важную информацию, такую как рекомендация времени посева и уборки урожая, глубина посева, подготовка почвы и т.д.

Еще одно применение нейросетей в сельском хозяйстве, принадлежит японскому инженеру Макото Койке. Им была решена проблема сортировки огурцов на родительской ферме. Большие и ровные огурцы стоят дороже, поэтому есть необходимость отделения их от общей массы. До предложенного им метода это происходило вручную. Устройство состоит из конвейера, фотокамеры и механической руки.

Сортировочный алгоритм состоит из разработки Google, TensorFlow. Прочитав инструкцию можно воспользоваться исходным кодом технологии, это делает возможным применение нейросетей в своих работах. ArduinoMicro и RaspberryPi 3 можно применить, как аппаратное средство. Они позволяют управлять сортировщиком и камерой, которая передает изображения на GoogleCloud, в котором анализируется отправленная информация.

Однако применение этого метода требует определенной подготовки, так, например, чтобы работала система распознавания необходимо сделать фото, в данном случае их было 7000 штук, что дало лишь 70% верных решений [8]. Из этого можно сделать вывод, что базы фото в таком количестве не достаточно для нормального обучения нейросети. Возможно, еще одним фактором, давшим такую неточность, послужило низкое разрешение фотографий (80 на 80 пикселей).

Новый сервис от Google - Cloud ML, позволит решить эти недочеты, он будет обрабатывать данные из тысячи серверов, тем самым помогая с обучением нейронных сетей.

Применение искусственных нейронных сетей, во время уборки урожая, позволило бы решить такую проблему, как своевременное определение массы зерна. На сегодняшний день собранный урожай должен проделать определенный путь до весовой (Рис. 2), что в свою очередь приводит к непредусмотренным потерям, таким как:

- воровство;
- штрафы за превышение перевозимого груза;
- преждевременным отказам транспортных машин, из-за перегруза;
- недогрузке.

Рисунок 2 – Существующая технологическая схема уборочного процесса

Чтобы избежать этих потерь, массу зерна нужно определять во время выгрузки комбайна (Рис. 3) [9].

Рисунок 3 – Предлагаемая технологическая схема уборочного процесса

Предлагаемый метод определения массы зерна во время уборочных работ при помощи нейросетей, представляет из себя следующее: при помощи информации об урожайности, пути проделанном комбайном, а также погрешности на возможные потери зерна при уборочных работах, определяется зерновая масса выгружаемая в зерновоз, затем после прибытия на весовую, данные перепроверяются. Применение нейросетей позволит не только определять выгружаемую массу при помощи вышеизложенных параметров, но и путем сравнительного анализа данных о весе, полученных во время выгрузки и на весовой, добиться более точных результатов, при каждом последующем вычислении.

Альтернативой этого метода могут служить бункеры-перегрузчики, оснащенные тензометрическими системами взвешивания, но в основном они используются как тара для временного хранения, пока транспортные машины отвозят зерно. Их применение в качестве контрольно-измерительных системы для массы не выгодно предприятию. Большое их количество в машинно-тракторном парке ведет к экономическим потерям на обслуживание, моральное обновление и хранение, поэтому на предприятии их не бывает много. Из-за этого происходит нехватка свободных бункеров-перегрузчиков на поле во время уборки, комбайнеры делают выгрузку в свободное транспортное средство, находящиеся на краю поля, и этот процесс происходит как правило «на глаз». В этом случае масса засыпанного зерна неизвестна. Таким образом этот метод уступает предыдущему.

Применение нейросетей в агропромышленном комплексе позволит реализовать давнюю мечту человечества – отсутствие голода во всем мире. Возможно, очень скоро всю работу будут выполнять машины под управлением нейросетей, не требующие присутствия человека [10]. Для того чтобы это приблизить нужно начать с малого, хотя бы с реализации предложенного метода определения массы

во время уборочной работы. Который не только ускорит технологический прогресс, но и приведет предприятия к значительным экономическим выгодам

Список литературы

1. С. Хайкин, Нейронные сети: Полный курс. 2006. -367с.

2. Нейронные сети [Электронный ресурс] // Новости высоких технологий. Режим доступа: https://hi-news.ru/tag/nejronnye-seti

3. Ежов А.А, Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе // М.: МИФИ, 1998. - 224с.

4. Курочка П.Н., Нгуен В.Ж. Прогнозирование состояний технических систем на основе формирования образа входного ряда нейросети// Управление строительством. 2015. №2(7). С. 225-228.

5. Дегтева Н.М. Нейросети в принятии управленческих решений// ООО «ЭКЦ Интеллект». 2015. С. 19-21.

6. Харламова Е.С. Нейросети – очередной этап развития информационных технологий// МГОТУ. 2015. С. 176-189.

7. Microsoft and icrisat’s intelligent cloud pilot for agriculture in andhra pradesh increase crop yield for farmers [Электронный ресурс] // ICRISAT. Режим доступа: http://www.icrisat.org/microsoft-and-icrisats-intelligent-cloud-pilot-for-agriculture-in-andhra-pradesh-increase-crop-yield-for-farmers/

8. Использование нейронных сетей для выращивания огурцов [Электронный ресурс] // Инновации и технологии. Режим доступа: http://nbiplus.com/idea/ispolzovanie-neyronnyh-setey-dlya-vyraschivaniya-ogurcov

9. Пухов Е. В., Тимошинова М. Г. Совершенствование метода контроля веса зерна при уборочных работах // Вестник НГИЭИ. 2017. № 12 (79). С. 77−86.

10. Ободан Н.И., Гук Н.А. Идентификация модели обратной задачи наблюдаемой системы с использованием нейросети// ВМСППС. 2015. С. 163-165.

References

1. S. Hajkin, Nejronnye seti: Polnyj kurs [Neural Networks: Full Course]. 2006. -367 p.

2. Nejronnye seti [EHlektronnyj resurs] // Novosti vysokih tekhnologij [Neural Networks // High Tech News]. URL: https://hi-news.ru/tag/nejronnye-seti

3. Ezhov A.A, SHumskij S.A. Nejrokomp'yuting i ego primenenie v ehkonomike i biznese [Neurocomputing and its application in economics and business] // M.: MIFI, 1998. – 224 p.

4. Kurochka P.N., Nguen V.ZH. Prognozirovanie sostoyanij tekhnicheskih sistem na osnove formirovaniya obraza vhodnogo ryada nejroseti// Upravlenie stroitel'stvom [Prediction of the state of technical systems based on the formation of the image of the input series of a neural network // Construction Management]. 2015. №2(7). pp. 225-228.

5. Degteva N.M. Nejroseti v prinyatii upravlencheskih reshenij// OOO «EHKC Intel-lekt». 2015. S. 19-21.

6. Harlamova E.S. Nejroseti – ocherednoj ehtap razvitiya informacionnyh tekhnologij [Neural networks in making management decisions] // MGOTU. 2015. pp. 176-189.

7. Microsoft and icrisat’s intelligent cloud pilot for agriculture in andhra pradesh increase crop yield for farmers [EHlektronnyj resurs] // ICRISAT. Rezhim dostupa: http://www.icrisat.org/microsoft-and-icrisats-intelligent-cloud-pilot-for-agriculture-in-andhra-pradesh-increase-crop-yield-for-farmers/

8. Ispol'zovanie nejronnyh setej dlya vyrashchivaniya ogurcov [Using neural networks for growing cucumbers] // Innovacii i tekhnologii. Rezhim dostupa: http://nbiplus.com/idea/ispolzovanie-neyronnyh-setey-dlya-vyraschivaniya-ogurcov.

9. Puhov E. V., Timoshinova M. G. Sovershenstvovanie metoda kontrolya vesa zerna pri uborochnyh rabotah [Improving the method of controlling the weight of grain during harvesting] // Vestnik NGIEHI. 2017. № 12 (79). pp. 77−86.

10. Obodan N.I., Guk N.A. Identifikaciya modeli obratnoj zadachi nablyudaemoj si-stemy s ispol'zovaniem nejroseti [Identification of the model of the inverse problem of the observed system using a neural network]// VMSPPS. 2015. pp. 163-165.

УДК 631.371:621.311.4:636

ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТЕЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ В ЭНЕРГОРЕСУРСАХ И ИХ СТРУКТУРА НА ПЕРИОД ДО 2030 г.

NEEDS ASSESSMENT OF ENERGY RESOURCES FOR AGRICULTURE OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THEIR STRUCTURE FOR THE PERIOD UP TO 2030

***Д.А. ТИХОМИРОВ**, д.т.н., гл. научн. сотр., **А.В. ТИХОМИРОВ**, к.т.н., гл. специалист, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***D.A. TIHOMIROV**, doctor of technical Sciences, chief researcher., **A.V. TIHOMIROV**, candidate of technical science, main specialist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В статье приведены показатели анализа энергетической базы сельского хозяйства – динамика потребления энергоресурсов с 1990 по 2015 г. их структуры, энергоемкость ВВП сельского хозяйства, на основе которого определены основные задачи и перспективные направления развития систем и средств энергообеспечения села во всех сферах этой проблемы. Обосновано направление развития децентрализованных (автономных) систем энергообеспечения, в первую очередь на базе широкого использования возобновляемых и местных энергоресурсов.*

***Ключевые слова**: энергоресурсы, энергопотребление, электропотребление, децентрализованное энергообеспечение, энергоемкость, сельское хозяйство.*

***Abstract**. The article presents the indicators of the analysis of the energy base of agriculture-the dynamics of energy consumption from 1990 to 2015, their structure, the energy intensity of the gross domestic product of agriculture. On the basis of these results, the main tasks and promising directions of development of systems and means of energy supply of the village in all spheres of this problem are determined. The direction of development of the decentralized (Autonomous) systems of power supply, first of all on the basis of wide use of renewable and local energy resources is proved.*

***Keywords**: energy resources, energy consumption, electricity consumption, decentralized energy supply, energy intensity, agriculture.*

В программе развития сельского хозяйства на период до 2020 г. определены показатели роста производства основных видов сельхозпродукции, что потребует увеличения использования энергоресурсов, но возросшие тарифы на энергоресурсы и недостаточно эффективное на сегодняшний день их использование предопределяют необходимость их экономии.

Исходя из этого важнейшей задачей развития и модернизации энергетической базы сельского хозяйства, систем энергообеспечения является повышение их энергоэффективности и надежности энергоснабжения [1, с. 395], [2, с3], снижения энергозатрат в технологиях производства продукции, а следовательно, и ее себестоимости, обеспечения комфортных условий жизни и труда на селе [3, с.7-22].

Для решения поставленной задачи важным является обоснование перспективных направлений развития и совершенствования систем и средств энергообеспечения сельских объектов, целевых индикаторов реформирования

сельской энергетики, первоочередных энергосберегающих мероприятий, а также оценочных прогнозных показателей потребностей в энергии по структуре и объемам на период до 2030 г.

Использован анализ состояния систем и средств энергообеспечения, включая ретроспективные показатели энерго- и электропотребления, систем машин по энергообеспечению сельского хозяйства разных периодов, статистическую отчетность по энергетике, экспертную оценку перспектив развития электрификации и энергообеспечения села.

Исходя из анализа состояния энергетической базы села, структуры и объемов используемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), надежности систем и средств энергообеспечения, показателей энергоемкости производства основных видов сельхозпродукции, определены основные задачи развития систем энергоснабжения и энергосбережения, научно-технического прогресса по совершенствованию энергетики и повышению ее эффективности, к которым следует отнести [4, с. 37-38]:

- удовлетворение рациональных энергетических потребностей отраслей сельского хозяйства, личных приусадебных и крестьянских хозяйств и социально-бытового сектора в ТЭР по объему, структуре и качеству энергоносителей с повышением надежности, безопасности и эффективности;

- повышение эффективности использования и экономии ТЭР в сельскохозяйственных технологиях, с ростом производительности труда (в 2 и более раз), снижением энергозатрат и энергоемкости производства продукции;

- техническое перевооружение, реконструкция и развитие систем и сетей для энергообеспечения села (электрических, газовых, тепловых) в соответствии с прогнозируемыми нагрузками и новыми техническими требованиями;

Рост продуктивности сельхозпроизводства и снижение себестоимости производимой продукции, где доля энергозатрат достигает 30%, во многом связаны с технологической модернизацией, внедрением прогрессивных технологий и техники, эффективным и надежным энергообеспечением. Поэтому особое значение приобретает выбор и реализация путей экономии ТЭР, и повышения эффективности их использования, что позволит только за счет модернизации и оптимизации систем и средств энрегообеспечения снизить к 2030 г. энергоемкость сельхозпроизводства на 15-20 %.

К основным направлениям модернизации энергетики села, систем и средств энергообеспечения следует отнести [5], [6]:

- в сфере энергообеспечения потребителей энергоресурсов – обоснование потребностей в ТЭР и их структуры, выбор эффективных систем и средств для конкретных условий их реализации;

- в области электроснабжения – повышение надежности и снижение потерь в сетях на базе использования новых принципов их построения, способов передачи, технического развития и автоматизации;

- в сфере децентрализации энергоснабжения – создание и реализация автономных систем энергообеспечения, средств «малой энергетики», распределенных и «умных» мини-сетей с использованием местных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на базе новых технологий

переработки биомассы и преобразования ВИЭ с высоким КПД при снижении стоимости [7, с. 78-79];

- создание и реализация электро-, тепло- и нанотехнологий на базе электрофизических методов воздействия на биообъекты (растения, животных, среду обитания, корма, воду, продукцию), значительно снижающих энергозатраты, повышающих эффективность и ускоряющих прохождение процессов [8, с.19];

- в области автоматизации и роботизации производства – автоматизированные системы по управлению технологическими процессами (с элементами роботизации), технологиями и объектами, максимально обеспечивающими реализацию потенциала животных, растений, энергию корма и снижение энерго- и трудозатрат;

- в сфере развития мобильной энергетики – создание электрифицированных роботизированных средств, комбинированных двигателей (ДВС + электропривод), расширение использования газа и электроэнергии.

Современная ситуация в топливно-энергетической сфере характеризуется нестабильностью мировых цен на ископаемые энергоносители (чаще всего ростом) с постоянно возрастающим техногенным давлением на окружающую среду.

Эффективное использование местных энергоресурсов в энергетике села – биомассы, древесных и растительных отходов, торфа, растительных масел, навоза, стоков и ВИЭ во многих регионах может покрыть значительную часть (до 30 %) энергобаланса ряда хозяйств и предприятий, сократить наполовину число отключений электропитания, снизить зависимость от централизованного энергоснабжения, создавать децентрализованные системы, вплоть до самоэнергообеспечения.

Ежегодные запасы местных видов топлива – растительных и древесных отходов, навоза, помета огромны и составляют более 160 млн. тонн, однако их использование в качестве топлива до настоящего времени было незначительным.

В Табл. представлены показатели объемов использования энергоресурсов в сферах сельского хозяйства: всего, в т.ч. в производстве, быту и объемы потребления электроэнергии.

Таблица

Показатели объемов использования энергоресурсов в сферах сельского хозяйства

Показатели энергопотребления, млн. т у.т.	**Годы**			
	1990	2000	2010	2015
1. Суммарное энергопотребление, Э: в том числе:	121,3	78,0	67,5	69,5
- в производстве, Эп	70,5	34,0	21,5	22,5
- в быту, сфере услуг, ЛПХ, Эб	50,8	44.0	46,0	47,0
2. Электропотребление, Эл млрд. кВтч / млн. т у.т.	96,4/11,5	68,0/8,2	61,0/7,5	66,0/8,0

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и местные виды топлива в сельском хозяйстве используются до настоящего времени в незначительных объемах, составляя всего 2% в энергобалансе села, хотя перспективы их роста в сельской энергетике значительные [9, с. 276-283].

Современные тенденции развития мировой энергетики показывают, что к 2020 году и особенно к 2030 г. значительно возрастет производство электрической энергии, вырабатываемой независимыми производителями с использованием ВИЭ и средств «малой энергетики» [10, с. 58-61].

В настоящее время разработаны установки преобразования возобновляемых энергоресурсов в электрическую и тепловую энергию для использования их в сельском хозяйстве: фотоэлектрические станции модульного типа, ветро установки, микро - и мини-ГЭС и др., предназначенные для электро- и энергоснабжения отдельных сельских домов, небольших поселков, промысловых бригад, садовых участков, небольших ферм и т.д. Наиболее эффективный путь – это создание комбинированных установок, а также сочетание их с традиционными системами, что гарантирует бесперебойное электроснабжение и экономию дизельного топлива (до 50 %).

Однако перевод автономной сельскохозяйственной энергетики на ВИЭ будет постепенным из-за высоких капиталовложений. Массовое использование импортного оборудования также не оправдано из-за высоких цен. Поэтому по складывающейся в стране энергетической ситуации и с учетом опыта европейских стран, активно развивающих возобновляемую энергетику (Дания, Германия, Испания и др.) можно рассчитывать, что к 2030 г. доля нетрадиционных источников в энергетике села может составить 15 %.

По многим видам оборудования для использования местных и возобновляемых энергоресурсов в энергетике сельского хозяйства имеются научные и проектные разработки [11, с. 67-75]. Однако реализация их заметно отстает, и их доля в энергобалансе села пока мала.

Основная задача при разработке ВИЭ – повышение их КПД и снижение стоимости.

Надежность и эффективность энергообеспечения сельских потребителей, затраты на энергоресурсы, а следовательно, и энергоемкость сельхозпродукции во многом определяются принятой системой энергоснабжения, используемыми энергоносителями, применяемым энергетическим оборудованием и величиной энергопотерь [12, с. 44]. Поэтому обоснование и выбор рациональной системы энергоснабжения конкретных объектов (или ее модернизация), адаптированной к местным условиям и наличию энергоресурсов, является безусловно важнейшей задачей при реализации энергоснабжения сельских потребителей особенно новых [13, с. 75].

Важное направление – разработка и реализация электро- и теплотехнологий, где обеспечивается непосредственное воздействие электрической и тепловой энергии на объект обработки в заданном технологическом процессе, что значительно повышает эффективность и снижает энергозатраты [14, с. 221-227].

В плане развития централизованного электроснабжения важнейшей задачей является совершенствование и реконструкция систем и сетей электроснабжения села на базе новой концепции их проектирования, строительства новых ЛЭП и реконструкции действующих в расчете на перспективные нагрузки, увеличение их надежности и снижение потерь в 1,5 – 2 раза, создание «умных сетей».

Для энергообеспечения тепловых процессов в производстве и быту получат более широкое развитие децентрализованные системы энерго- и теплоснабжения, т.к. эти системы на газе и электроэнергии, био- и смесевом топливе эффективнее централизованного теплоснабжения от низкотемпературных котельных, сопровождаемого большими потерями энергии в сетях [15, с. 15-17].

К 2030 г. и далее значительно возрастет производство электрической, тепловой энергии и биотоплива (до 15% потребностей села), вырабатываемых на местах независимыми производителями с использованием средств и оборудования "малой энергетики", на базе использования местных и возобновляемых энергоресурсов, отходов сельхозпроизводства. Ряд разработок этого направления уже выходят на стадию внедрения [16, с.10-12].

Рост продуктивности сельского хозяйства, объемов производства сельхозпродукции определяется возрождением и укреплением экономики хозяйств, также связан с повышением уровня комплексной электромеханизации сельхозпроизводства, его энерго- и электровооруженности, для чего потребуется увеличение энерго- и электропотребления.

С другой стороны рост продуктивности сельхозпроизводства, совершенствование и реализация новых энергоэкономных технологий, энергоэффективного оборудования и техники, проведение энергосберегающей политики, рациональное использование энергоресурсов позволят снизить удельные затраты при производстве сельхозпродукции, т.е. уменьшить энергоемкость ВВП и выйти на запланированный уровень ее снижения – к 2020 г. на 40 % и к 2030 г. на 60 %.

В актив развития энергетики, рационального использования ТЭР на селе следует отнести многие перспективные научно-технические разработки по энергетике и электрификации, реализация которых во многом определяется укреплением экономики хозяйств, а также созданием условий и базы для проведения энергосберегающей политики. Исходя из перспективных прогнозных показателей развития АПК и производства сельскохозяйственной продукции, а также направлений совершенствования энергетической базы и энергосбережения, с использованием разных методов прогнозирования (нормативного, трендового и экспертного) дана оценка прогнозных показателей электропотребления, электровооруженности труда по этапам на период до 2030 г. [16, с 14-17].

На Рис. приведены прогнозные оценочные показатели потребностей в электроэнергии сельского хозяйства, отдельно сельхозпроизводства, бытовой сферы и ЛПХ.

К 2020 г. прогнозируется увеличение потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) по отношению к 2015 г. на 8 %, в том числе электроэнергии на 7,5 % (с 66,0 до 71 млрд. кВт·ч).

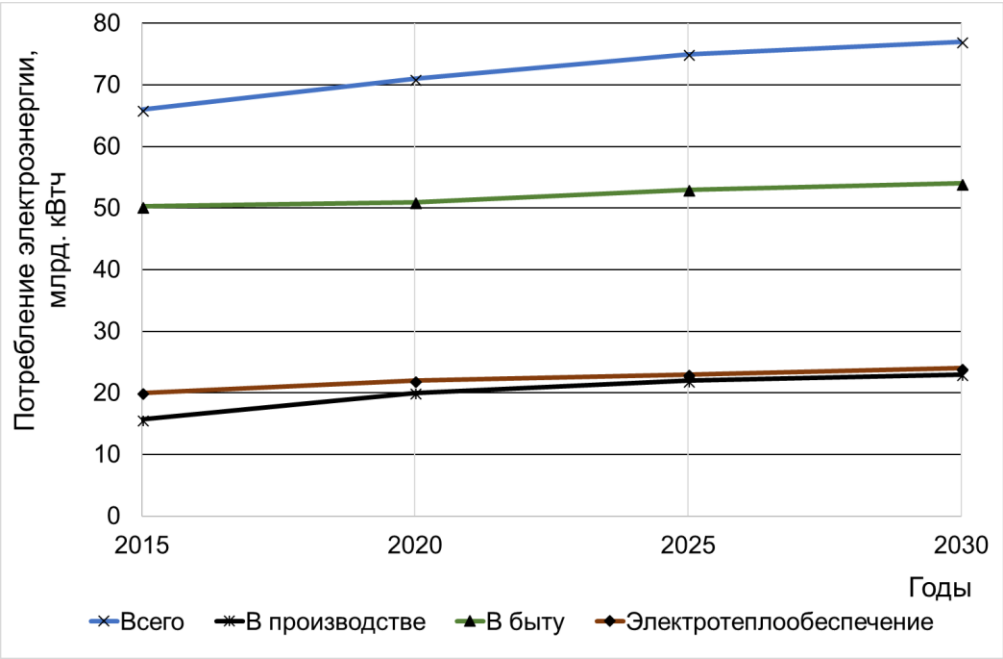


Рисунок – Прогнозные показатели потребностей сельского хозяйства и его сфер в электроэнергии.

В структуре используемых энергоносителей значительно должны возрасти объемы нетрадиционных источников, включая местные энергоресурсы (биотопливо) с 2,4 млн. т у.т. в 2015 г. до 6 млн. т у.т. в 2020 г. до 13,0 млн. т у.т. – к 2030 г. В целом доля нетрадиционной энергетики (возобновляемая + местные энергоресурсы) в энергобалансе сельского хозяйства, к 2030г. может составить 15,0%. На их базе, а также с расширением использования природного газа по территории России, получат развитие децентрализованные системы энергообеспечения сельских потребителей, составляя значимую долю в энергообеспечении (энергобалансе) села. Таким образом развитие и модернизация энергетической базы села, энергосберегающих мероприятий при их реализации на объектах позволит при общем планируемом снижении энергоемкости ВВП к 2020г. на 40% до 15% ее снижения обеспечить за счет повышения энергоэффективности систем и средств энергообеспечения при их реализации на селе.

Список литературы

1. Vinogradov, A., Vasiliev, A., Bolshev, V., Semenov, A. & Borodin, M. (2018). Time Factor for Determination of Power Supply System Efficiency of Rural Consumers. In V. Kharchenko, P. Vasant (Ed.), Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development (pp. 394-420). doi:10.4018/978-1-5225-3867-7.ch017

2. Виноградов А.В., Васильев А.Н., Семенов А.Е., Синяков А.Н., Большев В.Е. Анализ времени перерывов в электроснабжении сельских потребителей и методы его сокращения за счет мониторинга технического состояния линий электропередачи // Вестник ВИЭСХ. 2017. №2(27). С. 3-11.

3. Тихомиров, А.В. Энергетическая стратегия сельского хозяйства России на период до 2030г. / А.В. Тихомиров, И.И. Свентицкий, Е.К. Маркелова, В.Ю. Уханова // М.: ФАНО, ФГБНУ ВИЭСХ. 2015.- 75 с.

4. Тихомиров, А.В., Основные направления по совершенствованию систем и средств энергообеспечения сельхозобъектов / А.В. Тихомиров, Е.К. Маркелова, Д.А. Тихомиров // Агротехника и энергообеспечение, г. Орел, ГАУ, №3 (16), 2017.- С. 34-42.

5. Тихомиров, А.В. Концептуальные положения и перспективные направления развития энергетической базы и систем энергообеспечения сельского хозяйства России / А.В. Тихомиров.- Сборник трудов конференции, Минск, БГАТУ, 2015, с.101.

6. Васильев А.Н., Халин Е.В., Некрасов А.И., Шеповалова О.В., Некрасов А.А., Михайлова Е.Е., Дурнев Д.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Трубников В.З., Рощин О.А., Лактионова Н.И., Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Кузмичев А.В., Тихомиров А.В., Маркелова Е.К., Уханова В.Ю., Свентицкий Н.И., Казакова В.А. и др. Разработать методы и модели построения систем электроснабжения сельских потребителей. Выполнить научное обоснование параметров и режимов работы новых системообразующих технических средств теплоэнергообеспечения сельскохозяйственных объектов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 104 с.

7. Гусаров, В.А. Перспективы распределённой энергетики / В.А. Гусаров // Вестник ВИЭСХ. Выпуск 3(24) 2016. С. 77-83.

8. Казанцев, С.П. Система микроклимата в свиноводстве с применением охладителей новой конструкции / С.П. Казанцев, И.Ю. Игнаткин // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2014. № 5. С. 18-20.

9. Тихомиров, А.В. Направления повышения энергоэффективности сельхозпроизводства и рационального использования топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве / А.В. Тихомиров, Д.А. Тихомиров // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2 (23). С. 274-285.

10. Стребков, Д.С. Повышение энергоэффективности использования и экономия топливно-энергетических ресурсов в животноводстве / Д.С. Стребков, А.В. Тихомиров // Вестник ВНИИМЖ. Вып. 2 (26).- 2017.- С. 56-64.

11. Стребков, Д.С. На пороге эры бестопливной энергетики / Д.С. Стребков // Вестник ВИЭСХ, 2017, №4 (29).- С. 66 -78.

12. Тихомиров, Д.А. Выбор системы теплообеспечения объектов животноводства / Д.А. Тихомиров, А.В. Тихомиров А // Агротехника и энергообеспечение.- 2017. №1(14). Т.1.- С. 43-49.

13. Тихомиров, Д.А. Рациональный выбор систем и технических средств теплообеспечения технологических процессов в животноводстве / Д.А. Тихомиров // Вестник ВНИИМЖ. №3 (27).-2017.- С.73-79.

14. Морозов, Н.М. Организационно-экономические и технологические основы механизации и автоматизации животноводства / Н.М. Морозов – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 284 с.

15. Тихомиров, Д.А. Энергоэффективные электрические средства и системы теплообеспечения технологических процессов в животноводстве / Д.А. Тихомиров // Вестник ВНИИМЖ.- Вып. 4(24).-2016г.- С. 15-23.

16. Тихомиров, А.В. Концепция развития систем энергообеспечения и повышения энергоэффективности использования ТЭР в сельском хозяйстве/ А.В. Тихомиров // М.: Вестник ВИЭСХ. 2016, № 1(22).- С. 11-18.

References

1. Vinogradov, A., Vasiliev, A., Bolshev, V., Semenov, A. & Borodin, M. (2018). Time Factor for Determination of Power Supply System Efficiency of Rural Consumers. In V. Kharchenko,

P. Vasant (Ed.), Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development (pp. 394-420). doi:10.4018/978-1-5225-3867-7.ch017

2. Vinogradov A.V., Vasil'ev A.N., Semenov A.E., Sinyakov A.N., Bol'shev V.E. Analiz vremeni pereryvov v ehlektrosnabzhenii sel'skih potrebitelej i metody ego sokrashcheniya za schet monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya linij ehlektroperedachi [Analysis of the time of interruptions in the power supply of rural consumers and methods for its reduction due to the monitoring of the technical condition of power lines] // Vestnik VIEHSKH. 2017. №2(27). S. 3-11.

3. Tihomirov, A.V. EHnergeticheskaya strategiya sel'skogo hozyajstva Rossii na period do 2030g [Energy Strategy of Agriculture of Russia for the period up to 2030]. / A.V. Tihomirov, I.I. Sventickij, E.K. Markelova, V.YU. Uhanova // M.: FANO, FGBNU VIEHSKH. 2015.- 75 s.

4. Tihomirov, A.V., Osnovnye napravleniya po sovershenstvovaniyu sistem i sredstv ehnergoobespecheniya sel'hozob"ektov [The main directions for the improvement of systems and means of energy supply of agricultural objects] / A.V. Tihomirov, E.K. Markelova, D.A. Tihomirov // Agrotekhnika i ehnergoobespechenie, g. Orel, GAU, №3 (16), 2017.- S. 34-42.

5. Tihomirov, A.V. Konceptual'nye polozheniya i perspektivnye napravleniya razvitiya ehnergeticheskoj bazy i sistem ehnergoobespecheniya sel'skogo hozyajstva Rossii [Conceptual positions and perspective directions of development of the energy base and energy supply systems of agriculture of Russia] / A.V. Tihomirov.- Sbornik trudov konferencii, Minsk, BGATU, 2015, s.101.

6. Vasil'ev A.N., Halin E.V., Nekrasov A.I., SHepovalova O.V., Nekrasov A.A., Mihajlova E.E., Durnev D.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Trubnikov V.Z., Roshchin O.A., Laktionova N.I., Tihomirov D.A., Trunov S.S., Kuzmichev A.V., Tihomirov A.V., Markelova E.K., Uhanova V.YU., Sventickij N.I., Kazakova V.A. i dr. Razrabotat' metody i modeli postroeniya sistem ehlektrosnabzheniya sel'skih potrebitelej. Vypolnit' nauchnoe obosnovanie parametrov i rezhimov raboty novyh sistemoobrazuyushchih tekhnicheskih sredstv teploehnergoobespecheniya sel'skohozyajstvennyh ob"ektov. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) [Develop methods and models for building power supply systems for rural consumers. Perform a scientific substantiation of the parameters and modes of operation of the new system-forming technical equipment for heat and power supply of agricultural facilities. research report (Federal Agency of Scientific Organizations)]. Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. 2017. 104 s.

7. Gusarov, V.A. Perspektivy raspredelyonnoj ehnergetiki [Perspectives of distributed energy] / V.A. Gusarov // Vestnik VIEHSKH. Vypusk 3(24) 2016. S. 77-83.

8. Kazancev, S.P. Sistema mikroklimata v svinovodstve s primeneniem ohladitelej novoj konstrukcii [Microclimate system in pig breeding with the use of new design coolers] / S.P. Kazancev, I.YU. Ignatkin // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva, 2014. № 5. S. 18-20.

9. Tihomirov, A.V. Napravleniya povysheniya ehnergoehffektivnosti sel'hozproizvodstva i racional'nogo ispol'zovaniya toplivno-ehnergeticheskih resursov v sel'skom hozyajstve [Directions for improving the energy efficiency of agricultural production and the rational use of fuel and energy resources in agriculture] / A.V. Tihomirov, D.A. Tihomirov // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2017. № 2 (23). S. 274-285.

10. Strebkov, D.S. Povyshenie ehnergoehffektivnosti ispol'zovaniya i ehkonomiya toplivno-ehnergeticheskih resursov v zhivotnovodstve [Improving energy efficiency of use and saving fuel and energy resources in animal husbandry] / D.S. Strebkov, A.V. Tihomirov // Vestnik VNIIMZH. Vyp. 2 (26).- 2017.- S. 56-64.

11. Strebkov, D.S. Na poroge ehry bestoplivnoj ehnergetiki [On the threshold of the era of fuel-free energy] / D.S. Strebkov // Vestnik VIEHSKH, 2017, №4 (29).- S. 66 -78.

12. Tihomirov, D.A. Vybor sistemy teploobespecheniya ob"ektov zhivotnovodstva [The choice of heat supply systems for livestock facilities] / D.A. Tihomirov, A.V. Tihomirov A // Agrotekhnika i ehnergoobespechenie.- 2017. №1(14). T.1.- S. 43-49.

13. Tihomirov, D.A. Racional'nyj vybor sistem i tekhnicheskih sredstv teploobespecheniya tekhnologicheskih processov v zhivotnovodstve [Rational choice of systems and technical means of heat supply of technological processes in animal husbandry] / D.A. Tihomirov // Vestnik VNIIMZH. №3 (27).-2017.- S.73-79.

14. Morozov, N.M. Organizacionno-ehkonomicheskie i tekhnologicheskie osnovy mekhanizacii i avtomatizacii zhivotnovodstva [Organizational, economic and technological foundations of the mechanization and automation of animal husbandry] / N.M. Morozov – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2011. – 284 s.

15. Tihomirov, D.A. EHnergoehffektivnye ehlektricheskie sredstva i sistemy teploobespecheniya tekhnologicheskih processov v zhivotnovodstve [Energy efficient electrical equipment and heat supply systems for technological processes in animal husbandry] / D.A. Tihomirov // Vestnik VNIIMZH.- Vyp. 4(24).-2016g.- S. 15-23.

16. Tihomirov, A.V. Koncepciya razvitiya sistem ehnergoobespecheniya i povysheniya ehnergoehffektivnosti ispol'zovaniya TEHR v sel'skom hozyajstve [The concept of development of energy supply systems and energy efficiency of the use of fuel and energy resources in agriculture] / A.V. Tihomirov // M.: Vestnik VIEHSKH. 2016, № 1(22).- S. 11-18.

УДК : 621.578

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАМОРАЖИВАНИЯ ЛЬДА В МЕМБРАННОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

SOME RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FREEZING OF ICE IN A MEMBRANE HEAT EXCHANGER HEAT PUMP INSTALLATION

С.В. КОРОВКИН, *АО «Атомэнергопроект», г. Москва, Россия,* ***Е.В. ТУТУНИНА,*** *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

S.V. KOROVKIN*, JSC "Atomenergoproekt", Moscow, Russia,* ***E.V. TUTUNINA****, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Статья посвящена описанию создания искусственного льда в мембранном теплообменнике. Даны основные определения мембранного теплообменника. Описан процесс изменения геометрии мембраны во времени. Рассмотрен процесс получения льда в мембранном теплообменнике. Указан диапазон предельных механических характеристик для мембраны. Описаны особенности генерации льда в мембранном теплообменнике. Приведена формула скорости генерации снежно-кристаллического льда в мембранном теплообменнике. Представлены графики зависимостей температур контрольных точек теплонаносной установки с мембранным теплообменником при различных режимах подачи и удаления хладагента τ, а так же график зависимости толщины слоя льда от длительности периода подачи и удаления хладагента τ. Экспериментально доказано, что конструкция мембранного (гибкого) теплообменника позволяет одновременно решать следующие задачи: снимать тепловую энергию фазового перехода вода – лёд, намораживать требуемые объёмы льда для охлаждения продукции сельского хозяйства; в зависимости от режима подачи/удаления хладагента получать лед различной толщины с различной суммарной площадью поверхности.*

Ключевые слова*: лед, ТНУ, теплонасостная установка, мембранный теплообменник, мембрана, охлаждение, тепловая энергия.*

Abstract*. The article describes the creation of artificial ice in the membrane heat exchanger. The basic definitions of the membrane heat exchanger are given. The process of changing the membrane geometry in time is described. The process of ice production in the membrane heat exchanger is considered. The range limit of the mechanical characteristics of the membrane. The features of ice generation in a membrane heat exchanger are described. The formula of the rate of snow-crystal ice generation in the membrane heat exchanger is given. The graphs of temperature dependences of the control points of the heat-carrying unit with a membrane heat exchanger at different modes of supply and removal of the refrigerant τ, as well as a graph of the dependence of the thickness of the ice layer on the duration of the period of supply and removal of the refrigerant τ are presented. It is experimentally proved that the design of the membrane (flexible) heat exchanger allows to simultaneously solve the following tasks: to remove the thermal energy of the water-ice phase transition, to freeze the required volumes of ice for cooling agricultural products; depending on the mode of supply / removal of the refrigerant to obtain ice of different thickness with different total surface area.*

Keywords*: ice, TNU, heat pump unit, membrane heat exchanger, membrane, cooling, thermal energy.*

Водный лед – это вода в твердом агрегатном состоянии. При атмосферном давлении и температуре 0ºС водный лед плавится. При этом от окружающей среды отнимается тепло, равное его теплоте плавления [1]. На данном свойстве основано использование водного льда. Водный лед, полученный из пресной и морской воды, применяют для охлаждения, хранения и транспортирования продуктов питания [2].

Охлаждение при помощи льда может осуществляться следующими способами:

- непосредственное охлаждение льдом;
- с использованием воды в качестве промежуточного теплоносителя;
- с использованием воздуха в качестве промежуточного теплоносителя.

Таким образом, производство льда является важной технической задачей.

Целью данной работы является теоретическое и экспериментальное исследование процессов намораживания льда в мембранном теплообменнике теплонасосной установки.

Введем основные определения.

Мембрана - закреплённая по контуру тонкая, гибкая пленка или пластина, предназначенная для разделения двух полостей с различными давлениями или для отделения замкнутой полости от общего объема [3].

Теплообменник - аппарат, который передает тепло от одной среды к другой.

Мембранный теплообменник - теплообменник, теплопередающей поверхностью которого является мембрана.

Новизна метода заключается в применении в теплонасосных установках нового типа теплообменника – мембранного (пульсирующего) теплообменника.

Геометрия мембраны изменяется в зависимости от разности давлений сред, которые мембрана разделяет.

Рассмотрим круглую мембрану, как наиболее технологичную для практического применения (Рис.1)

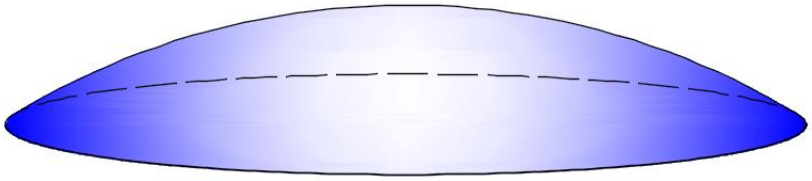
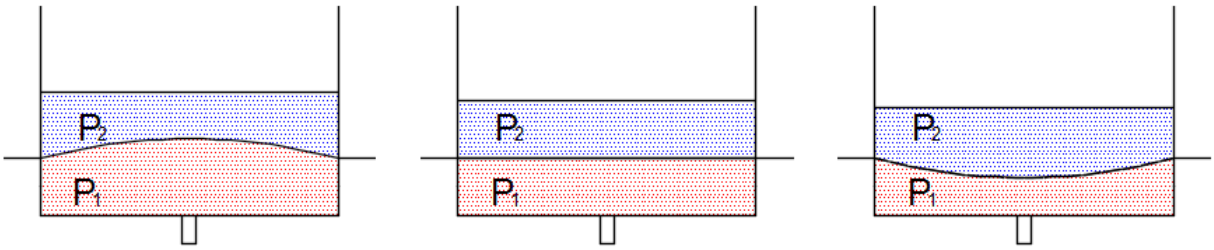


Рисунок 1 -Круглая мембрана

Для круглой мембраны конфигурация в зависимости от давлений в средах показана на Рис.2



$P_1>P_2$ $P_1=P_2$ $P_1<P_2$

Рисунок 2 – Конфигурация круглой мембраны в зависимости от давлений в средах

В качестве характеристики геометрии мембраны примем величину отклонения центральной точки от нейтрального положения h (Рис.3).

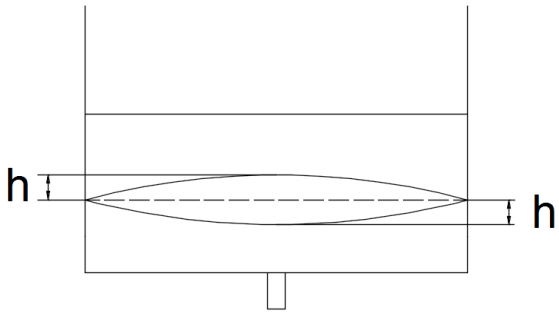


Рисунок 3 - Характеристика геометрии мембраны

Величина h является функцией разности давлений ΔP = P1 - P2

$$h = f(\Delta P) \quad (1)$$

Если разность давлений меняется с течением времени и является функцией времени

$$\Delta P = f(\tau), \quad (2)$$

то и величина h также является функцией времени

$$h = f(\tau) \quad (3)$$

Практический интерес представляет циклический процесс, то есть периодическое изменение давления и формы мембраны (Рис.4)

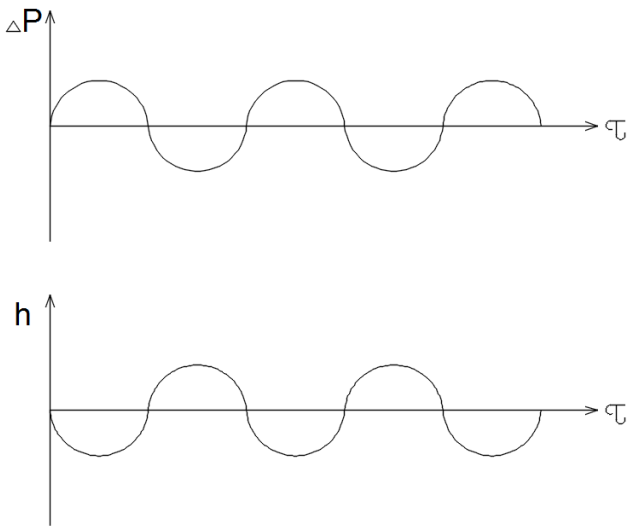


Рисунок 4 - Изменение давления и формы мембраны

Величина ΔP не должна превышать значения, при котором начинается неупругая деформация мембраны.

$$\Delta P < [\Delta P] \quad (4)$$

Напряжение в центре мембраны вычисляется по формуле согласно [4]

$$\sigma = 0.432 \sqrt[3]{\frac{\Delta P^2 r^2 E}{\delta}}, \quad (5)$$

где ΔP, кПа – разность давлений между сторонами мембраны

r, м – радиус мембраны

E, кПа – модуль упругости материала мембраны

δ, мм – толщина мембраны

Из условия прочности напряжение на разрыв σ не должно превышать допустимое напряжение на разрыв для материала мембраны [σ]

$$\sigma < [\sigma] \quad (6)$$

Если в качестве одной из сред использовать воду, а в качестве другой охлажденный до отрицательной температуры промежуточный хладоноситель (гликолевый раствор, спирт), то на мембране будет образовываться слой льда [5, 6]. Этот процесс известен, как обмерзание поверхности теплообмена.

Если в мембранном теплообменнике организовать процесс периодического изменения геометрии мембраны, то образовавшийся лед будет отслаиваться от мембраны и на некоторых режимах генерации ломаться.

Проще всего организовать процесс изменения геометрии мембраны за счет подачи и отвода из полости хладоносителя (Рис.5)

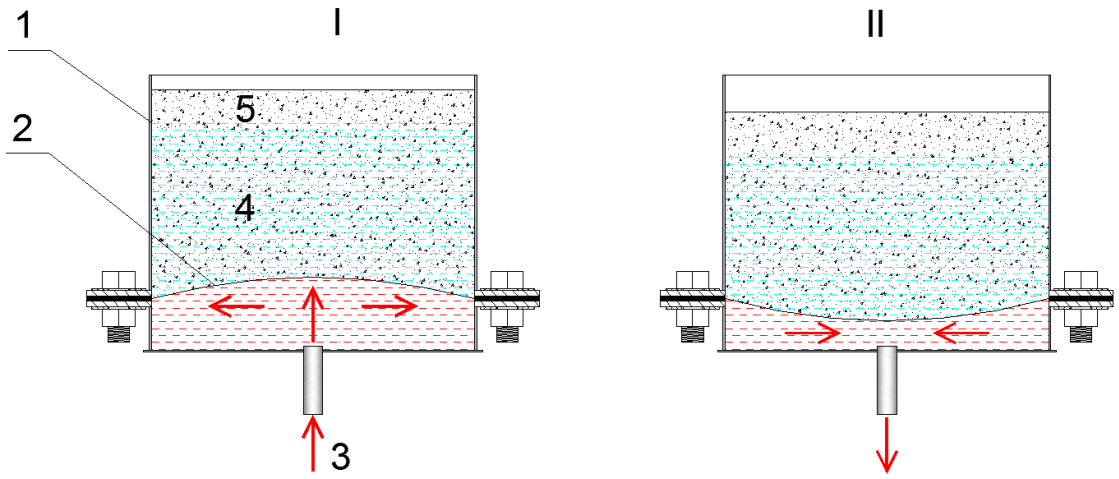


Рисунок 5 - подача и отвод из полости хладоносителя:
1 – разъемный корпус; 2 – мембрана; 3 – патрубок подвода и отвода хладоносителя; 4 - вода; 5 – лед; I – режим подачи хладоносителя; II – режим отвода хладоносителя

Исследование процесса кристаллизации воды в мембранном теплообменнике выявило следующий механизм образования льда:

1.При охлаждении мембраны хладоносителем с температурой -5÷-12°С от воды к хладоагенту передается тепловая энергия мощностью Q кВт и прилегающий к мембране слой воды переохлаждается.

2. В переохлажденном слое воды происходит образование слоя льда. Толщина слоя льда зависит от режима подачи/удаления хладагента (Рис.6)

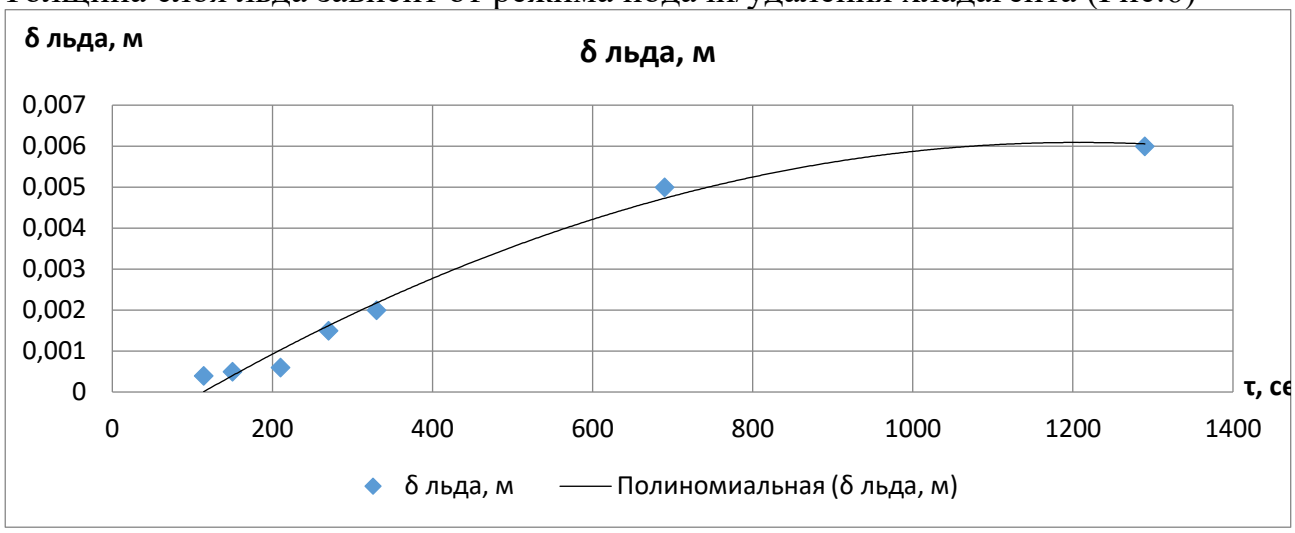


Рисунок 6 - Зависимость толщины слоя льда от длительности периода подачи и удаления хладагента τ.

3. Поле прохождения мембранной своего верхнего положения слой льда отделяется и остается неподвижным (Рис.7)

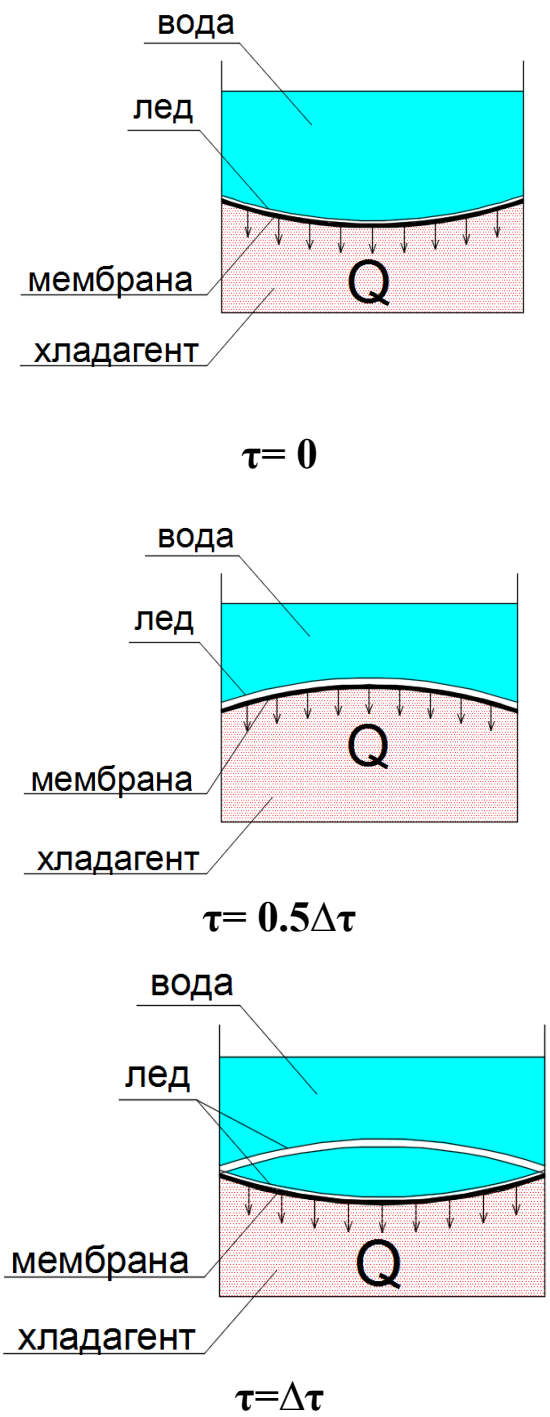


Рисунок 7 - Последовательность образования первого слоя льда в мембранном теплообменнике

4. После появления первого слоя льда температура прилегающего к мембране слоя воды равна строго 0°С

5. Генерация последующих слоев льда при колебании мембраны с периодом Δτ (сек) происходит аналогично генерации первого слоя (Рис.8)

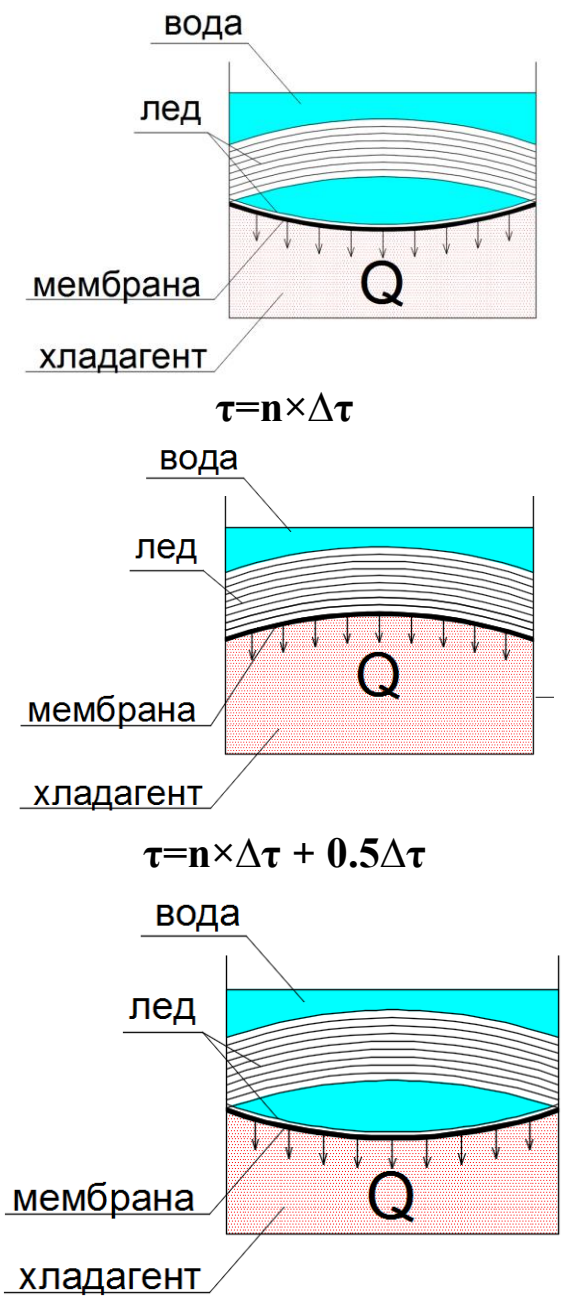


Рисунок 8 - Последовательность образования многослойного льда в мембранном теплообменнике

6. В результате изгибающих, сжимающих и растягивающих усилий на мембране слой образующегося льда оказывается раздроблен на частицы размером 1÷5 мм (снежно-кристаллический лед). Внешний вид снежно-кристалического льда показан на Рис.9

Рисунок 9 - Снежно-кристаллический лед в мембранном теплообменнике

7. В случае продолжительных режимов подачи и удаления хладагента лед самопроизвольно отслаивается от мембраны и остается целым. Между соседними слоями льда может оставаться вода (в случае достаточного уровня воды в баке) (Рис.10)

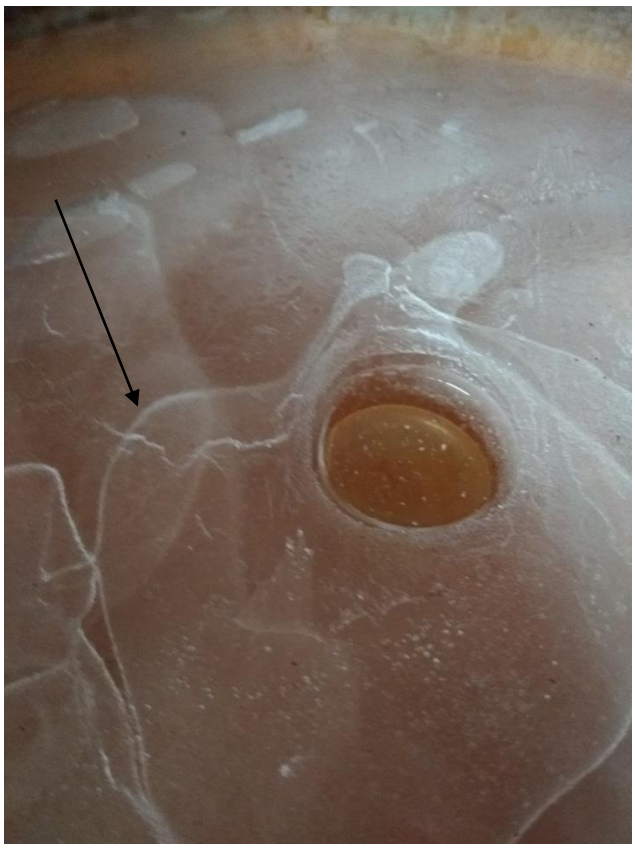


Рисунок 10 - Процесс генерации льда в мембранном теплообменнике. Стрелкой указана граница воды между слоями льда.

При мощности теплового потока через мембрану при установившемся режиме работы теплообменника скорость образования льда составит

$$G = Q/L \text{ (кг/сек)}, \quad (7)$$

где Q, Вт – мощность теплового потока через мембрану

L, Дж/кг – теплота фазового перехода вода-лед

За один период на мембране образуется слой льда массой

$$\Delta m = G \times \Delta\tau \text{ кг} \quad (8)$$

Толщина образовавшегося слоя льда составит

$$\delta = \frac{\Delta m}{\rho \times S} \text{ м}, \quad (9)$$

где S ($м^2$) – площадь мембраны

ρ ($кг/м^3$) – плотность льда

На Рис.11 представлен фрагмент слоя льда.

Рисунок 11 - Фрагмент слоя льда, полученного на мембранном теплообменнике.

В результате экспериментальных исследований получены графики зависимостей температур контрольных точек теплонаносной установки с мембранным теплообменником.

При вымерзании всего объема воды эксперимент прекращался.

Ниже приведены некоторые из них.

На Рис.12 представлены результаты при следующих начальных данных:

- объем охлаждаемой/вымораживаемой воды в баке мембранного теплообменника – 3 л;
- начальная температура охлаждаемой воды в баке мембранного теплообменника Тводы=32°С;
- режим подачи промежуточного хладагента $\tau_{наполнения}$=4 мин, $\tau_{сдутия}$=41.5 с
- температура окружающего воздуха 27,3°С.

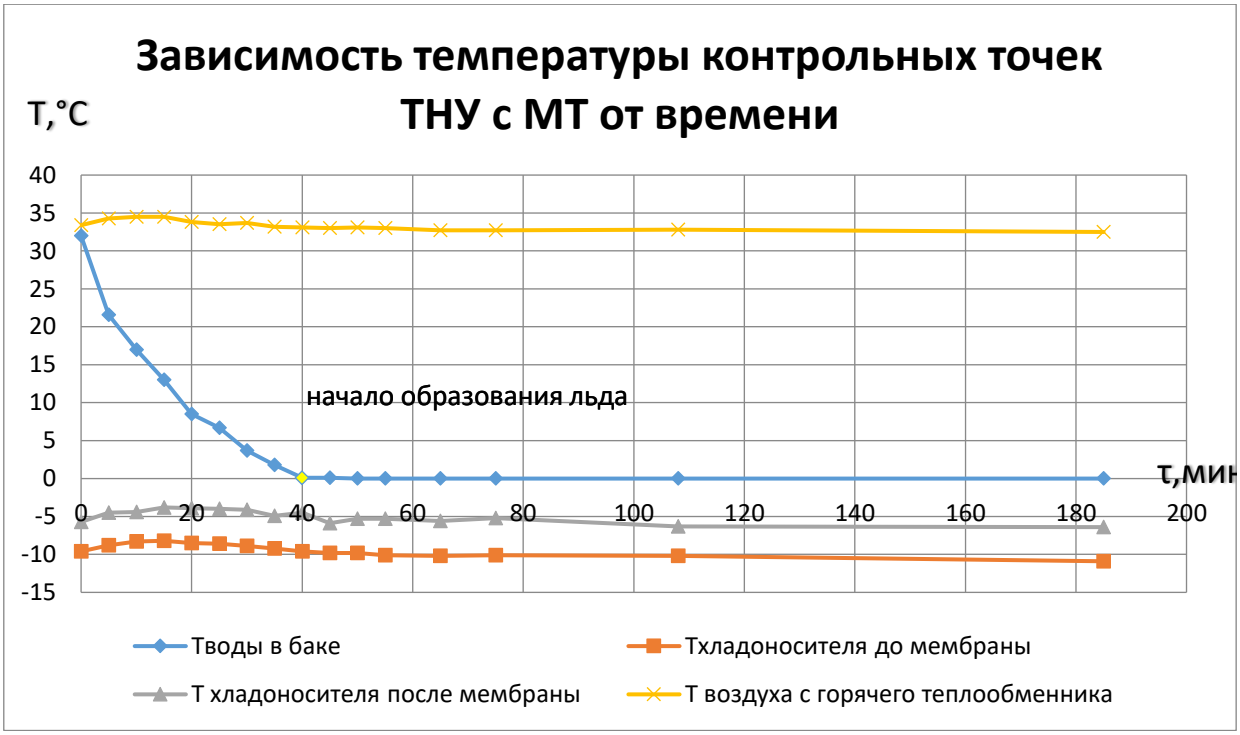


Рисунок 12 – Зависимость температуры контрольных точек ТНУ с МТ от времени

На Рис.13 представлены результаты при следующих начальных данных:

- объем охлаждаемой воды в баке мембранного теплообменника – 3 л;
- начальная температура охлаждаемой/вымораживаемой воды в баке мембранного теплообменника Тводы=30°С;
- режим подачи промежуточного хладагента $\tau_{наполнения}$=2 мин, $\tau_{сдутия}$=41.5 с
- температура окружающего воздуха 26,5°С.

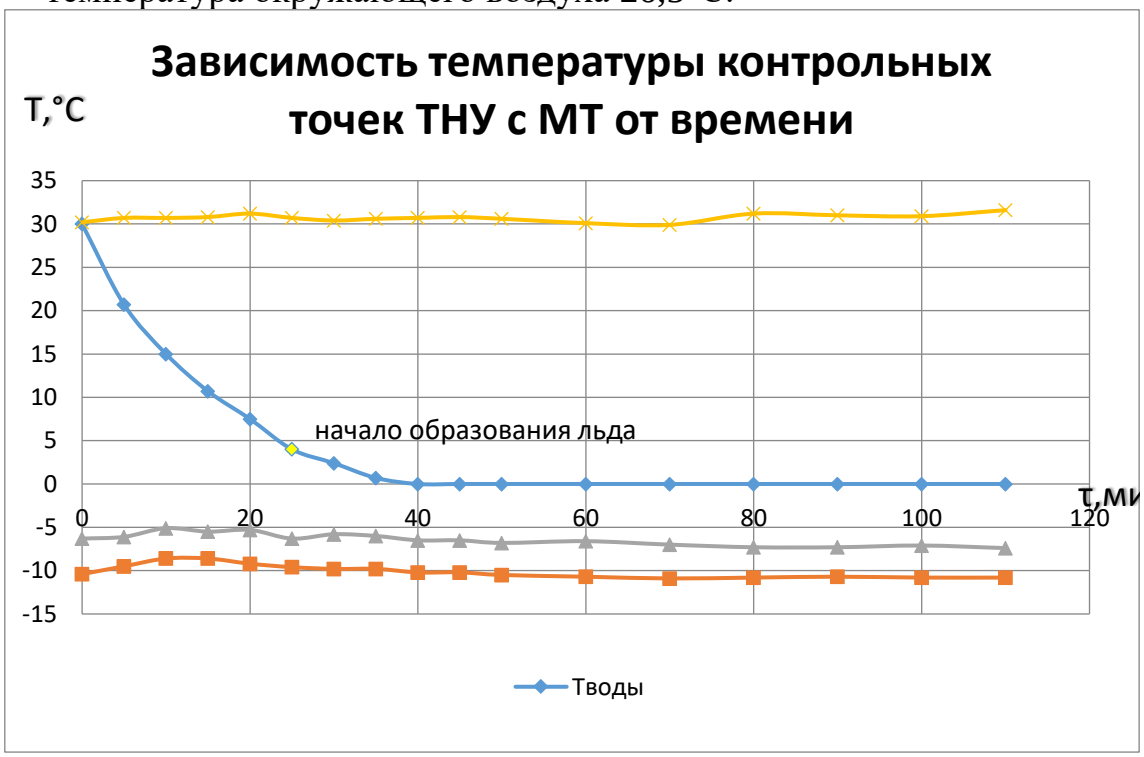


Рисунок 13 - Зависимость температуры контрольных точек ТНУ с МТ от времени

На Рис.14 представлены результаты при следующих начальных данных:

- объем охлаждаемой воды в баке мембранного теплообменника – 2 л;
- начальная температура охлаждаемой/вымораживаемой воды в баке мембранного теплообменника Тводы=16°С;
- режим подачи промежуточного хладагента $\tau_{наполнения}$=8 мин, $\tau_{сдутия}$=41.5 с
- температура окружающего воздуха 26,5°С.

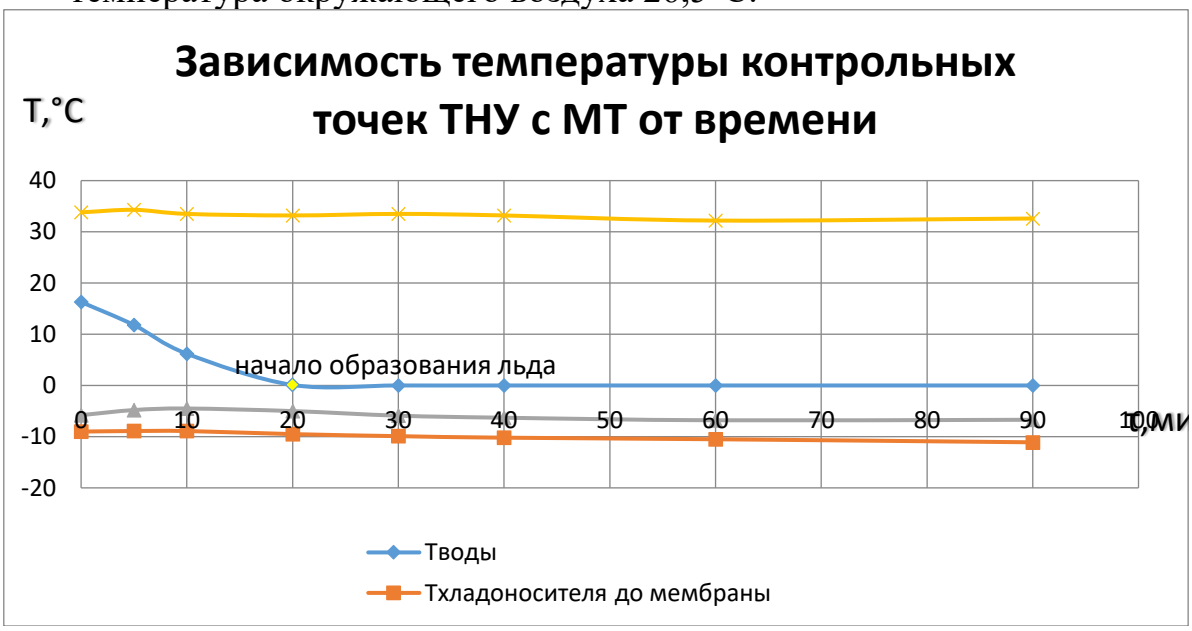


Рисунок 14 - Зависимость температуры контрольных точек ТНУ с МТ от времени

В зависимости от режима подачи/удаления хладагента в мембранном теплообменнике за час генерируется различная суммарная площадь слоев льда (Рис.15).

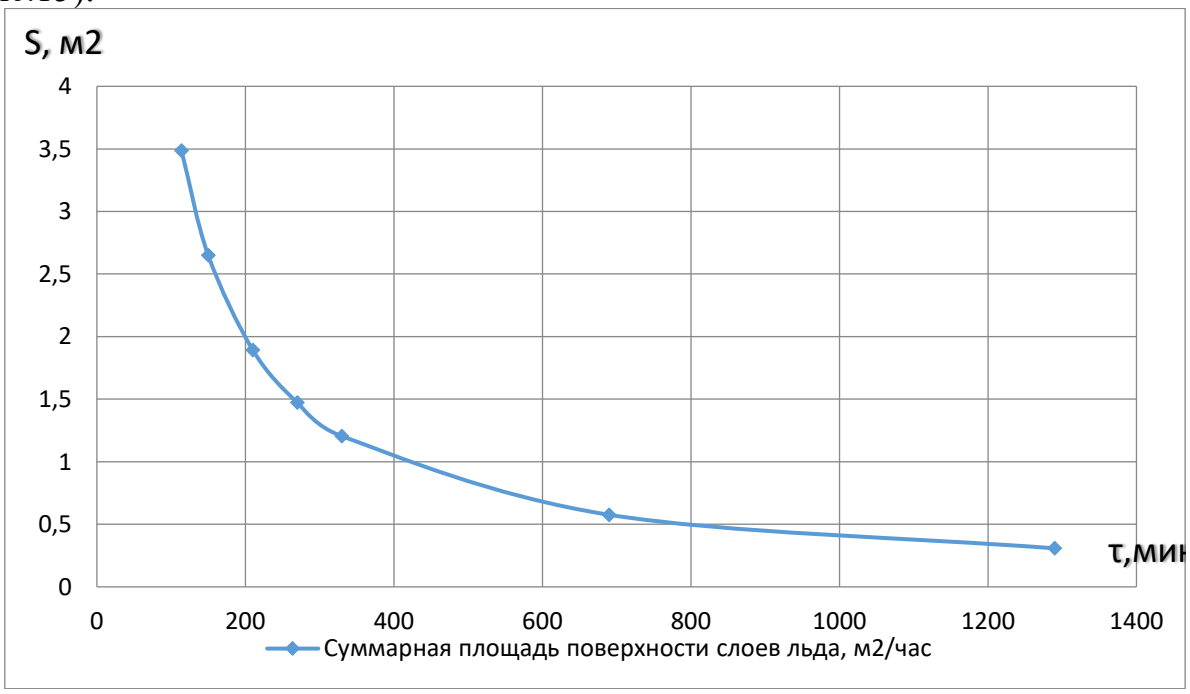


Рисунок 15 - Суммарная площадь поверхности слоев льда, генерируемая за час, м2

Конструкция мембранного (гибкого) теплообменника позволяет одновременно решать следующие задачи:

- снимать тепловую энергию фазового перехода вода – лёд;
- намораживать требуемые объёмы льда для охлаждения продукции сельского хозяйства;
- в зависимости от режима подачи/удаления хладагента возможно получать лед различной толщины с различной суммарной площадью поверхности.

Список литературы

1. Справочника химика, т. I. Госхим-нздат. М. —Л., 1968 стр. 313
2. Васильев А.Н., Будников Д.А., Крауcп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нур-галиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. кон-цепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинирован-ных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.
3. Энциклопедия и словари [Электронный ресурс] // Энциклопедии & Словари Коллекция энциклопедий и словарей [сайт]. [2009-2015] URL: http://enc-dic.com/enc_tech/Membrana-4016// (дата обращения 22.05.2018)
4. Туснин А. Р., Туснина О. А. Численный расчет мембранных конструкций // Интернет-вестник ВолгГА-СУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 3 (23)
5. Патент РФ №2490567, 10.09.2012. Способ генерирования льда// *Коровкин С.В., Винокуров Н.П., Тутунина Е.В.* [Patent of the Russian Federation No. 2490567, 10.09.2012. Method of generating ice // Korovkin S., Vinokurov N., Tutunina E. (in Russian)]
6. *Сушенцева А.В.* Об изобретении Коровкина С.В. «Теплообменные аппараты с изменяемой геометрией поверхности теплообмена» [Электронный ресурс]// Молодежный научно-технический вестник # 06, июнь 2012 [сайт]. [2003-2017] URL: http://sntbul.bmstu.ru/doc/475952.html// (дата обращения 22.09.2017)

References

1. Spravochnika himika, t. I. Goskhim-nzdat [Chemist Handbook, t. I. State Chemical]. M. —L., 1968 p. 313
2. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nur-galiev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kaza-kova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. kon-cepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovan-nyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. the concept of the use of electrical technologies for the processing of feed, fertilizer, plant waste. scientifically based parameters of energy-saving

combined plants for disinfecting air and surfaces. research report (Federal Agency of Scientific Organizations)].. Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. 2017. 115 p.

3. EHnciklopediya i slovari [Encyclopedia and Dictionaries]// EHnciklopedii & Slovari Kollekciya ehnciklopedij i slovarej [sajt]. [2009-2015] URL: http://enc-dic.com/enc_tech/Membrana-4016// (data obrashcheniya 22.05.2018)

4. Tusnin A. R., Tusnina O. A. CHislennyj raschet membrannyh konstrukcij [Numerical calculation of membrane structures] // Internet-vestnik VolgGA-SU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp. 3 (23)

5. Patent RF №2490567, 10.09.2012. Sposob generirovaniya l'da [Ice Generation Method] // Korovkin S.V., Vinokurov N.P., Tutunina E.V. [Patent of the Russian Federation No. 2490567, 10.09.2012. Method of generating ice // Korovkin S., Vinokurov N., Tutunina E. (in Russian)]

6. Sushenceva A.V. Ob izobretenii Korovkina S.V. «Teploobmennye apparaty s izmenyaemoj geometriej poverhnosti teploobmena»[Heat-exchanging devices with changeable geometry of a surface of heat exchange [About the invention of Korovkina S.V. "Heat exchangers with variable geometry of the heat exchange surface"] // Molodezhnyj nauchno-tekhnicheskij vestnik # 06, June 2012 [sajt]. [2003-2017] URL: http://sntbul.bmstu.ru/doc/475952.html// (22.09.2017)

УДК 631.171

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРОШЕНИЯ «УМНОГО САДА»

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF SYSTEM OF AUTOMATIC IRRIGATION "SMART GARDEN"

***Д.О. ХОРТ**, к.с.-х.н., **И.Г. СМИРНОВ**, к.с.-х.н., **Р.А. ФИЛИППОВ,** к.с.-х.н., **Р.В. ВЕРШИНИН**, инж., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***D.O. HORT**, cand. agric. sci., **I.G. SMIRNOV**, cand. agric. sci., **R.A. FILIPPOV**, cand. agric. sci., **R.V. VERSHININ**, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Машинные технологии возделывания плодовых культур требуют относительно высокого содержания воды, что делает в наших климатических условиях обязательным проведение орошения садов. В настоящее время доминируют насаждения, привитые на карликовых и полукарликовых подвоях, характеризующихся слабо развитой корневой системой, благодаря которой они поглощают воду из меньшего объема почвы. Для оптимизации орошения садов и получения высоких урожаев с минимальным расходом воды, следует использовать надежные системы автоматического полива, отвечающие требованиям сенсорных агротехнологий «Умный Сад».*

***Ключевые слова**: умный сад, орошение, автоматизация, система управления.*

***Abstract**. Machine technologies of cultivation of fruit crops demand rather high content of water that does in our climatic conditions obligatory carrying out irrigation of gardens. Now the plantings imparted on the dwarfish and semi-dwarfish stocks which are characterized by poorly developed root system thanks to which they absorb water from the smaller volume of the soil dominate. For optimization of irrigation of gardens and receiving big crops with the minimum consumption of water, it is necessary to use the reliable systems of automatic watering meeting the requirements of touch agrotechnologies "Clever Garden".*

***Keywords**: smart garden, irrigation, automation, control system.*

Применение Smart технологий в сельском хозяйстве позволяет повысить экологическую безопасность продукции, минимизировать вредное воздействие химикатов на человека и значительно увеличивать урожайность продукции. Главными задачами Smart технологий в сельском хозяйстве являются [1]:

- оптимизация расходов;
- сокращение себестоимости выращивания продукции;
- ресурсосбережение;
- повышение урожайности;
- выявление проблемных зон земельных участков и др.

Для решения этих задач используются беспилотники, сети Интернета вещей, спутниковые технологии, система электронных сенсоров (датчиков), различные телематические сервисы и др.

Цель работы – обосновать параметры и разработать конструктивно-технологическую схему системы автоматического орошения промышленного

сада, основываясь на применении современных сенсоров и технологии «Интернета вещей».

Анализ литературных данных и информационных источников для обоснования оптимальных параметров системы автоматического орошения «Умного Сада». Изучение режимов работы аппаратных средств контроля влажности почвы при формировании режимов работы оросительной системы в промышленном саду, с учётом критериев влагосбережения.

Компьютерное проектирование программных модулей автоматической системы орошения с набором датчиков различного принципа действия. При разработке программных модулей для обработки информации от сенсоров контроля параметров влажности почвы использовался язык программирования C/C++.

В плодовом саду водные свойства почвы могут быть охарактеризованы путем определения количества воды, содержащейся в ней и измерения силы с которой вода связана (потенциал воды). Значения потенциала указывают на доступность содержащейся в почве воды растениям. Когда потенциал воды в почве уменьшается, вода становится менее доступна. Существует ряд методов измерения значений содержания (или потенциала) воды в почве. Одним из важнейших элементов систем умного орошения сада является датчик влажности. Именно он сообщает нам, когда надо начать полив и прекратить его. Существует несколько типов датчиков влажности: механический датчик влажности, основанный на измерении давления почвы (тензиометры) и электронные зонды - электронные датчики влажности TDR и EDR [4,5].

Тензиометр (рис. 1) включает керамический фильтр, пластиковую трубу, вакуумный манометр (вакуумметр). После того как он заполняется водой его помещают в почву для определения давления. Вода движется в керамическом элементе, что приводит к изменению давления в трубе и изменениям показания счетчика. После гидратации (или дождя) в почве вода не поступает в трубку, пока не произойдет смещение потенциалов между почвой и тензиометром.

Рисунок 1 - Универсальный тензиометр в плодовом саду

Второй тип датчиков – электронные датчики влажности TDR и EDR.

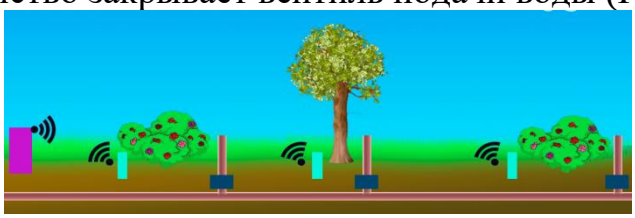
Определение содержания влаги в почве при использовании данного метода происходит путем измерения диэлектрической среды, которая зависит от влажности почвы. Изменения содержания воды в почве вызывает изменения её диэлектрической постоянной, что позволяет определить соотношение между этими параметрами.

Рисунок 2 - Датчики влажности TDR и EDR.

С развитием технологий, электронные зонды становятся все более популярным. Датчики этого типа находят все более широкое использование для мониторинга влажности почвы в поле и чистой влаги в субстратах у культур в защищенном грунте [2,3]. Они просты в использовании и показываемые ими данные характеризуются высокой степенью точности. Для повышения точности прибора, его необходимо откалибровать к конкретному типу почвы. Для стандартных почв, вроде чернозёма и т.д. датчики заранее откалиброваны. Также производитель поставляет калибровочные значения для большинства типов почв, например, глинистых или песочных. Датчики вставляются в почву. Влажность почвы определяется портативным измерителем. В последние годы такие датчики нашли широкое применение в системах автоматического контроля полива.

По результатам анализа достоинств и недостатков двух типов датчика, можно сделать вывод о целесообразности применения для автоматической системы орошения «Умного сада» электронных датчиков TDR и EDR, так как они более просты в настройке для конечного пользователя, их не надо обслуживать (доливать воду), они более удобны для электронных систем автоматизации, они предоставляют более удобные данные, для последующей обработки на управляющем устройстве.

С учётом вышеизложенного, принцип работы автоматической системы орошения в «Умном саду» должен быть следующий: на каждые 50-70 деревьев устанавливается электронный датчик. Датчики с определённым промежутком времени замеряют влажность и отправляют данные на управляющее устройство. Управляющее устройство вычисляет показатель влажности и при необходимости открывает вентиль для подачи воды. При открытии вентиля датчик с повышенной частотой замеряет влажность почвы и отправляет данные на управляющее устройство. Когда влажность достигла определённого предела управляющее устройство закрывает вентиль подачи воды (Рис. 3).



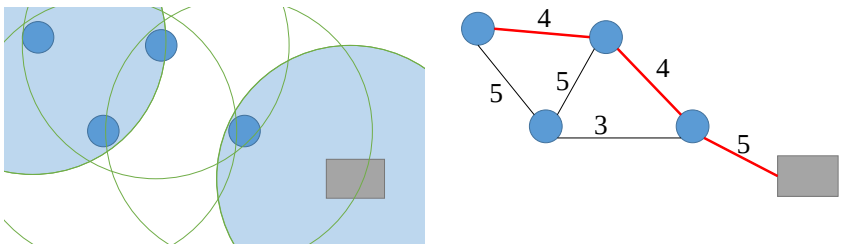


Рисунок 3 - Архитектура умного полива сада

Установленные датчики используют беспроводную технологию передачи данных. Некоторые датчики могут находиться вне зоны видимости управляющего устройства. Для решения этой проблемы датчики строят между собой меш-сеть. При первом включении датчики находят другие датчики в зоне своей видимости и передают информацию на управляющее устройство через все возможные пути. Управляющее устройство на основе полученных данных и алгоритма Дейкстры рассчитывает кратчайший путь от каждого датчика до управляющего устройства. После этого датчики запоминают кратчайший путь и передают данные по нему. В случае выхода какого-либо датчика из строя управляющее устройство сообщает об этом пользователю и перестраивает меш-сеть через другие датчики.

В результате обоснования параметров автоматической системы орошения для плодового сада, выявлена тенденция перехода от традиционных систем полива к системам, отвечающие принципам Smart агротехнологиям [6-8].

Анализ методов измерения влажности почвы подтверждает эффективность систем орошения с применением электронных зондов влажности, что позволяет экономить порядка 40% воды, а также увеличивать урожайность на 10%-15%.

Предложенная архитектура автоматической системы орошения «Умного сада» позволяет ускорить время на обработку информации и передачу управляющих сигналов.

Список литературы

1. А. Панасенко / Ссылка на электронный ресурс / http://www.iotexpert.ru/analytics/iot_earth
2. Поляк Б. Т., Щербаков П. С. Робастная устойчивость и управление. М., Наука, 2013
3. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. — Willey, 2012
4. Леонид Черняк. Платформа Интернета вещей [Электронный ресурс].URL: http://www.osp.ru/os/2012/07/13017643/
5. Методы измерения влажности почвы [Электронный ресурс].URL: http://asprus.ru/blog/metody-izmereniya-vlazhnosti-pochvy/
6. Имитационно – моделирующий комплекс AGROTOOL, v.3 (Динамическая модель продукционного процесса сельскохозяйственных растений), СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. – 43 с.
7. Артюшин А.А. Управление продукционными процессами в растениеводстве / А.А. Артюшин, И.Г. Смирнов // Автоматизация и информационное обеспечение

производственных процессов в сельском хозяйстве: сб. док. науч. конференции. – Москва, 2010. – Ч.2. – С. 621-627.

8. Жалнин Э.В., Хорт Д.О. Мировые тенденции технического прогресса в АПК / Аграрное обозрение, 2016, № 3. С. 16-26.

Spisok literatury

1. A. Panasenko / URL / http://www.iotexpert.ru/analytics/iot_earth

2. Polyak B. T., SHCHerbakov P. S. Robastnaya ustojchivost' i upravlenie [Robust stability and control]. M., Nauka, 2013

3. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. — Willey, 2012

4. Leonid CHernyak. Platforma Interneta veshchej [IoT platform].URL: http://www.osp.ru/os/2012/07/13017643/

5. Metody izmereniya vlazhnosti pochvy [Methods for measuring soil moisture].URL: http://asprus.ru/blog/metody-izmereniya-vlazhnosti-pochvy/

6. Imitacionno – modeliruyushchij kompleks [Imitation-modeling complex] AGROTOOL, v.3 (Dinamicheskaya model' produkcionnogo processa sel'skohozyajstvennyh rastenij), SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2007. – 43 p.

7. Artyushin A.A. Upravlenie produkcionnymi processami v rastenievodstve [Management of production processes in crop production] / A.A. Artyushin, I.G. Smirnov // Avtomatizaciya i informacionnoe obespechenie proizvodstvennyh processov v sel'skom hozyajstve [Automation and information support of production processes in agriculture]: sb. dok. nauch. konferencii. – Moskva, 2010. – CH.2. – pp. 621-627.

8. ZHalnin EH.V., Hort D.O. Mirovye tendencii tekhnicheskogo progressa v APK [World trends of technical progress in the agro-industrial complex] / Agrarnoe obozrenie, 2016, No. 3. pp. 16-26.

УДК 628.94

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА
THERMAL MODEL OF LED LIGHT SOURCE

Т.А. ШИРОБОКОВА, *к.т.н., доцент,* ***М.А. ЧЕПКАСОВА,*** *аспирант, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, г. Ижевск, Россия*
T.A. SHIROBOKOVA*, cand. tech. sci., associate Professor,* ***M.A. CHEPKASOVA****, post-graduate student, Izhevsk state agricultural Academy, Izhevsk, Russia*

Аннотация*. В статье приведено обоснование необходимости исследования энергетических и тепловых характеристик светодиодов. К таким характеристикам относятся световая и тепловая мощности, коэффициент полезного действия и тепловое сопротивление. Отмечено, что коэффициент полезного действия светодиода остается достаточно низким, а большая часть энергии рассеивается в виде тепла. Тепловая энергия, выделяемая светодиодом, поглощается подложкой, а также выделяется в окружающую среду.При этом температура перегрева влияет на их долговечность и может привести к деградации светового потока. Определено, что актуальным является не только выбор оптимального теплового режима работы светодиода и способа его охлаждения, а также и возможности преобразования выделяемой теплоты в полезную мощность, для чего необходимо определить взаимосвязь параметров светодиода, теплоты, выделяемой в окружающую среду и температуры поверхности радиатора. В статье рассмотрена физическая,модель светодиода, который располагается на теплоотводящей подложке. Поэтому целью исследований является разработка математической модели, связывающей мощность светодиодов и температуры радиатора светильника. Математическая модель теплового режима описана с помощью уравнений теплового баланса. Определены коэффициенты теплопередачи переходов кристалл – подложка, подложка радиатор, радиатор среда. Приведенная математическая модель светодиодного источника света позволяет произвести численную оценку теплоты, выделяемой полупроводниковым кристаллом установленной мощности при использовании ребристого радиатора. Определено, что наиболее распространенным является ребристый радиатор.*

Abstract*. The article provides a justification for the need to study the energy and heat characteristics of LEDs. These characteristics include light and thermal power, power efficiency and thermal resistance. It is reported that the efficiency of the LED remains sufficiently low, and most of the energy is dissipated as heat. The thermal energy emitted by the LED is absorbed by the LED base substrate and released into the environmental. In this case, the temperature of overheating affects their longevity and can lead to degradation of the light. In the article it is noted that it is necessary to produce not only the determination of the optimal thermal mode of the LED operation and the method of its cooling, but also the possibility of converting the released heat into useful power, for which it is necessary to determine the relationship between the parameters of the LED, heat released into the environment and temperature surface of the radiator. In the article the physical model of the light-emitting diode, located on a heat-dissipating substrate. Therefore, the aim of the research is develop a mathematical model that relates the power of the LEDs and the heat sink temperature of the luminaire. The mathematical model of the thermal regime described using the heat balance equations. The heat transfer coefficients of the crystal-substrate transitions, the radiator substrate, and the radiator are determined. The reduced mathematical model of a light-one light source makes it possible to make a numerical estimate of the heat released by a semiconductor crystal of installed power when using a finned radiator. It is determined that the most common is the ribbed radiator. This model is applicable for calculating the temperature of points of a ribbed surface and should be confirmed by computer simulation*

Данная модель применима при проведении расчетов температуры точек ребристой поверхности и должна быть подтверждена компьютерным моделированием тепловых процессов в светодиодном светильнике.

***Ключевые слова**: светодиод, тепловая и световая мощность, радиатор, теплоемкость.*

of thermal processes in a light-diode luminaire.

***Keywords**: LED, heat and light power, radiator, heat capacity.*

Полупроводниковые источники света обладают высокой световой эффективностью преобразования электрической энергии световую, поэтому в настоящее время исследования энергетических и тепловых характеристик светодиодов являются важной задачей. К этим характеристикам относятся световая и тепловая мощности, коэффициент полезного действия и тепловое сопротивление. Несмотря на то, что светодиодные лампы получают все большее распространение, их коэффициент полезного действия остается достаточно низким, от 40 до 60 % [1, 2] так как большая часть энергии рассеивается в виде тепла.

Тепловая энергия, выделяемая светодиодом, поглощается подложкой, а также выделяется в окружающую среду. Температура перегрева светодиодов влияет на их долговечность, так как превышение тепловых параметров может привести к деградации светового потока[2, 11-13]. Эти характеристики связаны с тепловой мощностью, выделяемой светодиодом, и тепловым сопротивлением перехода кристалл - подложка.[3]

Актуальным является не только выбор оптимального теплового режима работы светодиода и способа его охлаждения, а также и возможности преобразования выделяемой теплоты в полезную мощность [4]. Для решения этой задачи необходимо определить взаимосвязь параметров светодиода, теплоты, выделяемой в окружающую среду и температуры поверхности радиатора.[5]

Целью исследований является разработка математической модели, связывающей мощность светодиодов и температуры радиатора светильника.

Рассмотрим физическую модель светодиода, в которой образец полупроводникового кристалла с теплоёмкостью$C_к$располагается на теплоотводящей подложке с теплоемкостью C_n. К кристаллу подводится питающее напряжение.

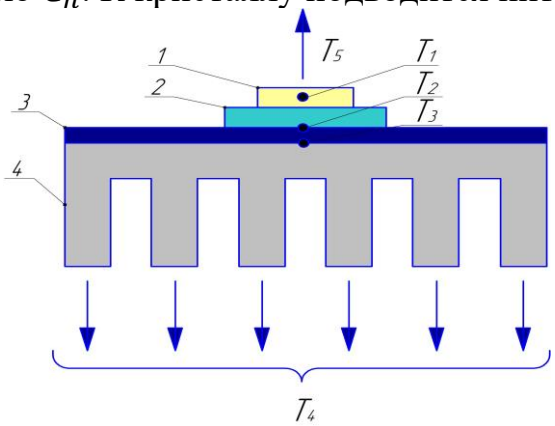


Рисунок 1 - Конструктивная схема светодиодного источника света. 1- полупроводниковый кристалл, 2 – слой герметика, 3 – теплоотводящая подложка, 4 – радиатор.

Теплообмен светодиода с окружающей средой характеризуется следующими процессами (Рис. 2):

– светодиод излучает свет с мощностью $P_{св}$;

– кристалл отдает теплоту в окружающую среду (тепловое сопротивление $R_{кс}$);

– кристалл отдает теплоту подложке (тепловое сопротивление $R_{кп}$);

– подложка отдает теплоту окружающей среде и радиатору (тепловое сопротивление $R_{пс}$, $R_{пр}$).

- радиатор отдает теплоту среде (тепловое сопротивление $R_{рс}$)

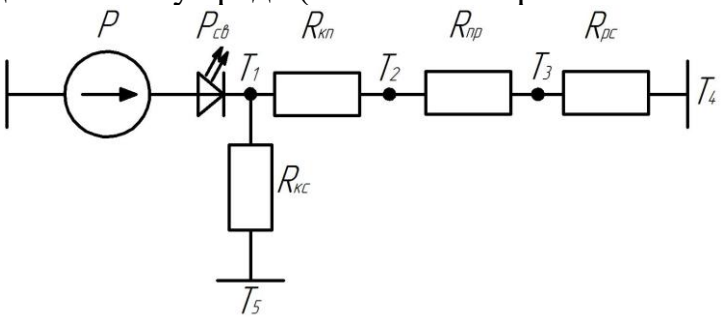


Рисунок 2 - Тепловая модель светодиодного источника света

Тепловой режим светодиода можно описать с помощью математической модели, основанной науравнениях теплового баланса.

$$\begin{aligned} \frac{dT_1}{dt} &= \frac{1}{C\kappa} \cdot [P - P_{св} - G_1(T_1 - T_4) - G_2(T_1 - T_2)] \\ \frac{dT_2}{dt} &= \frac{1}{Cn} \cdot [G_2(T_1 - T_2) - G_3(T_2 - T_3)] \\ \frac{dT_3}{dt} &= \frac{1}{Cp} \cdot [G_3(T_2 - T_3) - G_4(T_3 - T_5)] \end{aligned} \quad (1)$$

где T_1, T_2, T_3 – средние температуры кристалла, подложки и радиатора, соответственно;

$C_к$, $C_п$, $C_р$ – теплоемкость кристалла, подложки и радиаторасоответственно.

$G_i = 1/R_i$– коэффициент теплопередачи соответствующего перехода.

Эти уравнения должны быть дополнены начальными условиями, а именно заданием температур T_1 и T_2 при t=0. Решения этих уравнений описывают как нестационарный, так и стационарный режимы.[6]

Коэффициенты теплопередачи переходов кристалл-подложка, подложка-радиатор и радиатор-среда определяются по следующим формулам:

$$G_1 = \frac{1}{R_{кс}};\ G_2 = \frac{1}{R_{кп}}; G_3 = \frac{1}{R_{пр}}; G_4 = \frac{1}{R_{рс}}; \quad (2)$$

При известных начальных условиях, для решения задачи определения параметров схемы замещения необходимо определить величины тепловых сопротивлений элементов светильника. Тепловое сопротивление кристалл среда ($R_{кс}$) не оказывает влияние на общую теплопроводность системы, поэтому в данном типе расчетов ее не стоит принимать во внимание. Тепловое сопротивление

кристалл подложка ($R_{кп}$) зависит от типа светодиода и выбирается из справочных данных. Между полупроводниковым кристаллом и подложкой также находится слой герметика, тепловое сопротивление которого настолько низко, что им можно пренебречь.

Тепловое сопротивление $R_{пр}$ зависит от качества теплового контакта. При расчете реальных светильников также необходимо учитывать то, что на одной плате одновременно может располагаться несколько светодиодов, что окажет влияние на величину теплового сопротивления и весь расчет в целом.[7]

Тепловое сопротивление радиатор-среда зависит от его конструкции и материала. Наиболее распространенным является ребристый радиатор, который изображен на Рис. 3. [8]

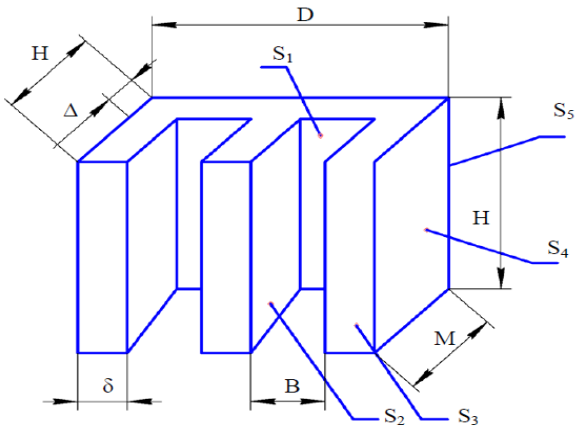


Рисунок 3 - Эскиз ребристого радиатора

Тепловое сопротивление «радиатор – окружающая среда» определяется по формуле:

$$R_{рс} = \frac{1}{\alpha \cdot S_р}; К/Вт \qquad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи,

$S_р$ – поверхность радиатора, м^2.

P – мощность, выделяемая светодиодом;

Величина α зависит от способа охлаждения поверхности радиатора и от среды, его окружающей. Для свободной конвекции в воздухе и газах величина α=10…100Вт/(м^2·К). При охлаждении радиаторов маслом или водой коэффициент α на 2-3 порядка выше.

$$\begin{gathered} S_1 = b \cdot H \cdot (n-1); \\ S_2 = 2 \cdot h \cdot H \cdot (n-1); \\ S_3 = n \cdot \delta \cdot (2 \cdot h + H) + 2 \cdot D \cdot \Delta; \\ S_4 = 2 \cdot M \cdot H; \\ S_5 = D \cdot H, \end{gathered} \qquad (4)$$

где n-число ребер радиатора, шт. [9]

Суммарная площадь поверхности радиатора будет определяться по формуле:

$$S_p = b \cdot H \cdot (n-1) + 2 \cdot h \cdot H \cdot (n-1) + n \cdot \delta \cdot (2 \cdot h + H) + 2 \cdot D \cdot \Delta + 2 \cdot M \cdot H + D \cdot H \qquad (5)$$

Приведенная математическая модель светодиодного источника света позволяет произвести численную оценку теплоты, выделяемой полупроводниковым кристаллом установленной мощности при использовании ребристого радиатора. Данная информация применима при проведении расчетов температуры точек ребристой поверхности и должна быть подтверждена компьютерным моделированием тепловых процессов в светодиодном светильнике. [10]

Список литературы

1. Свитнев С. Теплоотвод в светодиодных осветительных системах: решения Fischer. //«Новости электроники» — «НЭ + Светотехника». 2010. №0.
2. Вовденко, К. П. Результаты оценки скорости деградации светового потока светодиодных светильников в зависимости от эксплуатационных факторов в условиях теплиц [Текст] / В. А. Буторин, К. П. Вовденко // Вестник ЧГАА. Научный журнал ФГБОУ ВПО «ЧГАА». Челябинск: ЧГАА, 2013. Т. 63. – С. 17-20.
3. Никифоров С. Температура в жизни и работе светодиодов [Электронный ресурс]. – Режимдоступа: http://www.expertunion.ru/images/stories/files-doc-rar-001/temp-led-p1.pdf, свободный
4. Шостаковский П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания/Шостаковский П.// - Компоненты и технологии. - 2010. - № 12 (113). – с. 131-138.
5. Ноэль Лотар. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов. // Полупроводниковая светотехника. 2010. №3. С. 13-15.
6. ПуговкинА.В.Энергетические характеристики светодиодови светодиодных ламп / Пуговкин А.В., Степной В.С., Антонова А.Ю., Еремич М.А. // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. Т. 2. № 2. С. 164-168.
7. Андреас Поль (AndreasPohl) Особенности расчета систем отвода тепла при использовании светодиодов в корпусах PLCC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://led-e.ru/assets/files/pdf/2010_5_54.pdf (свободный).
8. Скрипников, Ю. Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов / Ю. Ф.Скрипников. – М.: Энергия, 1973. – 50 с.
9. Бородин С. М.Обеспечение тепловых режимов в конструкциях радиоэлектронных средств : методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Проектирование РЭС» для студентов, обучающихся по специальности 21020165 направления 200800 «Проектирование и технология электронных средств» / С. М. Бородин. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 52 с
10. РязановА.Н. Моделирование тепловых процессов в радиаторах, используемых для охлаждения мощных светодиодов./ Рязанов А.Н., Бутусов И.Ю., Кузубов С.В., Кортунов А.В.// Вестник ВГТУ. 2012. т. 8. с. 90-95.
11. Юферев Л.Ю., Михалев А.А., Соколов А.В., Буднев В.Н. Модернизированная энергоэффективная система освещения животноводческих помещений. Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. 2011. Т. 22. № 2 (2). С. 234-238.
12. Михалев А.А., Юферев Л.Ю. Аналитический расчёт теплового режима светодиодного светильника. Вестник ВИЭСХ. 2013. № 2 (11). С. 45-47.
13. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Светотехника в сельском хозяйстве. Москва, 2016.

References

1. Svitnev S. Teplootvod v svetodiodnyh osvetitel'nyh sistemah: resheniya [Heat dissipation in LED lighting systems: solutions] Fischer. //«Novosti ehlektroniki» — «NEH + Svetotekhnika». 2010. No.0.

2. Vovdenko, K. P. Rezul'taty ocenki skorosti degradacii svetovogo potoka svetodi-odnyh svetil'nikov v zavisimosti ot ehkspluatacionnyh faktorov v usloviyah tep-lic [The results of the evaluation of the rate of degradation of the luminous flux of LED lamps depending on operating factors in greenhouse conditions] / V. A. Butorin, K. P. Vovdenko // Vestnik CHGAA. Nauchnyj zhurnal FGBOU VPO «CHGAA». CHelyabinsk: CHGAA, 2013. T. 63. – pp. 17-20.

3. Nikiforov S. Temperatura v zhizni i rabote svetodiodov [The temperature in the life and work of LEDs]. – Rezhimdostupa: http://www.expertunion.ru/images/stories/files-doc-rar-001/temp-led-p1.pdf, svobodnyj

4. SHostakovskij P. Termoehlektricheskie istochniki al'ternativnogo ehlektropi-taniya [Thermoelectric sources of alternative power supply] /SHostakovskij P.// - Komponenty i tekhnologii. - 2010. - No. 12 (113). – pp. 131-138.

5. Noehl' Lotar. Ohlazhdenie i regulirovanie temperaturnyh rezhimov svetodi-odov. // Poluprovodnikovaya svetotekhnika [Cooling and temperature control LEDs. // Semiconductor light-ing.]. 2010. No.3. pp. 13-15.

6. PugovkinA.V.EHnergeticheskie harakteristiki svetodiodovi svetodiodnyh lamp [En-ergy characteristics of LED and LED lamps] / Pugovkin A.V., Stepnoj V.S., Antonova A.YU., Er-emich M.A. // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioehlek-troniki. 2011. T. 2. No. 2. pp. 164-168.

7. Andreas Pol' (AndreasPohl)Osobennosti rascheta sistem otvoda tepla pri is-pol'zovanii svetodiodov v korpusah PLCC [Features of the calculation of heat removal systems when using LEDs in PLCC packages]. – Rezhim dostupa: http://led-e.ru/assets/files/pdf/2010_5_54.pdf (svobodnyj).

8. Skripnikov, YU. F. Radiatory dlya poluprovodnikovyh priborov [Radiators for semi-conductor devices] / YU. F.Skripnikov. – M.: EHnergiya, 1973. – 50 p.

9. Borodin S. M.Obespechenie teplovyh rezhimov v konstrukciyah radioehlek-tronnyh sredstv : metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam po discipline «Proek-tirovanie REHS» dlya studentov, obuchayushchihsya po special'nosti 21020165 napravleniya 200800 «Proektirovanie i tekhnologiya ehlektronnyh sredstv» [Providing thermal conditions in the construction of radio electronic means: guidelines for laboratory work on the subject “Design of RES” for students en-rolled in the specialty 21020165 of the area 200800 “Design and technology of electronic means”] / S. M. Borodin. – Ul'yanovsk: UlGTU, 2008. – 52 p.

10. RyazanovA.N. Modelirovanie teplovyh processov v radiatorah, ispol'zuemyh dlya ohlazhdeniya moshchnyh svetodiodov [Simulation of thermal processes in radiators used for cool-ing high-power LEDs]. / Ryazanov A.N., Butusov I.YU., Kuzubov S.V., Kortunov A.V.// Vestnik VGTU. 2012. t. 8. pp. 90-95.

11. YUferev L.YU., Mihalev A.A., Sokolov A.V., Budnev V.N. Modernizirovannaya ehnergoehffektivnaya sistema osveshcheniya zhivotnovodcheskih pomeshchenij. Nauchnye trudy GNU VNIIMZH Rossel'hozakademii. 2011. T. 22. № 2 (2). S. 234-238.

12. Mihalev A.A., YUferev L.YU. Analiticheskij raschyot teplovogo rezhima sveto-diodnogo svetil'nika. Vestnik VIEHSKH. 2013. № 2 (11). S. 45-47.

13. YUferev L.YU., Alferova L.K. Svetotekhnika v sel'skom hozyajstve. Moskva, 2016.

УДК 631.95

РАЗРАБОТКА ДВУХКОМПОНЕНТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ.

DEVELOPMENT OF A TWO-COMPONENT DEVICE FOR DISINFECTING AGRICULTURAL PREMISES WITH AUTOMATIC CONTROL.

И.М. ДОВЛАТОВ, *аспирант, младший научный сотрудник,* ***Э.С. РУДЗИК,*** *ассистент лаборатории, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

I.M. DOVLATOV, *graduate student, junior researcher,* ***E.S. RUDZIK,*** *laboratory assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация. *В данной статье обусловлена актуальность предстоящего исследования. Описаны элементы, которые в устройстве предназначенные для обеззараживания воздуха сельскохозяйственных помещений, описана система автоматического управления установкой. Проанализированы работы учёных, занимающихся той же проблемой и выявлены основные модификации, используемые в аналогичных устройствах. Выявлены основные потребители, которые будут проявлять спрос к готовому продукту. Проведён сравнительный анализ с современными аналогами.*

Ключевые слова: *обеззараживание, автоматика, потребители, сравнение с аналогами, УФ излучение, аэрозоль.*

Abstract*. The relevance of the forthcoming research is determined in this article. The elements described in the device for air disinfection of agricultural premises are described, and the system for automatic control of the installation is described. The work of scientists dealing with the same problem is analyzed and the main modifications used in similar devices are revealed. Identified the main consumers who will show demand for the finished product. Comparative analysis with modern analogues.*

Keywords*: disinfection, automation, consumers, comparison with analogues, UV radiation, aerosol.*

Введение. При выращивании животных и птиц в сельхоз помещениях, фермеры сталкиваются со многими проблемами, и самыми главными из них являются финансовые: потери из-за высокой смертности животных и птиц, по причине загрязнённости воздуха микроорганизмами (Рис.1,2) и большие затраты для осуществления обеззараживания существующими методами.

Исследования по обеззараживанию воздуха в птичниках и сохранение микроклимата, комфортного для птицы, показали, что самый эффективный результат достигается при использовании бактерицидного ультрафиолетового излучения с дополнительной обработкой аэрозольной смесью.

Целью исследования является создание нового устройства для обеззараживания сельскохозяйственных помещений с автоматическим управлением, а так же провести сравнение с аналогами и заинтересовать потребителей и сравнение с аналогами.

Рисунок 1 - Токсическая дистрофия

Рисунок 2 - Смерть от загрязнённой среды

Материалы и методы. Технический анализ, методика анализа сбора доступной информации, составление алгоритмов и написание программ, конструктивная реализация исследования при помощи необходимых материалов и инструментов.

Предлагаемое решение. Разрабатываемая установка включает в себя два обеззараживающих компонента: ультрафиолетовая лампа низкого давления и распылитель аэрозоля, находящихся в металлическом корпусе (рис.3). Принцип работы устройства заключается в том, вентилятор, встроенный в металлический корпус устройства, нагнетает воздух внутрь, затем происходит его дезинфекция: облучение ультрафиолетом и обогащение аэрозолем [1, 2, 5].

Разработан модуль автоматического управления установкой (рис.4), который состоит из микропроцессорного комплекта Arduino с микропроцессором ATMEGA. Микропроцессор принимает данные от датчиков влажности, температуры и положения входной двери, на основе которых производит управление двумя реле, включающие и отключающее питание насоса, распыляющего аэрозольную смесь, и ультрафиолетовую лампу. В микропроцессоре заложена универсальная программа, разработанная по заранее составленному алгоритму, позволяющая изменять параметры циклов

проведения обеззараживания в зависимости от требований для определенных сельскохозяйственных помещений [6, 8, 9].

Рисунок 3 - Разрабатываемое устройство

Рисунок 4 - Лабораторная система автоматического управления установкой

Исходя из проведенного анализа существующих аналогов и научных работ (Василенко А.А., Приданова М.А., Высоцкий А. А., Вороняк В. В.,

Прокопенко А.А., Юферев Л. Ю., Буреев И.А., Кушнир А.Т., Сливко И.А.) можно утверждать, что в них используются различные модификации ультрафиолетового облучения (применяются кварцевые лампы, безозоновыхе ртутные лампы, дополнительные конструкции, повышающие эффективность работы ультрафиолетовых ламп), в некоторых аналогах дополнительно используется озон для повышения эффективности обеззараживания [3, 4, 7].

Определены основные потребители, заинтересованные в продукте и разделены на две группы рисунке 5

Выбор основных потребителей обусловлен нормативными документами и за счёт разработки продукта который разработан на опережение современных аналогов на рынке, так же во внимание принимаются и государственные программы по поддержке сельскохозяйственного производства.

Рисунок 5 - Основные потребители продукта

Из рисунка 5 можно сделать видно, что в первую очередь в устройстве нуждаются \ фермеры, а именно в птичники, животноводческие помещения и любые другие помещения сельскохозяйственного назначения. При необходимости устройство или его комплектующие части может быть использовано частными лицами, заведующие производственными и складскими помещениями.

Устройства, которые сегодня выставлены на Российском рынке разнообразны, но в основном являются однокомпонентными без автоматического управления (особенно для сельскохозяйственного предназначения), ввиду большого увеличения цены при наличии модуля автоматического управления установкой.

Был проведён сравнительный анализ современных устройств по обеззараживанию и очищению воздуха с автоматическим управлением и без него. Результат анализа отражён в табл.1

Таблица 1 - Сравнительная таблица устройств для обеззараживания воздуха

Компании	Цена, тыс. руб.	Обеззараживающие компоненты	Автоматическое управление	Объём обрабатываемого воздуха/расход раствора	Область применения
Очиститель воздуха EP-A9000 CH (Hitachi,Япония)	64 990	Фильтр предварительной очистки; HEPA фильтр; Дезодорирующий фильтр тонкой очистки; Увлажняющий фильтр.	есть	540 м^3/час	Офисные помещения
DS Дезустановка DS-green (Био-Дез, Россия)	56 000	Распыление раствора	нет	расход рабочего раствора до 25 литров в минуту	Сельхоз помещения
Дезустановка CAR 130 (Адентина сервис, Беларусь)	155 750	Фильтр очистки (тонкой и грубой); распыление раствора	нет	расход рабочего раствора до 25 литров в минуту	Сельхоз помещения
Генератор холодного тумана "Хайфог" (Ижсинтез-химпром, Китай)	94 780	Аэрозольный распылитель	нет	0-40 л/ч	Сельхоз помещения
Аэрозольный генератор холодного тумана (Igeba, Германия)	380 000	Аэрозольный распылитель	есть	5000 м^3 в час; 0 - 18 л/ч	Сельхоз помещения
АРУФ	70 000	Ультрафиолетовая лампа низкого давления; аэрозольный распылитель	есть	161 м^3 /час	Сельхоз помещения

Предложенное решение является инновационным, за счет использования одновременного воздействия на воздух ультрафиолетовым облучением и насыщением его аэрозольной смесью, и экономичным, за счет относительно дешевой стоимостью по сравнению с аналогами, учитывая модуль автоматического управления.

К разрабатываемому устройству проявлен интерес такими уважаемыми организациями как ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Птичник РГАУ МСХА им. Тимирязева, Российский Фонд Фундаментальных Исследований, ФГБНУ ВНИИВСГЭ.

Работа выполняется в рамках гранта «мой первый грант» номер 18-38-00793 при финансирование Российского Фонда Фундаментальных Исследований

Вывод:

По результатам работы был проведен анализ существующих устройств для обеззараживания воздуха в птицеводческих и животноводческих помещениях, разработан лабораторный образец «АРУФ».

Проведены его испытания в лабораторных условиях в помещении с контролируемой концентрацией микроорганизмов.

Написана универсальная программа на заранее составленном алгоритме и разработан экспериментальный модуль управления процессов обеззараживания и освещения в помещении.

«АРУФ» по своим характеристикам, как показала экспериментальная работа и аналитические исследования, превосходит аналогичные устройства за счет одновременного применения ультрафиолетового излучения и распыления аэрозольной смеси и за счет эффективном обеззараживании воздуха за одинаковое количество времени.

Список литературы

1. Довлатов И.М. Обеззараживание воздуха в птицеводческих помещениях ультрафиолетовым излучением. Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1
2. Довлатов И.М. Установки для обеззараживания птичников аэрозолем Инновации в сельском хозяйстве 2017 №2(23) стр.61
3. Юферев Л.Ю. УФ-облучатели повышенной эффективности для обеззараживания воздуха помещений. Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2017. № 1 (21). С. 12-16.
4. Прокопенко А.А., Новикова С.И., Морозов В.Ю., Юферев Л.Ю. Разработка конструкции нового рециркулятора для обеззараживания воздуха в птицеводческих помещениях. Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2017. № 4 (24). С. 46-52.
5. Юферев Л.Ю., Довлатов И.М. Повышение эффективности энерго-ресурсосберегающей системы УФ облучения. Вестник ВИЭСХ. 2017. № 2 (27). С. 70-75.
6. Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Рудзик Э.С. Автоматизация обеззараживания воздуха и освещения в сельскохозяйственных помещениях. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 5. С. 43-48.
7. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. Концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. Научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций)
8. Алферова Л.К., Юферев Л.Ю. Автоматическое управление обеззараживанием воздуха в птицеводческих помещениях. Сборник научных докладов ВИМ. 2006. Т. 1. С. 529-530.
9. Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Автоматизация ультрафиолетового обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях. В сборнике: Материалы 5-й международной научно-практической конференции в 3-х томах. РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК. 2007. С. 257-261.

References

1. Dovlatov I.M. Obezzarazhivanie vozduha v pticevodcheskih pomeshcheniyah ul'trafioletovym izlucheniem [Disinfection of air in poultry farms with ultraviolet radiation]. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2017. № 1

2. Dovlatov I.M. Ustanovki dlya obezzarazhivaniya ptichnikov aehrozolem [Installations for the disinfection of poultry houses with aerosol]. Innovacii v sel'skom hozyajstve 2017 №2(23) str.61

3. YUferev L.YU. UF-obluchateli povyshennoj ehffektivnosti dlya obezzarazhivaniya vozduha pomeshchenij [UV irradiators increased efficiency for disinfecting indoor air]. Rossijskij zhurnal Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i ehkologii. 2017. № 1 (21). S. 12-16.

4. Prokopenko A.A., Novikova S.I., Morozov V.YU., YUferev L.YU. Razrabotka konstrukcii novogo recirkulyatora dlya obezzarazhivaniya vozduha v pticevodcheskih pomeshcheniyah [Development of the design of a new recirculator for disinfecting air in poultry houses]. Rossijskij zhurnal Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i ehkologii. 2017. № 4 (24). S. 46-52.

5. YUferev L.YU., Dovlatov I.M. Povyshenie ehffektivnosti ehnergo-resursosberegayushchej sistemy UF oblucheniya [Improving the efficiency of energy-saving system of UV irradiation]. Vestnik VIEHSKH. 2017. № 2 (27). S. 70-75.

6. YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Rudzik EH.S. Avtomatizaciya obezzarazhivaniya vozduha i osveshcheniya v sel'skohozyajstvennyh pomeshcheniyah [Automation of air disinfection and lighting in agricultural premises]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2017. № 5. S. 43-48.

7. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. Koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. Nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for processing feed, fertilizer, crop waste. Scientifically based parameters of energy-saving combined installations for disinfecting air and surfaces]

8. Alferova L.K., YUferev L.YU. Avtomaticheskoe upravlenie obezzarazhivaniem vozduha v pticevodcheskih pomeshcheniyah [Automatic control of air disinfection in poultry houses]. Sbornik nauchnyh dokladov VIM. 2006. T. 1. S. 529-530.

9. YUferev L.YU., Alferova L.K. Avtomatizaciya ul'trafioletovogo obezzarazhivaniya vozduha v zhivotnovodcheskih pomeshcheniyah [Automation of ultraviolet air disinfection in livestock buildings]. V sbornike: Materialy 5-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii v 3-h tomah. ROSSIJSKAYA AKADEMIYA SEL'SKOHOZYAJSTVENNYH NAUK. 2007. S. 257-261.

УДК 621.314.58

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ОДНОПРОВОДНИКОВЫМ ЛИНИЯМ НА ЧАСТОТЕ 50 ГЦ И 8 КГЦ.

COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF GROUNDING FOR POWER TRANSMISSION IN ONE-WIRE LINES AT A FREQUENCY OF 50 HZ AND 8 KHZ.

О.А. РОЩИН, *канд. техн. наук,* ***Л.Ю. ЮФЕРЕВ,*** *д-р. техн. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

O.A. ROSHIN, *cand. tech. sci.,* ***L.YU. YUFEREV****, Dr. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация *Продолжая работы по изучению и исследованию однопроводниковой резонансной системы, передачи электрической энергии для электрооборудования сельскохозяйственного назначения провели сравнительную эффективность заземления при передаче электроэнергии по однопроводниковым линиям на частоте 50 Гц и 8 кГц. Исследования убедительно потвердели, что при относительно равных условиях резонансная система 8 кГц передала на 72% больше мощности, чем традиционная система с частотой 50 Гц.*

Ключевые слова: *однопроводниковая резонансная система передачи, однопрводниковая, замкнутая схема передачи электроэнергии на частоте 50 Гц, резонанс, трансформаторы проводного радиовещания, передающий резонансный преобразователь напряжения, приёмный обратный преобразователь напряжения, контуром заземления, электрод заземления.*

Abstract*. Continuing work in study and research odnoprovodnoi resonant system of transmission of electrical energy for the electrical equipment of agricultural purpose carried out comparative efficiency of the earthling system under power transmission lines on odnoprovodnoi at a frequency of 50 Hz and 8 kHz. Research has convincingly confirmed that under relatively equal conditions of resonance, the 8 kHz gave 72% more power than a traditional system with a frequency of 50 Hz ngliysky.*

Keywords: *Keywords: odnoprovodnoi resonance transmission system, odnopolnaja, closed-loop scheme of power transmission at a frequency of 50 Hz, resonance, transformers, radio broadcasting, transmitting resonant voltage Converter, receiving a reverse voltage Converter, ground loop, the ground electrode.*

Институт продолжают посещать потенциальные инвесторы, интересующиеся резонансной однопроводниковой системой передачи электрической энергии имеющая множество неоспоримых преимуществ перед существующей системой промышленной передачи электрической энергии на постоянном токе и переменном напряжении 380 – 220 В с частотой 50 Гц. Резонансная система передачи уникальна, когда существующие системы не применимы по техническим и экономическим причинам. Потенциальные инвесторы хотят увидеть эти преимущества, и в, частности, понять разницу в конструкции заземляющих контурах резонансной системы и промышленной передачи на постоянном и переменном токе. В 2012 году учёные ВИЭСХа совместно с учёными ОАО «ВНИИЖТ», а так же с представителями

Департамента технической политики ОАО «РЖД» и Главного управления электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД», и ООО «Промавтоматика» провели исследования и испытания резонансной однопроводниковой системы передачи электрической энергии мощностью 2,5 кВт, для сравнительного анализа эффективности заземления при передаче электрической энергии по однопроводниковым линиям на частоте 50 Гц и 8 кГц. Данные исследований были опубликованы в журнале Железнодорожник № 21 – 25 (2873). ВНИИЖТ. М., 2012. С. 9. (вышедшему к 175 летию железных дорог России) в статье «Испытания однопроводной резонансной системы передачи электрической энергии», авторы Ермоленко Д.В. ОАО «ВНИИЖТ» , Юферев Л.Ю., Рощин О.А. ФГБНУ ВИЭСХ.

Для сравнительного анализа резонансной однопрводниковой системы передачи энергии мощностью до 2500 Вт с напряжением в линии 980 В и резонансной частотой 7-9 кГц были подготовлены 2 трансформатора проводного радиовещания с входным напряжением 220 В и выходным напряжением 900 В и собрана 2^X проводная замкнутая схема, с частотой 50 Гц, рисунок 1.

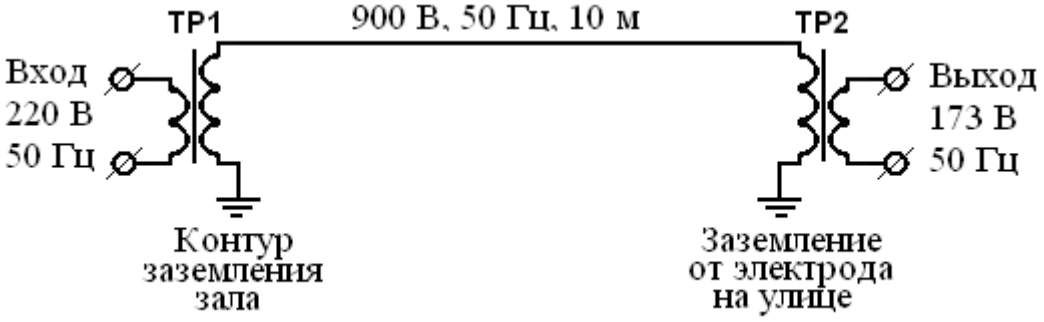


Рисунок 1 - Однопрводниковая, замкнутая схема передачи электроэнергии на частоте 50 Гц.

Схема состоит из передающего трансформатора, проводного радиовещания ТР1 с входным напряжением 220 В и выходным напряжением 900 В. К одной высоковольтной клемме подключена однопрводниковая линия, к другой клемме подключён контур заземления зала, в котором проводятся испытания. Второй конец однопрводниковой линии подключен к высоковольтной клемме второго, приёмного трансформатора проводного радиовещания ТР2. Ко второй высоковольтной клемме подключен провод, соединённый с электродом заземления находящегося на улице, рисунок 2. Сопротивление между контуром заземления зала и заземлением, находящимся на улице составляет 160 кОм. К низковольтным клеммам приёмного трансформатора с выходным напряжением 220 В, в качестве нагрузки параллельно подключены 2 лампы накаливания мощностью по 1000 Вт каждая, суммарная мощность равна 2000 Вт.

Рисунок 2 - Уличное заземление, металлический уголок 30 х 30 см, вбитый в мёрзлую землю на глубину 10 см.

При подключении схемы к сети 220 В, на низковольтных клеммах передающего трансформатора напряжение составило 215 В, ток 7 А, передаваемая мощность на входе 1505 Вт. На высоковольтных клеммах трансформатора напряжение равно 880 В, ток 1,61 А, мощность 1417 Вт. Линия между двумя трансформаторами выполнена высоковольтным проводом ПВВ-1, длинной 10 метров. На высоковольтных клеммах приёмного трансформатора напряжение равно 595 В, ток 1,61 А, мощность 958 Вт. Предающий и приёмный трансформаторы проводного радиовещания представлены на рисунках 3. и 4.

Рисунок 3 - Передающий трансформатор 50 Гц внизу и резонансный преобразователь напряжения вверху.

Рисунок 4 - Приёмный трансформатор 50 Гц внизу и обратный преобразователь вверху.

Передающий резонансный преобразователь напряжения показан на рисунке 3 вверху. Приёмный обратный преобразователь напряжения показан на рисунке 4 вверху. Высоковольтная клемма передающего резонансного преобразователя напряжения соединена с высоковольтной клеммой обратного преобразователя напряжения. Два преобразователя соединены такой же 10 м линией высоковольтного провода ПВВ-1.

Схема резонансной однопрводниковой системы передачи электроэнергии на частоте 8 кГц показана на рисунке 5.

Низковольтная клемма передающего резонансного преобразователя напряжения соединена с контуром заземления зала, так же как и передающий трансформатор ТР1 на схеме рисунок 1. К другой низковольтной клемме обратного преобразователя подключён провод, соединённый с электродом заземления, находящегося на улице, рисунок 2.

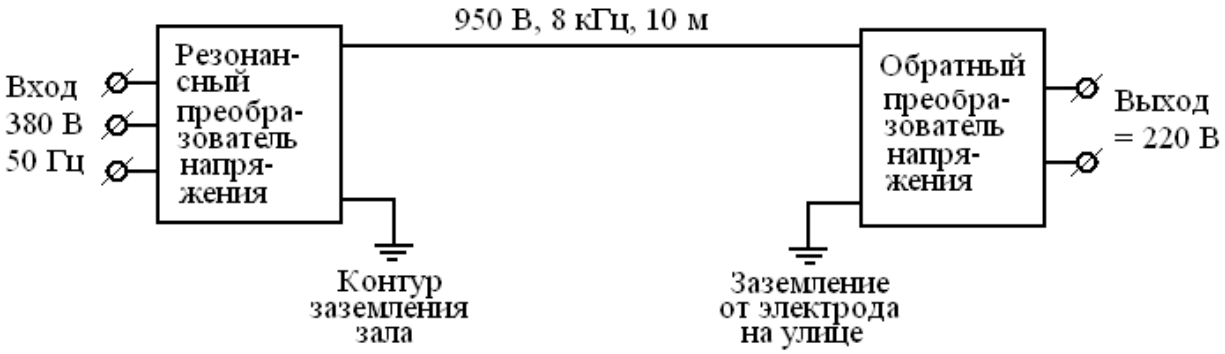


Рисунок 5 - Схема резонансной однопрводниковой системы передачи электроэнергии на частоте 8 кГц.

Подключим однопрводниковую резонансную систему к промышленному 3-х фазному напряжению 380 В, с частотой 50 Гц. На выходе передающего резонансного преобразователя напряжения 950 В, с частотой 8 кГц. Замер произведён осциллографом ОМЦ-20, измерение тока на такой частоте не проводилось. На входе приёмного обратного преобразователя, напряжение составило 738 В. На низкой стороне преобразователя напряжение постоянного тока 163 В, ток 8,2 А, мощность 1337 Вт, в нагрузке две лампы накаливания 220 В, соединенные параллельно каждая по 1000 Вт.

Вывод: При относительно равных условиях резонансная система 8 кГц передала 1337 Вт, традиционная система 50 Гц передала 958 Вт.

958 : 1337 = 0,72 х 100 = 72%.

На 72% частотная система передачи оказалась лучше.

Список литературы

1. Рощин О.А. Принцип и работа однопроводниковых резонансных систем. Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 2 (7). С. 4-14.

2. Юферев Л.Ю., Стребков Д.С., Рощин О.А. Экспериментальные модели резонансных систем электрической энергии – М.: ВИЭСХ, 2010. – 208 с

3. Рощин О.А. Проблемы создания однопроводниковых резонансных систем передачи электроэнергии большой мощности. Вестник ВИЭСХ. 2014.

4. Рощин О.А. Применения однопроводниковых резонансных систем для увеличения передаваемой мощности в сельских электрических сетях 0.4 КВ.
Инновации в сельском хозяйстве. 2013. № 3 (5). С. 46-49.

5. Рощин О.А. Резонансные электрические сети нового поколения.
Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 4. С. 237-241.

6. Рощин О.А. Разработка стенда для проведения исследований резонансной системы питания электрифицированного оборудования в сельском хозяйстве мощностью 100 кВт. ФГБНУ ВИЭСХ (ГНУ ВИЭСХ) Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 4 (9). С. 235-239.

7. Александров Д.А. асп., Л.Ю. Юферев к.т.н., Рощин О.А. к.т.н. Обоснование работы резонансных дросселей и трансформаторов. Инновации в сельском хозяйстве № 3 2013(ГНУ ВИЭСХ), М., 2013.

8. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Рощин О.А., Михалёв А.А. Резонансные системы светодиодного освещения/ Вестник ВИЭСХ. М., 2012. № 2. С. 26-30.

References

1. Roshchin O.A. Princip i rabota odnoprovodnikovyh rezonansnyh sistem [The principle and operation of single-conductor resonant systems]. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2014. № 2 (7). S. 4-14.

2. YUferev L.YU., Strebkov D.S., Roshchin O.A. EHksperimental'nye modeli rezonansnyh sistem ehlektricheskoj ehnergii [Experimental models of resonant systems of electrical energy] – M.: VIEHSKH, 2010. – 208 s

3. Roshchin O.A. Problemy sozdaniya odnoprovodnikovyh rezonansnyh sistem peredachi ehlektroehnergii bol'shoj moshchnosti [Problems of creating single-conductor resonant high-power transmission systems]. Vestnik VIEHSKH. 2014.

4. Roshchin O.A. Primeneniya odnoprovodnikovyh rezonansnyh sistem dlya uvelicheniya peredavaemoj moshchnosti v sel'skih ehlektricheskih setyah 0.4 KV [Applications of single-conductor resonant systems for increasing the transmitted power in 0.4 kV rural electric networks.]. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2013. № 3 (5). S. 46-49.

5. Roshchin O.A. Rezonansnye ehlektricheskie seti novogo pokoleniya [Resonant electrical networks of the new generation]. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2014. № 4. S. 237-241.

6. Roshchin O.A. Razrabotka stenda dlya provedeniya issledovanij rezonansnoj sistemy pitaniya ehlektrificirovannogo oborudovaniya v sel'skom hozyajstve moshchnost'yu 100 kVt [Development of a test bench for conducting studies of a resonant power supply system for electrified equipment in agriculture with a capacity of 100 kW]. FGBNU VIEHSKH (GNU VIEHSKH) Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2014. № 4 (9). S. 235-239.

7. Aleksandrov D.A. asp., L.YU. YUferev k.t.n., Roshchin O.A. k.t.n. Obosnovanie raboty rezonansnyh drosselej i transformatorov. Innovacii v sel'skom hozyajstve № 3 2013(GNU VIEHSKH), M., 2013.

8. Strebkov D.S., YUferev L.YU., Roshchin O.A., Mihalyov A.A. Rezonansnye sistemy svetodiodnogo osveshcheniya [Resonant LED Lighting Systems] / Vestnik VIEHSKH. M., 2012. № 2. S. 26-30.

УДК 621.314.58

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.

REVIEW OF EXISTING METHODS FOR THE TRANSMISSION OF ELECTRICAL ENERGY.

***Д.С. СТРЕБКОВ**, д.т.н, **Л.Ю. ЮФЕРЕВ**, д.т.н.,*
***О.А. РОЩИН**, к.т.н. ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*
***D.S. STREBKOV**, doctor of technical Sciences, **L.YU. YUFEREV**, doctor of technical Sciences, **O.A. ROCHTCHIN**, candidate of technical science, main specialist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация.** Целью обзора существующих методов передачи электрической энергии является процесс развития передачи электричества в зависимости от научного понимания процесса передачи электроэнергии и возможности производства электрооборудования в то время с учётом знаний и пониманий процессов, происходящих в передающих линиях, в передающем и приёмном оборудовании. Понимание процесса развития передачи электроэнергии и исследования современного состояния, передающих систем позволит правильно понять дальнейшее направление развития систем передачи электрической энергии на основе достижений современной науке в электротехнике, радиотехнике, электронике, схемотехнике, в материаловедение, в технологии производства. Рассматривается вариант современной, революционной системы передачи электроэнергии по одножильной кабельной линии на повышенной частоте. Общеизвестно, что кабельная линия значительно надёжней по сравнению с воздушной линией. Зачем передавать энергию по трём, четырём или пяти проводам, если можно передавать по одному. В начале и в конце однопроводной кабельной линии стоят электронные передающий и приёмный блоки, что позволяет передавать качественную электроэнергию, вопрос о качестве электроэнергии полностью снимается. Электронные блоки на входе и выходе линии делают её, не убиваемой за счёт обратной связи с линией. Малая себестоимость позволит создавать резервные электросети, что особенно актуально для*

***Abstract.** The purpose of the review of existing methods of electric power transmission is the process of developing electric power transmission depending on the scientific understanding of the electric power transmission process and the possibility of producing electrical equipment at that time, taking into account the knowledge and understanding of the processes occurring in transmission lines, in transmitting and receiving equipment.*

Understanding the process of developing the transmission of electricity and studying the current state of transmission systems will allow us to correctly understand the future direction of the development of electrical transmission systems based on the achievements of modern science in electrical engineering, radio engineering, electronics, circuit engineering, materials science, and production technology. A variant of a modern, revolutionary system of power transmission via a single-core cable line at an increased frequency is being considered. It is well known that the cable line is much more reliable compared to the air line. Why transfer energy through three, four or five wires, if you can transfer one by one. At the beginning and at the end of a single-wire cable line are electronic transmitting and receiving units, which allows you to transmit high-quality electricity, the question of the quality of electricity is completely removed. Electronic blocks at the input and output of the line make it not kill due to feedback from the line. Low cost will allow you to create backup power, which is especially important for rural areas.

сельской местности.

***Ключевые слова**: Линии электропередач, передача электроэнергии, воздушная линия, однофазная кабельная линия, качество электроэнергии, обратная связь.*

***Keywords:** power lines, power transmission, overhead line, single-phase cable line, power quality, feedback.*

Учитывая физический и моральный износ сельских электрических сетей, имеющих свои специфические особенности, с 1992 года прорабатываются рекомендации по возможной реконструкции действующих и создания принципиально новых сельских электрических сетей нового, следующего поколения.

Проведены теоретические и практические исследования новых методов электроснабжения сельских потребителей. Составлен обзор существующих и резонансных методов передачи электрической энергии с целью рассмотрения возможности использование резонансной системы передачи электрической энергии по однопроводной кабельной линии более дешёвой по стоимости кабеля, по монтажу, по эксплуатационным затратам для удовлетворений всё возрастающих требований сельских жителей.

История развития технологии передачи электрической энергии началась в19 веке, когда в 1874 г. впервые Пироцкий Ф.А. показал возможность передачи электрической энергии на постоянном токе, осуществив передачу 6 л.с. на расстояние около 1 км. В 1877 г. Пироцкий Ф.А. напечатал в “Инженерном журнале” статью, в которой пришёл к выводу о возможности передачи электрической энергии на большие расстояния. К сожалению, опыты Пироцкого Ф.А. не привлекли особого внимания и были забыты [1].

В 1893г. Н. Тесла, в 1895г. А.С. Попов и Г. Маркони в 1895г. провели первые в мире эксперименты по радиосвязи. С тех пор до наших дней радиосвязь претерпела революционные изменения, а система передачи электрической энергии консервативно мало изменилась [1].

В 1880 году в журнале “Электричество” (№ 1) была напечатана первая статья по новому методу передачи электроэнергии русского ученого Лачинкова Д.А. “электромеханическая работа”, о разработке ряда теоретических вопросов и результатов исследований.

В 1882 г. возможность передачи электрической энергии на постоянном токе продемонстрировал французский инженер Марсель Депре, передавший энергию водяной турбины на расстояние 57 км на Мюнхенскую выставку, где приводился в действие насос мощностью 1,2 л. с., с КПД передачи 22%. Современники, получившие известие об опытах Депре, придавали большое значение передаче электроэнергии на дальние расстояния [1].

Большим толчком в развитии передачи электроэнергии явилось создание русским инженером М.О. Доливо-Добровольским систем трехфазного тока и асинхронного двигателя. Им же были сконструированы трехфазный синхронный генератор и трехфазный трансформатор. Таким образом, Доливо-Добровольским были изобретены и разработаны все элементы для трехфазной передачи энергии и для распределения энергии. Это позволило ему впервые в 1891 году осуществить трехфазную передачу достаточно большой мощности.

Энергия передавалась от гидроэлектростанции мощностью 300 л.с. на расстояние 178 км при напряжении 30000 В с КПД 77% [1].

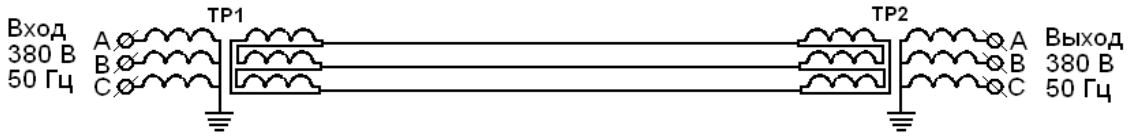


Рисунок 1 - Схема существующей трёхфазной системы с частотой 50 Гц.

Электрические трёхфазные сети передачи электрической энергии остались такими, как их создал М.О. Доливо-Добровольский (рис. 1). Генерирующие мощности промышленной частоты работают на трёхфазной четырехпроходной системе с заземлённой нейтралью [2].

Токи во всех фазах синусоидальные, одинаковой частоты, симметричны, сдвинуты по фазам на $\frac{2}{3}\pi = 120^0$. Трёхфазные электрические сети, передачи электрической энергии стали современными за счёт нового электрооборудования. Передающие и принимающие трансформаторы стали меньших размеров за счёт специальной трансформаторной марки стали. Новые ЛЭП используют более долговечные опоры с изоляторами улучшенных материалов. Несущие провода в основном, используют СНИПы. Выключатели и разъединители модернизированы, появилась сравнительно надёжная автоматика, телемеханика.

В довоенные и послевоенные годы в ВИЭСХе учёными Будзко И. А., Эбиным Л.Е. совместно с другими выдающимися учёными института разработали несимметричные схемы трёхфазных высоковольтных сетей, в которых земля использовалась в качестве одного из проводов [3]. Такие схемы давали возможность создать весьма экономичные сети. При применении этих схем в аварийных режимах обычных сетей, повышалась надёжность электроснабжения. В экономике сельского электроснабжения играют решающую роль первоначальные затраты по сооружению сетей, именно поэтому в сороковые годы создавались такие сети. Стремление снизить первоначальные затраты приводило к созданию специальных сельских экономичных сетей и систем распределения электроэнергии. Применение высоковольтных трёхфазных сетей с использованием земли в качестве одного из фазных проводов (сети два провода - земля (ДПЗ)) даёт экономию 1/3 проводов, около 40 – 45% линейных изоляторов и крюков, позволяет увеличить пролёты между опорами на 15 – 20% и соответственно снизить расходы леса для опор. Достигалась некоторая экономия в коммутационной аппаратуре.

В качестве аварийных применялись схемы работы линий и трансформаторов двумя фазами, причём нейтрали трансформаторов заземлялись наглухо. Для повышения располагаемой мощности и групп, составленных из однофазных трансформаторов, Эбиным Л.Е. была предложена схема, в которой резервный однофазный трансформатор подключается параллельно к одному из работающих. Такая схема так же является несимметричной и вызывает протекание тока в земле. Наконец, большое практическое значение имели схемы соедине-

ния трёхфазных групп из однофазных трансформаторов с разными параметрами.

Так, по 1941 год, в СССР было около 1200 км сетей ДПЗ, напряжением 3 – 35 кВ. Распределение этих сетей по рабочим напряжениям показано в табл. 1. [3].

Таблица 1.

Распределение сетей ДПЗ по рабочим напряжениям до 1941 года.

Рабочее напряжение кВ.	Протяжённость сетей км.	В %% от общей протяжённости
35	61	5,1
20	220	18,4
10	304	25,3
6	333	27,7
3	282	23,5
Всего:	1200	100,0

Эти сети питались преимущественно от сельских электростанций (71% общей протяжённости). Значительная часть их (19,5%) питалась также от промышленных и коммунальных электростанций, наконец, осуществлялись такие сети и с питанием от сетей мощных энергетических систем (9,5%).

За период Великой Отечественной войны и после войны в связи с общим развитием сельской электрификации значительно возросла протяжённость сетей ДПЗ. Примерами могут служить: Свердловская область, в отдельных районах которой построено большое число линий ДПЗ, и Грузинская ССР, в которой в настоящее время насчитывается около 500 км сетей ДПЗ, что составляет около 50% всех сельских высоковольтных сетей республики. Известно, что ещё до войны применяли схемы ДПЗ для пофазного плавления гололёда [3].

Наряду с сетями ДПЗ для сельского электроснабжения рекомендуется смешанная система распределения электроэнергии, пока ещё не получившая широкого распространения. При этой системе достигается ещё большая экономия в проводах (до 50% от общего количества в высоковольтных и низковольтных сетях) и в первоначальных затратах (до 20%). В результате применения однофазных понижающих трансформаторов и разукрупнения мощностей этих трансформаторов, значительно снижается стоимость трансформаторных пунктов, которые приближаются к потребителям. При этом снижается протяжённость низковольтной сети, и уменьшаются сечения проводов. Вследствие широкого применения однофазных ответвлений от трёхфазных магистралей высокого напряжения, достигается также экономия в расходе материалов и в стоимости высоковольтной сети [3].

Варианты выполнения смешанной системы представлены на (рис. 2). Одним из наиболее многообещающих вариантов является трёхфазная сеть с глухо заземлёнными нейтралями, в которой однофазные ответвления от магистральных линий выполняются однопроводными линиями с использованием земли в качестве обратного провода (рис. 2б.). Намечается также вариант смешанной системы, основные трёхфазные магистрали которой осуществляются в виде линий ДПЗ (рис. 2в.) [3].

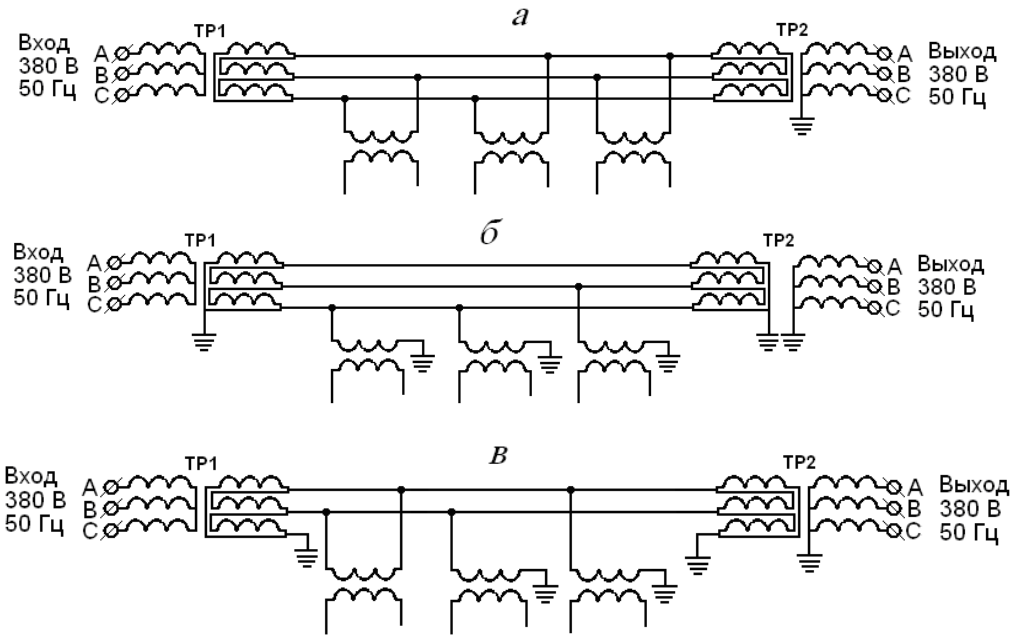


Рисунок 2. Схемы вариантов выполнения смешанной системы [3]

Интерес к несимметричным схемам работы сетей в значительной степени возрос в связи с распространением однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ). При котором предусматривается работа двумя фазами кратковременно, (только в течение времени между автоматическим отключением фазы). Или при другом выполнении схемы длительно, когда в случае устойчивого замыкания на землю фазы предусматривается автоматический переход на работу двумя фазами [3].

Первые линии передачи электроэнергии, как было сказано выше, появились на постоянном напряжении (токе), так как это вытекало из знания электротехники того времени и возможности получения электрической энергии достаточной мощности. Современная схема передачи электроэнергии на постоянном токе показана на рисунке 3.

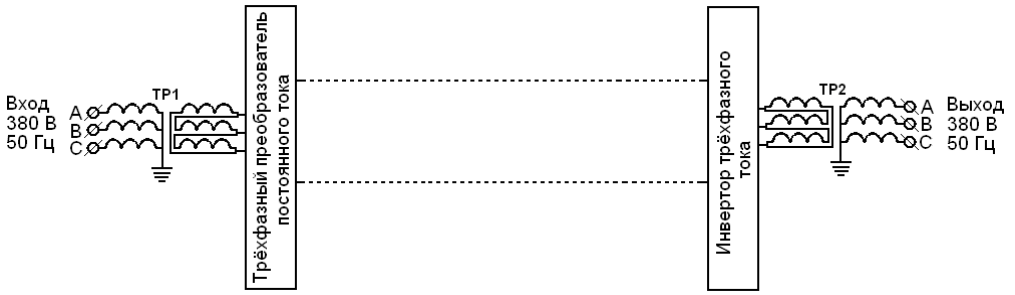


Рисунок 3 - Схема передачи электроэнергии на постоянном токе

Развитие энергетики пошло по пути передачи энергии высоким напряжением. Новым этапом передачи электрической энергии на постоянном токе является использование сверхвысокого напряжения.

Принципиальные электрические схемы передачи электрической энергии на постоянном токе за время своего развития претерпели существенные изме-

нения (рис.3). Появились трёхфазные преобразователи постоянного тока, современные воздушные и кабельные линии, на выходе передачи инвертор, преобразующий постоянный ток в трёхфазный переменный с частотой 50 Гц. Схемотехнические решения дают возможность за счёт управления схемами трёхфазный преобразователь перенастроить в инвертор, а инвертор в трёхфазный преобразователь. Передавать энергию можно в любом направлении. Мощные заземляющие контуры со стороны выпрямителя и вдали от инвертора позволяют передавать электроэнергию по схеме один провод «земля».

Таблица 2

Этапы освоения отдельных номинальных напряжений электрической сети [1]

Класс напряжения, кВ	Год ввода первых ВЛ		Наименование первой линии электропередачи, страна
	в мире	в СССР	
110 – 150	1911		Лаухаммер – Риза (германия)
		1922	Каширская ГРЭС - Москва
220 – 287	1929		Браувейлер – Хоэнекк (Германия)
		1933	Свирская ГЭС – Ленинград
330 – 345	1932		ГЭС Болдер ДАМ – Лос-Анджелес (США)
		1959	Прибалтийская ГРЭС – Рига
400	1952		Харспрангет – Хальсберг (Швеция)
500	1959		Волгоградская ГЭС – Москва
800		1962	Волгоград – Донбасс (постянный ток, 720 Мвт, 475 км)
735 – 765	1965		Маникуаган – Монреаль (Канада)
		1967	Конаковская ГРЭС – Белый Раст
1150		1984	Экибастуз – Кокчетав
1000	1993		АЭС Касивадзаки – Карива – район Токио (Япония)

С 1992 года, во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ) ведутся разработки по созданию принципиально новых, однопроводных кабельных линий, передающих электроэнергию по однопроводному волноводу в резонансном режиме на повышенной частоте, как предложил в своих работах Никола Тесла (рис. 4).

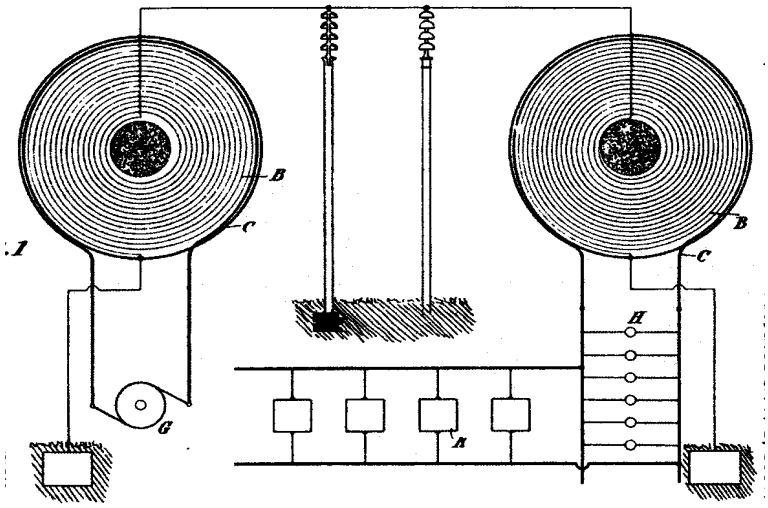


Рисунок 4 - Резонансная однопроводная система электроснабжения Н.Тесла, Патент № 593138 от 02 ноября 1897г.[4].

Резонансная однопроводная схема электроснабжения (РОЭС) представляет собой новые типы трансформаторов на основе индукционных катушек и систему передачи электроэнергии между ними, позволяющей увеличить потенциал источника энергии для передачи по линии значительно большей мощности, чем было возможно до сих пор, причём трансформаторы сконструированы таким образом, чтобы исключить риск в случае повреждения изоляции и быть безопасным при работе [4].

В 1992 году в журнале Электроснабжение сельского хозяйства, научные труды том 78, [5] С.В. Авраменко описал принцип передачи электроэнергии по однопроводной линии в последствии эта схема получила название «вилка Авраменко». Физически данный процесс протекает следующим образом. Генератор *Г* создаёт избыток отрицательных зарядов на
поверхности *С* эти заряды сразу переходят через диод V_1 на верхнюю пластину конденсатора $C_н$. В то время как диод V_2 не позволяет отрицательным зарядам перетекать на нижнюю пластину конденсатора $C_н$.
Одновременно с зарядкой верхней пластины конденсатора $C_н$ отрицательными зарядами под действие её квазиэлектростатического поля индуцируются заряды противоположного знака на нижней пластины конденсатора $C_н$ на той её части, которая обращена к верхней пластине конденсатора $C_н$. а отрицательные – на противоположной стороне.

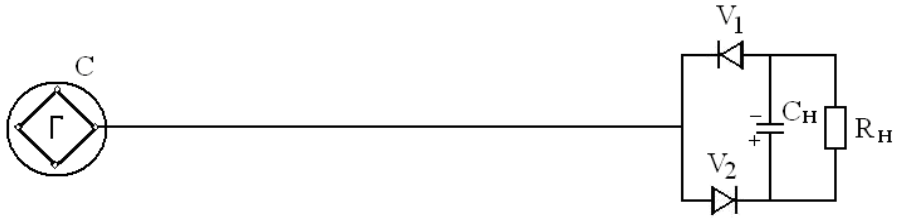


Рисунок 5 - Схема передачи электрической энергии на переменном токе по однопроводной линии, предложенная Авраменко С.В. в 1992 году [5].

После окончания процесса зарядки до некоторого потенциала, генератор *Г* начнёт вырабатывать положительные заряды, компенсируя ими отрицательные заряды поверхности *С* повышая её потенциал от отрицательного значения до нуля. Одновременно будут скомпенсированы и отрицательные заряды, индуцированные на внешней стороне нижней пластины конденсатора $C_н$. Поскольку диод V_2 включён таким образом, что отрицательные заряды могут стекать с нижней пластины конденсатора $C_н$ на проводник *С*. В то же время диод V_1 не позволяет отрицательным зарядам стекать с верхней пластины конденсатора $C_н$ на проводник *С*, и поэтому отрицательный заряд верхней пластины конденсатора $C_н$ не изменяется. Если активное сопротивление нагрузки соизмеримо с внутренним сопротивлением утечки взаимной ёмкости пластин, то нагрузку можно подключать непосредственно к пластинам конденсатора, как это показано на рисунке 5. [5].

Электрическая схема РС с двумя высокочастотными (ВЧ) трансформаторами показана на рисунке 6.

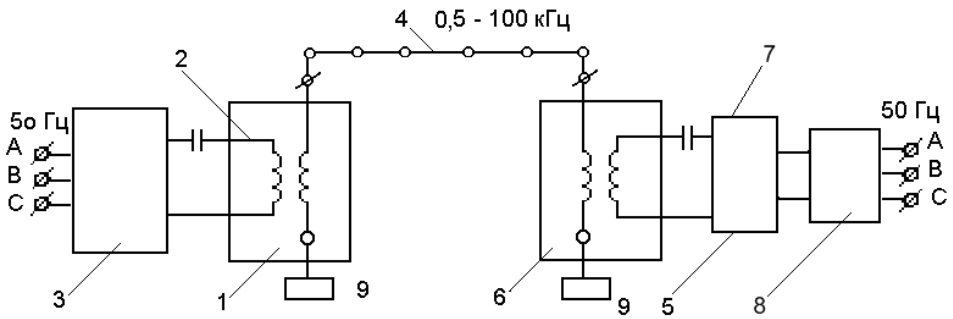


Рисунок 6 - Однопроводная резонансная система передачи электрической энергии.

1. Повышающий ВЧ трансформатор. 2. Резонансный контур. 3. Преобразователь частоты. 4. Однопроводная линия. 5. Резонансный контур. 6. Понижающий ВЧ трансформатор. 7. Выпрямитель. 8. Инвертор. 9. Естественная ёмкость.

Последовательный резонансный контур 2 в начале линии со стороны генератора, состоящий из первичной обмотки повышающего высокочастотного трансформатора 1 и батареи конденсаторов, подключён к выходу статического преобразователя частоты 1. Резонансный контур 5, в конце линии состоит из последовательно соединенных батареи конденсаторов и низковольтной обмотки понижающего высокочастотного трансформатора Тесла 4 [7-10].

Отличительными особенностями высокочастотных трансформаторов от трансформаторов 10/0,4 кВ, 50 Гц является асимметрия потенциалов на выводах высоковольтной обмотки относительно Земли, отсутствие трансформаторного масла и сердечника. Преобразователь выдаёт напряжение и ток синусоидальной формы. Длина цепи, состоящей из двух длин высоковольтных обмоток повышающего и понижающего трансформаторов и длины однопроводной линии, равна целому числу полуволн. Потенциал наружных выводов высоковольтной обмотки каждого трансформатора равен нулю. Эти выводы можно заземлить и соединить их с прилегающими выводами низковольтной обмотки. Это повышает электробезопасность устройства, но не сказывается на величине передаваемой мощности.

Используются два высокочастотных трансформатора: один установлен в начале однопроводной линии, второй - у потребителя, а к естественной ёмкости присоединены высоковольтная или низковольтная обмотка понижающего высокочастотного трансформатора. В качестве естественной ёмкости используют изолированное проводящее тело или землю. Цепь нагрузки образует параллельную цепь по отношению к цепи тока, идущего через низковольтную и/или высоковольтную обмотку в естественную ёмкость, т. е. ток идет в естественную ёмкость, частично минуя нагрузку. При этом электрическая энергия, идущая на перезарядку естественной ёмкости, используется в нагрузке лишь частично.

Данная схема может работать только с постоянной нагрузкой, когда всё согласовано. В большинстве случаев нужны схемы, работающие с постоянно изменяющейся нагрузкой.

Рассмотрим резонансную волноводную электрическую систему, у которой на выходе вместо высокочастотного трансформатора установлен диодно-конденсаторный блок (рис. 7) [6].

Электрическая энергия из генератора высокой частоты 1 на рис. 7 поступает в повышающий высокочастотный трансформатор Тесла 2. Резонансные колебания электромагнитной энергии передаются на диодно-конденсаторный блок 4. Потенциал одного из выводов высоковольтной обмотки трансформатора 2 повышается и передаётся по однопроводной линии 3 на один из входов однофазного мостового выпрямителя 4. Потенциал второго вывода 5 высоковольтной обмотки трансформатора Тесла 2 равен нулю, поэтому этот вывод соединяют с низковольтной обмоткой 6 трансформатора Тесла 2 и с землей.

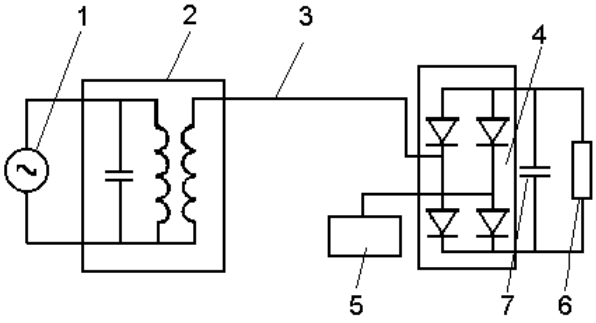


Рисунок 7 - Схема передачи электрической энергии с диодно-конденсаторным блоком.

1. Генератор. 2. Повышающий резонансный контур. 3. Линия. 4. Преобразовательный мост. 5. Естественная ёмкость. 6. Нагрузка. 7. Конденсатор выпрямителя.

Схема с диодно-конденсаторным блоком в приёмной части практичный, модернизированный вариант схемы «Вилка Авраменко». На нагрузке 6 и конденсаторе нагрузки 7 получают выпрямленное постоянное напряжение. Для получения переменного напряжения стандартной частоты 50 Гц выпрямленное напряжение подают с конденсатора 9 на вход инвертора, в этом случае сопротивление нагрузки 8 устанавливают на выходе инвертора. Данный способ передачи электрической энергии может быть использован для питания любого числа N потребителей от одного генератора, для этого достаточно однопроводную линию 3 от трансформатора Тесла 2 присоединить к N однофазным мостовым выпрямителям [6,11,12].

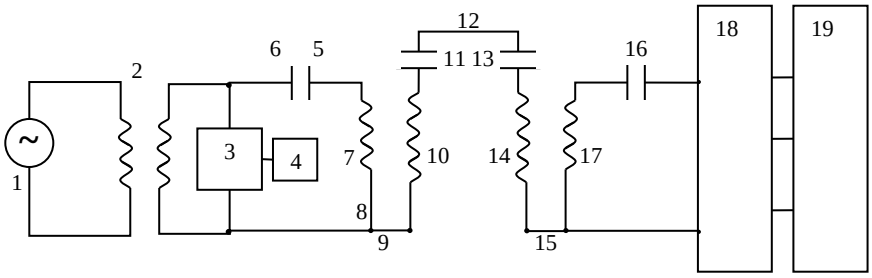


Рисунок 8 - Электрическая схема устройства для передачи электрической энергии с использованием однофазного генератора электрической энергии [6].

На рис. 8 представлена электрическая схема устройства для передачи электрической энергии с использованием однофазного генератора электрической энергии [6]. Однофазный электрический генератор 1 соединен с высоко-

вольтным трансформатором 2, к которому присоединен параллельно быстродействующий сильноточный коммутатор тока 3 с блоком управления 4, последовательный резонансный контур 6 с зарядной ёмкостью 5 C_0 и индуктивностью 7 L_0, которая является первичной обмоткой 8 резонансного высокочастотного повышающего трансформатора 9. Вторичная высоковольтная обмотка 10 высокочастотного повышающего трансформатора 9. Ёмкость резонансного контура 11 вторичной обмотки повышающего высокочастотного трансформатора 9. Однопроводниковая высоковольтная линия 12. Ёмкость резонансного контура 13 высоковольтной обмотки 14 резонансного высокочастотного понижающего трансформатора 15. Ёмкость резонансного контура 16 низковольтной обмотки 17 понижающего высокочастотного трансформатора 15. Инвертор18 и нагрузка 19.

Передача электрической энергии осуществляется следующим образом [6]. Электрическая энергия от генератора 1 поступает в высоковольтный трансформатор 2. Высокое напряжение с трансформатора 2 подают на коммутатор тока 3 и на последовательный резонансный контур 6, при этом происходит заряд конденсатора 5 с емкостью C_0. При увеличении напряжения на емкости C_0 блок управления 4 коммутатора 3 замыкает электроды коммутатора и емкость C_0 разряжается через коммутатор 3. Резонансные колебания с частотой $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}$ создают в цепи последовательного резонансного контура 6. На индуктивности L_0 возникает напряжение V_0, которое превышает выходное напряжение высоковольтного трансформатора 2 в Q раз, где $Q = \frac{L_0}{R_0}$ – добротность резонансного контура 6, а R_0 – активное сопротивление контура 6.

Ток разряда конденсатора через коммутатор тока 3 и первичную обмотку 8 создает магнитное поле в резонансном трансформаторе 9. Когда энергия магнитного поля трансформатора 9 достигнет максимального значения, блок управления 4 коммутатора тока 3 разорвет цепь коммутатора 3. Так как первичная обмотка резонансного трансформатора 9 будет разомкнута, энергия магнитного поля резонансного трансформатора 9 выделится в виде энергии электрического поля в резонансном контуре высоковольтной обмотки 10 резонансного трансформатора 9. Напряжение на высоковольтной однопроводниковой линии 12, которая соединена с высокопотенциальным выводом высоковольтной обмотки 10 резонансного трансформатора 9, составит:

$$V_Л = V_Г \cdot n_{T_2} \cdot Q \cdot n_{T_9}$$

где $V_Г$ – напряжение на генераторе;

n_{T_2} – коэффициент трансформации высоковольтного трансформатора 2;

Q – добротность контура; n_{T_9} – коэффициент трансформации резонансного трансформатора 9.

Принимая $V_Г$ = 400 В, n_{T_2} = 25, Q = 50, n_{T_9} = 40, получим напряжение на однопроводниковой линии 12 $V_Л$ = 20 млн В.

Электрическая энергия распределена в однопроводниковой линии 12 в виде стоячих волн тока и напряжения со сдвигом фаз между волнами тока и напряжения во времени и в пространстве. При длине линии 12 с учетом высоковольтных обмоток 10 и 14 высокочастотных трансформаторов 9 и 15, кратной четверти длины волны, линия 12 является последовательным резонансным контуром, а при длине линии 12, кратной целому числу полуволн, линия ведет себя как параллельный резонансный контур [В.1]. На конце однопроводниковой линии 12 возникают резонансные колебания с частотой f_0 в резонансных контурах высоковольтной 14 обмотки и низковольтной 17 обмотки понижающего трансформатора 15. Электрическая энергия из резонансных контуров поступает в инвертор 18 и в нагрузку 19. Высоковольтный трансформатор 2 служит для увеличения передаваемой мощности и длины однопроводниковой линии 12. Если электрическая мощность и расстояние между генератором 1 и нагрузкой 19 незначительные, высоковольтный трансформатор 2 может не использоваться. В этом случае связь между контурами осуществляется с помощью однопроводниковой волноводной линии [6].

На рис. 9 представлена электрическая схема устройства для передачи электрической энергии с использованием трехфазного генератора, управляемого выпрямителя и стабилизированного зарядного устройства, и однофазного высокочастотного трансформатора [6].

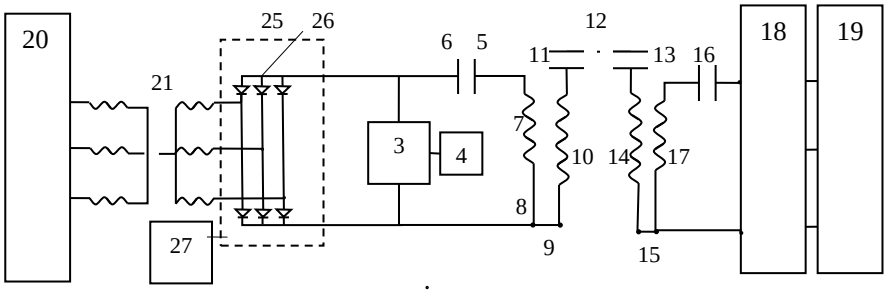


Рисунок 9. Схема устройства для передачи электрической энергии с использованием трёхфазного генератора, управляемого выпрямителя и стабилизированного зарядного устройства и однофазного высокочастотного трансформатора [6].

Трехфазный генератор 20 соединен с трехфазным трансформатором 21, у которого высоковольтные обмотки 22, 23, 24 соединены с управляемым зарядным электрическим аппаратом 25 с блоком выпрямления 26, регулирования и стабилизации напряжения 27. Зарядный аппарат 25 соединен параллельно с коммутатором тока 3 с блоком управления 4 и последовательный резонансный контур 6 с зарядной емкостью 5 C_0 и индуктивностью 7 L_0. Зарядный электрический аппарат 25 с блоком управления 27 имеет функции регулирования величины напряжения, выпрямления тока и стабилизации выходного напряжения [6].

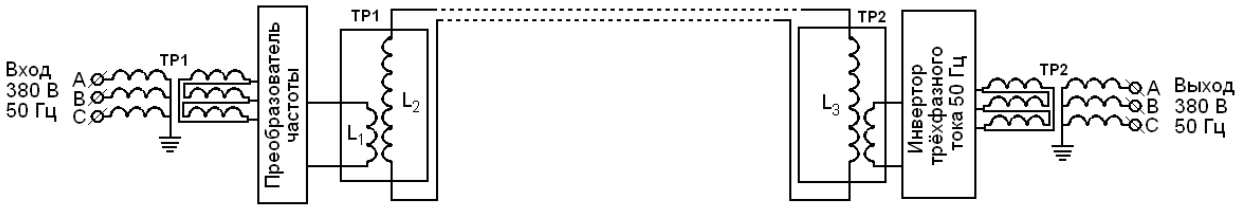


Рисунок 10 - Передача электрической энергии по одножильному коаксиальному кабелю на повышенной частоте.

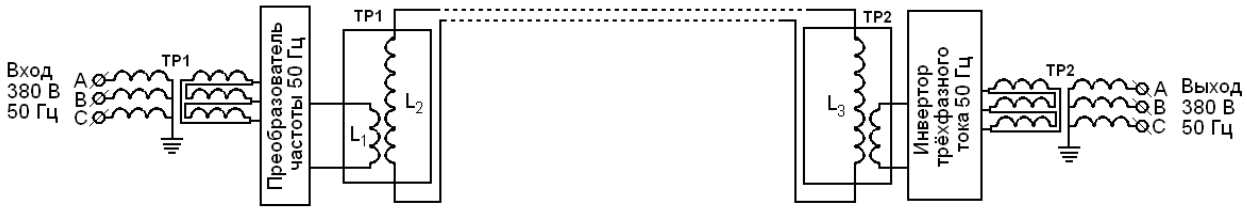


Рисунок 11 - Передача электрической энергии по одножильному коаксиальному кабелю на частоте 50 Гц.

Принцип передачи электроэнергии по одножильному коаксиальному кабелю на повышенной частоте рис. 10 и одножильному коаксиальному кабелю на частоте 50 Гц рис. 11 один и тот же. Этот это сопоставление показывает, что благодаря революционному развитию электронике приходит время революционному изменению в энергетике, в частности в передачи электрической энергии на расстояние. Появляется возможности передавать электроэнергию на любой частоте, что в свою очередь даёт возможность передавать электроэнергию по одножильному кабелю вместо четырёхжильного кабеля. Кабельная линия общеизвестно, обладает бесспорным преимуществом перед воздушными линиями электропередачи. Преобразователь частоты, передающий электроэнергию в трансформатор, а затем в линию имеет обратную связь по напряжению в линии, что позволяет поддерживать постоянное напряжение в линии при изменении нагрузки у потребителя, что исключает появление перенапряжение в линии и её пробоя. Линия становится не «убиваемой». Повышенная частота позволяет создавать электрооборудования с меньшими габаритными размерами. На приёмной стороне линии стоит преобразователь с цифровой технологией, позволяющий получить нужную потребителю электроэнергию согласно ГОСТа. Современные трёхфазные электрические сети продолжают бороться и проводить мероприятия по улучшению качества электроэнергии.

Выводы:

1. Обзор по существующим и резонансным методам передачи электрической энергии показал, что существуют два основных способа передачи электроэнергии на постоянном и переменном токе. За время своего существования больше ста лет передачи на постоянном и переменном токе не претерпели принципиального изменения став современной благодаря современному электрооборудованию и элементной базы.

2. Передачи электроэнергии по одножильным кабельным линиям на частоте и в резонансном режиме способны стать линиями принципиально нового

поколения, материально дешевле, с существенно малыми затратами при монтаже, быть не убиваемыми, с минимальными потерями и хорошим качеством электроэнергии.

Источники литературы:

1. http://fazaa.ru/www.news.elteh.ru/arh/.
2. «Электричество» журнал № 5 май 1953г. Типография Госэнергоиздат Москва, Шлюзовая наб.,10., 1953г., 97 с.
3. Эбин Л.Е. Использования земли в качестве одного из проводов в сельских сетях. Диссертационная работа на соискание учёной степени доктора технических наук. ВИЭСХ. М., 1951г. с. 220.
4. Тесла Н. Статьи. Самара: Изд. дом «Агни», 2007.- 579с.
5. Авраменко С.В. Квазистатическое преобразование электрической энергии и её передача по однопроводной линии. / Электроснабжение сельского хозяйства. М.: ВИЭСХ, 1992.
6. Юферев Л.Ю., Стребков Д.С., Рощин О.А. Экспериментальные модели резонансных систем электрической энергии. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. 208 с.
7. Юферев Л.Ю., Рощин О.А., Александров Д.В. Основные проблемы и их устранение при проектировании РОС. Инновации в сельском хозяйстве. 2013. № 1 (3). С. 18-24.
8. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Верютии В.И., Рощин О.А., Юферев Л.Ю. Исследования однопроводниковой резонансной системы электроснабжения. Достижения науки и техники АПК. 2007. № 6. С. 6-8.
9. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Юферев Л.Ю., Кармазин А.Н., Рощин О.А., Верютин В.И. Способ питания электрических транспортных средств и устройство для его осуществления. патент на изобретение RUS 2297928 13.10.2005
10. Юферев Л.Ю., Рощин О.А., Александров Д.В., Соколов А.В. Исследование резонансной системы передачи электроэнергии на повышенной частоте. Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 8 (148). С. 89-93.
11. Стребков Д.С., Рощин О.А., Юферев Л.Ю. Исследование резонансной системы передачи электрической энергии. Информационные ресурсы России. 2011. № 3 (121). С. 21-24.
12. Юферев Л.Ю., Рощин О.А. Резонансная система паркового освещения. Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 1 (16). С. 111-114.

References

1 http://fazaa.ru/www.news.elteh.ru/arh/.

2 EHlektrichestvo zhurnal 5 maj 1953g Tipografiya Gosehnergoizdat Moskva SHlyuzovaya nab 10 1953g 97 s

3 EHbin L E Ispolzovaniya zemli v kachestve odnogo iz provodov v selskih setyah [Use of land as one of the wires in rural networks]. Dissertacionnaya rabota na soiskanie uchyonoj stepeni doktora tekhnicheskih nauk VIEHSKH M 1951g s 220

4 Tesla N Stati [Tesla N. Articles]. Samara Izd dom Agni 2007 - 579s

5 Avramenko S V Kvazistaticheskoe preobrazovanie ehlektricheskoj ehnergii i eyo peredacha po odnoprovodnoj linii EHlektrosnabzhenie selskogo hozyajstva [Quasistatic conversion of electrical energy and its transmission through a single-wire line] M VIEHSKH 1992

6 YUferev L YU Strebkov D S Roshchin O A EHksperimentalnye modeli rezonansnyh sistem ehlektricheskoj ehnergii [Experimental models of resonant systems of electrical energy] M GNU VIEHSKH 2010 208 s

7 YUferev L YU Roshchin O A Aleksandrov D V Osnovnye problemy i ih ustranenie pri proektirovanii ROS [The main problems and their elimination when designing ROS]. Innovacii v selskom hozyajstve 2013 1 3 S 18-24

8 Strebkov D S Nekrasov A I Veryutii V I Roshchin O A YUferev L YU Issledovaniya odnoprovodnikovoj rezonansnoj sistemy ehlektrosnabzheniya [Studies of single-conductor resonant power supply system]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK 2007 6 S 6-8

9 Strebkov D S Nekrasov A I YUferev L YU Karmazin A N Roshchin O A Veryutin V I Sposob pitaniya ehlektricheskih transportnyh sredstv i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [The method of powering electric vehicles and device for its implementation]. patent na izobretenie RUS 2297928 13 10 2005

10 YUferev L YU Roshchin O A. Aleksandrov D V Sokolov A V Issledovanie rezonansnoj sistemy peredachi ehlektroehnergii na povyshennoj chastote [The study of the resonant system of transmission of electricity at an increased frequency]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Alternativnaya ehnergetika i ehkologiya 2014 8 148 S 89-93

11 Strebkov D S Roshchin O A YUferev L YU Issledovanie rezonansnoj sistemy peredachi ehlektricheskoj ehnergii [The study of the resonant system of transmission of electric energy]. Informacionnye resursy Rossii 2011 3 121 S 21-24

12 YUferev L YU Roshchin O A. Rezonansnaya sistema parkovogo osveshcheniya [Resonance Park Lighting System]. Innovacii v selskom hozyajstve 2016 1 16 S 111-114

УДК 635.012

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИЛОЖЕНИЯ ПЭЭС ДЛЯ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ ПРОДУКТИВНОСТИ В ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

THE RESULTS OF PRINCIPLE OF ENERGY EXTREMALITY OF SELF-ORGANIZATION APPLICATION RESEARCH FOR THE SCIENTIFIC THEORY OF PRODUCTIVITY IN ARTIFICIAL ECOSYSTEMS

А.П. ГРИШИН, *д-р техн. наук,* ***А.А. ГРИШИН,*** *канд. техн. наук,* ***В.А. ГРИШИН,*** *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

A.P. GRISHIN, *Dr. tech. sci.,* ***A.A. GRISHIN,*** *cand. tech. sci.,* ***V.A. GRISHIN,*** *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В основе научной теории продуктивности лежит принцип энергетической экстремальности самоорганизации и закон выживания, а именно скорость фотосинтеза зависит от температуры поверхности листа и имеет максимальное значение при определенной величине температуры, которая обеспечивается самоорганизующимся процессом испарительного охлаждения (ПИО) водой. Отмечено, что теплота регулируемого ПИО определяет процесс нагрева листа с последующим испарением воды, является неравновесным фазовым переходом в открытой нелинейной динамической системе терморегулирования растения, которая получает из внешней среды энергию в виде тепловой эксергии светового излучения (СИ), являющейся переменной порядка самоорганизующегося процесса транспирации. В качестве объекта исследований рассматривался ПИО культуры «земляника садовая» и его самоорганизующегося влияния на продуктивность. Отмечено, что значения температуры листа при действии СИ имеет случайные отклонения от матожидания (МО) и все они относятся к одной и той же величине. При малом СИ МО температуры листа имеет меньшую величину, чем оптимальная. При этом показано, что общий прирост массы за 27 часов: для режима с освещением по сравнению с режимом без освещения больше почти в 18 раз.*

Ключевые слова*: световое излучение, продуктивность растениеводства, нагрев листа, процесс испарительного охлаждения.*

Abstract*. The scientific theory of productivity is based on the principle of energy extremes of self-organization and the law of survival, namely, the rate of photosynthesis depends on the temperature of the leaf surface and has a maximum value at a certain temperature value, which is provided by self-organizing evaporative cooling (EC) water. that the heat of the regulated EC determines the process of heating the sheet with the subsequent evaporation of water, is a non-equilibrium phase transition in an open nonlinear dynamic the plant's thermal control system, which receives energy from the external environment in the form of thermal exergy of light radiation (LR), which is a variable of the order of the self-organizing transpiration process. The object of the research was considered the EC of the culture "garden strawberry" and its self-organizing effect on productivity. It is noted that the values of the temperature of the sheet under the action of the SI has random deviations from the expectation and they all refer to the same value. With a small LR, the expectation of the sheet temperature is smaller than the optimum. It is shown that the total weight gain in 27 hours: for the mode with lighting compared to the mode without lighting more than 18 times more.*

Keywords*: light radiation, crop production, sheet heating, evaporative cooling process.*

Введение. В основе научной теории продуктивности лежит: принцип энергетической экстремальности самоорганизации (ПЭЭС), и закон выживания

(ЗВ) сформулированные И.И. Свентицким и заключающийся в том, что растение для своего развития и роста стремится максимально использовать свободную доступную часть энергии светового излучения, называемой фотосинтезной эксергией [1,2]. Скорость фотосинтеза зависит от температуры поверхности листа и имеет максимальное значение при определенной величине температуры, которая обеспечивается самоорганизующимся процессом испарительного охлаждения (ПИО) водой на поверхности растения. На этот процесс у растений расходуется до 95% всей потребляемой воды [8-10].

Нагрев листа в зависимости от прихода суммарной энергии светового излучения (СИ) – $\boldsymbol{E}$ происходит в процессе преобразования в тепловую энергию той её части, которая является тепловой эксергией СИ – $\boldsymbol{Э_т}$. Она может быть определена исходя из величины спектральной эффективности теплового действия на растение – $\boldsymbol{K(\lambda)_т}$, равного разности полной спектральной интенсивности СИ – $\boldsymbol{\varphi(\lambda)}$ и спектральной эффективности фотосинтеза – $\boldsymbol{K(\lambda)_ф}$, по формуле:

$$E_m = \int_{\lambda_1=300}^{\lambda_2=2000} \varphi(\lambda) K(\lambda)_m d\lambda, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{K(\lambda)_т = \varphi(\lambda) - K(\lambda)_ф}$, $\boldsymbol{\lambda_1}$ и $\boldsymbol{\lambda_2}$ – границы диапазона спектра СИ, поглощаемого растением [3].

Именно эта величина тепловой эксергии и должна быть скомпенсирована в процессе испарения воды с поверхности листа и снижения температуры на величину $\boldsymbol{\Delta T_о}$.

Основное назначение ПИО заключается в снижении температуры листа растения – $\boldsymbol{t_л}$, воспринимающего суммарную энергию светового излучения – $\boldsymbol{E}$, и приближении её к температурному оптимуму фотосинтеза – $\boldsymbol{t_о}$, что в свою очередь направлено на достижение максимальной продуктивности или урожая [4,5]. Снижение температуры листа на величину разности двух значений температур – $\boldsymbol{\Delta T_о = t_л - t_о}$ обеспечивает увеличение скорости фотосинтеза и с одновременным попутным накоплением и расходованием во время испарения дополнительной эксергии теплоты $\boldsymbol{\Delta e_T}$, которая и обуславливает энергетический градиент ПИО.

Количество охлаждающей воды за некоторый период времени определяется выражением [5,6]:

$$q_T = \frac{(t_л - t_о) M_л C_л}{r_в}, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{M_л}$ – общая масса листьев, $\boldsymbol{C_л}$ – удельная теплоемкость массы листьев, $\boldsymbol{r_в}$ – удельная теплота испарения воды.

Учитывая, что числитель выражения (2) определяет теплоту регулируемого ПИО нагрева листа с последующим испарением воды, то этот процесс является

неравновесным фазовым переходом в открытой нелинейной динамической системе терморегулирования растения, которая получает из внешней среды энергию в виде тепловой эксергии СИ, являющейся переменной порядка самоорганизующегося процесса транспирации [7]. При этом параметром управления самоорганизующегося процесса транспирации будет расход транспирации и параметры других сопутствующих процессов.

Таким образом, выражение для самоорганизующегося ПИО в виде взаимосвязи переменной порядка и параметра управления можно записать в виде:

$$\int_{\lambda_1=300}^{\lambda_2=2000} \varphi(\lambda) K(\lambda)_m \subset q_T r_в \,. \tag{3}$$

Эта зависимость определит экстремальную энергетическую целенаправленность самоорганизующегося ПИО согласно ПЭЭС.

Цель исследований – экспериментально показать энергетическую целенаправленность самоорганизующегося ПИО согласно ПЭЭС и его влияние на продуктивность в растениеводстве.

Объект и методы исследований.

В качестве объекта исследований рассмотрим ПИО культуры «земляника садовая» и его самоорганизующегося влияния на продуктивность.

В качестве основного показателя используется масса испаряемой воды с поверхности листа земляники под действием СИ красно-синего спектра и без него. Это позволяет получить два, для сравнения, крайних режима: с малой освещенностью и освещенностью *E = 12 клк*. Согласно ПЭЭС на поверхности листа в процессе самоорганизующегося ПИО будет поддерживаться постоянная температура, которая фиксируется пирометрическим термометром.

Корневая система земляники размещена в субстрате из кубика минеральной ваты размером 60х60х60 мм, в который в начале эксперимента добавлена вода в количестве 100 мл и который имеет изоляцию от внешней среды для исключения испарения воды из него. Тем самым созданы условия испарения воды только через растение. Кроме того, измерялись и фиксировались: температура воздуха, влажность субстрата, освещенность. Вся измерительная часть и регистрация данных на микроCD смонтирована на элементах базы платформы Ардуино.

Оценка продуктивности при освещенности и без её осуществлялась косвенным методом через расчет массы листьев по формуле (2), откуда:

$$M_л = \frac{q_Т \cdot r_в}{(t_л - t_o) \cdot c_л} \,. \tag{4}$$

При измерении температуры нагрева листа необходимо было исключить испарение воды с его поверхности любым доступным способом. При этом измеренная температура составила 30,25 °С.

Фиксация измеряемых параметров производилась через каждые 5 минут в течении 5 суток, однако ввиду большого объёма данных и затруднений при их обработке, были взяты временные ряды с часовыми интервалами.

Исследования проводились в следующей последовательности:

1. Измеренные значения температуры листа имели случайные отклонения, поэтому после определения матожидания (МО) временной ряд был подвергнут статистической обработке на предмет проверки гипотезы о случайности выборки, то есть об отсутствии существенного смещения от МО методом последовательных разностей. При этом вычисляются значения теоретического и фактического критериев. Если фактический превышает теоретический, то гипотеза считается правдоподобной. Таким образом, получаем подтверждение того, что растение поддерживает температуру листа и химическую реакцию фотосинтеза на постоянном оптимальном температурном уровне.
2. Имея временной ряд значений массы испаряемой воды и временной ряд температуры листа, по формуле (4) находим временной ряд изменения массы листьев для двух режимов: при освещении и без него (ночной режим).
3. По временным рядам изменения массы листьев находим линию тренда и по параметрам уравнения линии тренда проводим анализ изменения продуктивности растения.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований сведем в таблицу.

Таблица

Результаты исследований

Характеристика	**Значения характеристик при действии СИ**	**Значения характеристик с малым СИ**
МО температуры листа, ^{0}С	*25,4*	*21,15*
Теоретический критерий проверки гипотезы	*0,32*	*0,62*
Фактический критерий проверки гипотезы	*0,53*	*0,10*
Уравнение линии тренда временного ряда изменения массы листьев	$\Delta M_л = 0{,}002t+0{,}095$	$\Delta M_л = 0{,}0002t+0{,}0027$
Прирост массы листьев за 27 часов, г	*3,04*	*0,17*

Анализируя значения характеристик из таблицы можно сделать следующие

выводы.

Так как значения температуры листа при действии СИ имеет случайные отклонения от МО и все они относятся к одной и той же величине (значение фактического критерия больше значения теоретического критерия), то температуру листа равную 25,4 ºС можно считать постоянной и равной оптимальной для максимума фотосинтеза.

Иные результаты мы видим при малом СИ. МО температуры листа имеет меньшую величину, чем оптимальная, значения критериев говорят о том, что остальные величины во временном ряде температуры листа не относятся к вычисленному МО, то есть не являются случайными.

Анализируя уравнения линий трендов временных рядов изменений массы листьев видим, что линии имеют положительные коэффициенты при параметре «время», то есть в обоих режимах идет рост массы листьев, но при освещении коэффициент на порядок больше, а значит рост идет быстрее. Это подтверждает и общий прирост массы за 27 часов: для режима с освещением он больше почти в 18 раз.

Таким образом, самоорганизующийся ПОИ стабилизирует температуру листа растения на уровне максимума фотосинтеза, позволяя растению, согласно ПЭЭС, максимально использовать свободную доступную часть энергии светового излучения для своего развития и роста, а, следовательно, и выживания.

Выводы

1. Для культуры «земляника садовая» получено экспериментальное подтверждение правомерности ПЭЭС и ЗВ.
2. Самоорганизующийся ПОИ стабилизирует температуру листа растения на уровне 25,4 ºС, что соответствует максимуму фотосинтеза, позволяя растению, согласно ПЭЭС, максимально использовать свободную доступную часть энергии светового излучения для своего развития, роста и выживания.
3. Так продуктивность листовой зеленой массы при этом возросла в18 раз по сравнению с режимом, характеризуемым средней температурой листа 21,15 ºС.

Список литературы:

1. Свентицкий И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации. – М.: ГНУ ВИЭСХ 2007.
2. Гришин А.А., Гришин А.П. Самоорганизация процесса транспирации у растений // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике». Часть 2. М.: ВИЭСХ, 2010, с. 90-98.
3. Свентицкий И.И., Боков Г.С., Антонинова М.В. Системный анализ потоков энергии в агроценозах. Методические рекомендации // Биофотометрия и экологическая биоэнергетика. Пущино. Научный центр биологических исследований АН СССР, 1982.

4. Гришин А.П. Повышение эффективности биоконверсии солнечной энергии в растениеводстве // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике». Часть 2. М.: ВИЭСХ, 2010, с. 99-109.

5. Мудрик В.А., Свентицкий И.И. Биоэнергетические аспекты оценки влагообеспеченности растений. Пущино, Пущинский центр биологических исследований АН СССР, 1981.

6. Гришин А.П. Приложения синергетики и эксергетического анализа в растениеводстве // Вестник ГНУ ВИЭСХ. Энергетика и электротехнологии в сельском хозяйстве. Научный журнал. Выпуск 1(4). М: ВИЭСХ, 2009, с. 72-78.

7. Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Результаты исследований влияния биоэнергетических факторов на повышение урожайности в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. N2. С. 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-19-25.

8. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.

9. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 1. С. 13-16.

10. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmanov D.K, Salginbayev D.B., Vasilyev A.A Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. International Journal of Pharmacy & Technology/Dec-2016 . Vol. 8. Issue No.4. 26855-26869

References

1. Sventickij I.I. EHnergosberezhenie v APK i ehnergeticheskaya ehkstremal'nost' samoorganizacii [Energy saving in the agro-industrial complex and energy extreme self-organization]. – M.: GNU VIEHSKH 2007.

2. Grishin A.A., Grishin A.P. Samoorganizaciya processa transpiracii u rastenij [Self-organization of the transpiration process in plants] // EHnergoobespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve. Trudy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «EHnergosberegayushchie tekhnologii v rastenievodstve i mobil'noj ehnergetike». CHast' 2. M.: VIEHSKH, 2010, s. 90-98.

3. Sventickij I.I., Bokov G.S., Antoninova M.V. Sistemnyj analiz potokov ehnergii v agrocenozah. Metodicheskie rekomendacii [System analysis of energy flows in agrocenoses. Guidelines] // Biofotometriya i ehkologicheskaya bioehnergetika. Pushchino. Nauchnyj centr biologicheskih issledovanij AN SSSR, 1982.

4. Grishin A.P. Povyshenie ehffektivnosti biokonversii solnechnoj ehnergii v rastenievodstve [Improving the efficiency of bioconversion of solar energy in crop production] // EHnergoobespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve. Trudy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «EHnergosberegayushchie tekhnologii v rastenievodstve i mobil'noj ehnergetike». CHast' 2. M.: VIEHSKH, 2010, s. 99-109.

5. Mudrik V.A., Sventickij I.I. Bioehnergeticheskie aspekty ocenki vlagoobespechennosti rastenij [Bioenergetic aspects of plant moisture assessment]. Pushchino, Pushchinskij centr biologicheskih issledovanij AN SSSR, 1981.

6. Grishin A.P. Prilozheniya sinergetiki i ehksergeticheskogo analiza v rastenievodstve [Synergistic and exergy analysis applications in plant growing] // Vestnik GNU VIEHSKH. EHnergetika i ehlektrotekhnologii v sel'skom hozyajstve. Nauchnyj zhurnal. Vypusk 1(4). M: VIEHSKH, 2009, s. 72-78.

7. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Rezul'taty issledovanij vliyaniya bioehnergeticheskih faktorov na povyshenie urozhajnosti v rastenievodstve [The results of studies of the influence of bioenergy factors on increasing yields in crop production] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2018. T. 12. N2. S. 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-2-19-25.

8. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo voz-dejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, 115 p.

9. Strebkov D.S., YUferev L.YU., Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Povyshenie ehffektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems]. // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2014. № 1. S. 13-16.

10. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmanov D.K, Salginbayev D.B., Vasilyev A.A Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. International Journal of Pharmacy & Technology/Dec-2016 . Vol. 8. Issue No.4. 26855-26869

УДК 631.432.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

REGULARITIES OF THE EFFECT OF MOISTURE ON MOISTURE IMPACT OF PLANTS IN ARTIFICIAL ECOSYSTEMS

А.П. ГРИШИН, *д-р техн. наук,* ***А.А. ГРИШИН,*** *канд. техн. наук,* ***В.А. ГРИШИН,*** *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

A.P. GRISHIN, *Dr. tech. sci.,* ***A.A. GRISHIN,*** *cand. tech. sci.,* ***V.A. GRISHIN,*** *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Одним из основных показателей агрофизического и агроклиматического состояния почвы является содержание в почве воды, ее количество на единицу массы или объема почвы – влажность почвы. Целью исследований статьи является получение зависимости количества воды в субстрате от его влажности, необходимую для её применения в алгоритме управления роботом мелиорирования. Исследования показали, что полученные значения имеют случайные отклонения, а в качестве искомой зависимости принято уравнение линии тренда и с помощью метода последовательных разностей показано, что отклонения носят случайный характер, а уравнение линии тренда является искомой зависимостью. Отмечено, что получено аналитическое выражение зависимости количества воды (питательного раствора) в субстрате от влажности в нем, что позволяет применять полученную математическую зависимость в программном обеспечении управления поливом в гидромелиорируемом роботе «Гидробот – 1». Эмпирические данные имеют отклонения от аналитического выражения, которые носят случайный характер.*

Ключевые слова*: влажность, субстрат, влагообеспеченность, растение.*

Abstract*. One of the main indicators of the agrophysical and agroclimatic condition of the soil is the water content in the soil, its quantity per unit mass or volume of the soil - soil moisture. The purpose of the research is to obtain the dependence of the amount of water in the substrate on its moisture content, which is necessary for its use in the algorithm for controlling the robot of reclamation. Studies have shown that the obtained values have random deviations, and the trend line equation is taken as the desired dependence and using the method of successive differences it is shown that the deviations are random, and the trend line equation is the desired dependence. It is noted that an analytical expression has been obtained of the dependence of the amount of water (nutrient solution) in a substrate on the humidity in it, which allows applying the obtained mathematical dependence in the irrigation management software in the hydro-reclaimed robot "Hydrobot-1". Empirical data have deviations from the analytical expression, which are random in nature.*

Keywords*: moisture, substrate, moisture supply, plant.*

Введение.

Основной источник воды для растений - почва, запасы воды в которой определяются климатом, количеством осадков, наличием грунтовых вод, конденсацией влаги воздуха. Попадающая в почву вода во время дождя или полива частично впитывается в нее, частично проходит через нее. Максимально

возможное накопление воды в почве - полная полевая влагоемкость (ППВ), характеризует ее водоудерживающую способность.

В большинстве случаев влагообеспеченность растений определяют, как разность между испаряемостью – е0 и фактическим испарением – е.

В общем считается наиболее целесообразным поддерживать влажность почвы в пределах от 50 до 80 % ПВ в зависимости, как было только что сказано, от биологических особенностей растения, фазы его онтогенеза, уровня агротехники, почвенно-гидрологических и климатических условий.

В то же время, если проводить поливы слишком часто, поливная вода будет расходоваться неэкономно и, что особенно опасно, может произойти чрезмерное уплотнение или даже заболачивание субстрата, а сплошь и рядом его засоление. Засоление — при неправильном пользовании поливной водой — является частым спутником орошения, из-за него иногда приходится забрасывать обширные площади ранее плодородных земель. При переувлажнении почвы из ее пор вытесняется воздух, что неблагоприятно сказывается на росте, поглотительной деятельности корней и их метаболизме [1-5].

Одним из основных показателей агрофизического и агроклиматического состояния почвы является содержание в почве воды, ее количество на единицу массы или объема почвы – влажность почвы.

Процессы переноса вещества и энергии, формирование условий существования и питания растений (доступность питательных элементов и их концентрация), газовый режим почв, значения агрофизических показателей – все это определяется влажностью почв или зависит от нее.

Для всех вышеупомянутых показателей общими являются следующие особенности [6]:

– они основаны на усредненных климатических показателях за период вегетации или на средних многолетних показателях, которые не учитывают влагообеспеченности растения в динамике и недостаточно характеризуют сезонные особенности климата;

– эти показатели применяются для характеристик сравнительно больших территорий, расчеты их громоздки и трудоемки, а исходные данные для расчетов труднодоступны и не всегда надежны;

– существующие показатели влагообеспеченности по существу определяются чисто физическими величинами, которыми не учитываются свойства растений как живых организмов, способных к авторегуляции и адаптации;

– эти показатели недостаточно отражают потребность растений во влаге, исходя из которой можно обосновать в строгом понимании влагообеспеченность растений путем сравнения ресурсов влаги с потребностью растений в ней.

Можно считать, что потребность растений в воде будет определяться тем ее количеством, которое необходимо израсходовать на транспирацию, чтобы испарительным охлаждением снизить температуру листа растения до значения температурного оптимума фотосинтеза.

Цель исследований – получить зависимость количества воды в субстрате от его влажности $Q_{исп}(H_п)$ необходимую для её применения в алгоритме управления роботом мелиорирования. Поскольку в практике орошаемого земледелия в общем считается наиболее целесообразным поддерживать влажность почвы в пределах от 50 до 80 % [7], то целесообразно получить зависимость в этих пределах влажности, чтобы сузить диапазон и повысить точность замеров.

Объект и методы исследований

В качестве субстрата будем использовать кубик минеральной ваты размером 100x100x70 весом 93 г, предварительно напитав его питательным раствором. Влажность почвы измеряем регистратором, собранном на платформе Ардуино.

Кубик помещаем под светильник на весы, подключенные к компьютеру и получаем временные ряды изменения массы кубика и его влажности. Используя эти данные, находим зависимость количества испаряемой воды от влажности. Поскольку значения имеют случайные отклонения, то в качестве искомой зависимости примем уравнение линии тренда и с помощью метода последовательных разностей показываем, что отклонения носят случайный характер, а уравнение линии тренда является искомой зависимостью.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты оформим в виде таблицы 1.

Таблица 1. Определение зависимости $Q_{исп}(H_п)$

Показатели	**Значения показателей**
Аналитическое выражение	$Q_{исп} = 2E\text{-}09e^{0,3678Hп}$
Фактический критерий согласия	0,63
Теоретический критерий согласия	0,32

Поскольку фактический критерий имеет большую величину, то гипотезу о случайности отклонений величин испаряемой воды от линии тренда можно считать правдоподобной.

Выводы

1. Получено аналитическое выражение зависимости количества воды (питательного раствора) в субстрате от влажности в нем, что позволяет применять полученную математическую зависимость в программном

обеспечении управления поливом в гидромелиорируемом роботе «Гидробот – 1».

2. Эмперические данные имеют отклонения от аналитического выражения, которые носят случайный характер.

Список литературы

1. Жолкевич В.Н., Гусев Н.А., Капля А.В. и др. Водный обмен растений. – М.: Наука, 1989. – 256 с.

2. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.

3. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.

4. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 1. С. 13-16.

5. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmanov D.K, Salginbayev D.B., Vasilyev A.A Controlling reactions of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. International Journal of Pharmacy & Technology/Dec-2016 . Vol. 8. Issue No.4. 26855-26869

6. Мудрик В.А., Свентицкий И.И. Биоэнергетические аспекты оценки влагообеспеченности растений. Пущино, Пущинский центр биологических исследований АН СССР, 1981.

7. Петинов Н. *С.* Физиология орошаемых сельскохозяйственных растений. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 159 с. (14-е Тимирязев, чтение).

References

1. ZHolkevich V.N., Gusev N.A., Kaplya A.V. i dr. Vodnyj obmen rastenij [Water change of plants]. – M.: Nauka, 1989. – 256 s.

2. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo voz-dejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya

obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, 115 p.

3. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gu-sarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala voz-obnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye os-novy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonom-nyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki orga-nicheskih othodov. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Fede-ral'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, 198 p

4. Strebkov D.S., YUferev L.YU., Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Povyshenie ehffektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems]. // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2014. № 1. S. 13-16.

5. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmanov D.K, Salginbayev D.B., Vasilyev A.A Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. International Journal of Pharmacy & Technology/Dec-2016 . Vol. 8. Issue No.4. 26855-26869

6. Mudrik V.A., Sventickij I.I. Bioehnergeticheskie aspekty ocenki vlagoobespechennosti rastenij [Bioenergetic aspects of plant moisture assessment]. Pushchino, Pushchinskij centr biologicheskih issledovanij AN SSSR, 1981.

7. Petinov N. S. Fiziologiya oroshaemyh sel'skohozyajstvennyh rastenij [Physiology of irrigated agricultural plants]. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 159 s. (14-e Timiryazev, chtenie).

УДК 634.75

ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩАЯ (ФОТОСИНТЕЗНАЯ) ХАРАКТЕРИСТИКА (ЭПХ) ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

ENERGY-TRANSFORMING (PHOTOSYNTHICAL) CHARACTERISTIC OF A GARDEN GRANDER

А.П. ГРИШИН, *д-р техн. наук,* ***А.А. ГРИШИН,*** *канд. техн. наук,* ***В.А. ГРИШИН,*** *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

A.P. GRISHIN, *Dr. tech. sci.,* ***A.A. GRISHIN,*** *cand. tech. sci.,* ***V.A. GRISHIN,*** *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Целью исследований является получение энергопреобразующей характеристики (ЭПХ) культуры «земляника садовая» и последующей разработки алгоритма управления мелиоративным роботом в искусственной экосистеме. Был исследован приход энергии оптического излучения, той её части потенциально пригодной для фотосинтеза – фотосинтезной эксергии, в фотосинтезирующий аппарат растения. В процессе исследований кривая ЭПХ была представлена полиномом второй степени. Приравняв его производную к нулю, получили значение температуры соответствующую максимуму фотосинтеза. Значение этой температуры с разницей 1,2% отличается от значения полученного при исследованиях влияния процесса испарительного охлаждения на продуктивность той же культуры. Исследования показали, что аналитическое выражение ЭПХ культуры «земляника садовая» имеет максимум при температуре 25,1 ^{0}С, что соответствует максимуму фотосинтеза и величине аналогичного параметра полученного при исследованиях влияния процесса испарительного охлаждения на продуктивность той же культуры.*

Ключевые слова*: энергия оптического излучения, скорость фотосинтеза, продуктивность растения, энергопреобразующие характеристики (ЭПХ) растения.*

Abstract*. The aim of the research is to obtain the energy-transforming characteristics (ETC) of a garden strawberry culture and the subsequent development of a control algorithm for ameliorative robot in an artificial ecosystem. The arrival of the energy of optical radiation, that part of it potentially suitable for photosynthesis - photosynthetic exergy, into the photosynthesizing apparatus of the plant was investigated. In the process of research, the EHR curve was represented by a second-degree polynomial. Equating its derivative to zero, we obtained the temperature value corresponding to the maximum of photosynthesis. The value of this temperature with a difference of 1.2% differs from the value obtained in studies of the effect of evaporative cooling on the productivity of the same culture. Studies have shown that the analytical expression of the ETC of the "garden strawberry" culture has a maximum at a temperature of 25.1 ° C, which corresponds to the maximum of photosynthesis and the value of a similar parameter obtained in studies of the effect of evaporative cooling on the productivity of the same culture.*

Keywords*: optical radiation energy, photosynthesis rate, plant productivity, energy conversion characteristics of a plant.*

Введение. В процессе хозяйственной деятельности человеком создаются антропогенные (искусственные) экосистемы. Наиболее распространенной такой

экосистемой, где влияние окружающей среды почти полностью исключается, является теплица [1, 2].

Независимо от типа экосистемы поток энергии претерпевает следующее изменение: энергия оптического излучения в процессе химической реакции фотосинтеза переходит в химическую энергию углеводородов. Скорость потока преобразования энергии определяется скоростью фотосинтеза, что непосредственно влияет на продуктивность растения [3-5].

Зависимость скорости фотосинтеза от величин параметров внешних факторов определяет энергопреобразующие характеристики (ЭПХ) растения и оптимальную величину параметров, соответствующую максимуму скорости фотосинтеза. К ним относятся:

- интенсивность оптического излучения
- температура и влажность окружающего воздуха
- влагообеспеченность
- солевой состав питательного раствора
- концентрация CO_2

На рис. 2 и 3 представлены ЭПХ культуры огурца сорта «Эстафета» при различных температурах, концентрациях солевого состава и интенсивностях облучения (по Мудрику В.А.)

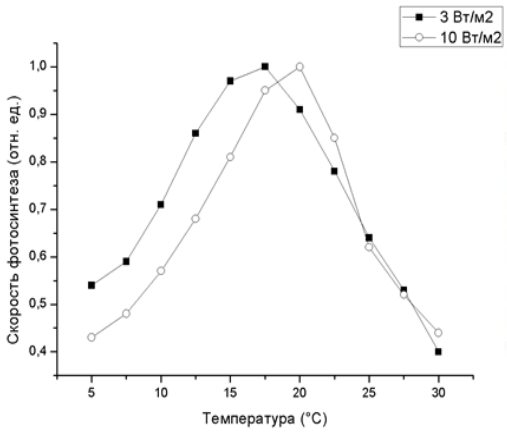


Рисунок 2

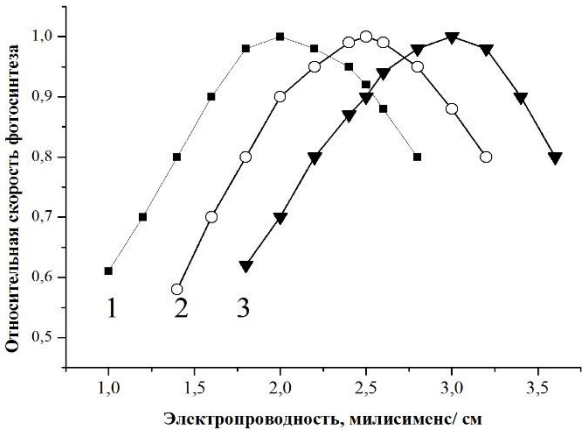


Рисунок 3

Внешние факторы (особенно климатические) оказывают ограничивающее воздействие на скорость фотосинтеза, а значит и на продуктивность растениеводства. Так при максимально возможной спектральной эффективности солнечного излучения при фотосинтезе, равной 21%, из-за действия ограничивающих факторов на фотосинтез идет лишь 1 %.

В искусственных экосистемах закрытого типа – вегетационные климатические камеры (ВКК), эту проблему возможно решить, обеспечивая оптимальные параметры внешних факторов автоматически по реакции растения,

характеризующей скорость фотосинтеза (контролируя концентрацию CO_2 и температуру листа).

При таком варианте, поддержание температуры и других параметров на оптимальном уровне будет производиться автоматически по сигналу датчиков, например, CO_2 и температуры, установленных на растении.

Растение само будет обеспечивать себя нужными условиями для максимальной скорости фотосинтеза.

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан ВКК – прототип машинного обеспечения арктических искусственных экосистем с полностью контролируемыми внешними факторами, где применена интеллектуальная система управления температурой на поверхности листа растения с помощью нечеткого регулятора, разработанного на основе аппарата нечеткой логики (fuzzy logic) [6].

Регулятор построен исходя из следующих предпосылок.

1. В наибольшей степени на скорость фотосинтеза влияет температура окружающей среды.
2. Контроль температуры на поверхности листа осуществляется бесконтактным пирометрическим датчиком температуры.
3. Температура поддерживалась на уровне соответствующем максимуму фотосинтеза.

Для разработки алгоритма управления и построения регулятора необходимо знать параметры ЭПХ.

В целях получения ЭПХ культуры «земляника садовая» и последующей разработки алгоритма управления мелиоративным роботом в искусственной экосистеме был исследован приход энергии оптического излучения, той её части потенциально пригодной для фотосинтеза – фотосинтезной эксергии, в фотосинтезирующий аппарат растения. Мелиоративный робот «Гидробот 1,0» предназначен для внесения дозы питательного раствора, рассчитанной индивидуально для каждого растения на основании данных мониторинга о растении таких параметров, как влажность и температура субстрата, влажность и температура воздуха, данных листового датчика о температуре листа, испарительного охлаждения, а также данных питательного раствора: pH и электропроводности.

Объект и методы исследований

В качестве объекта исследований рассмотрим энергетику фотосинтеза культуры «земляника садовая» и его влияния на продуктивность. В качестве показателя будем использовать величину **PPFD** (*Photosynthetic Photon Flux Dencity)* – плотность фотосинтетического потока фотонов. Число фотонов в секунду на один квадратный метр в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм ($\mu mol/c \cdot m^2$). В качестве исходной величины примем постоянную освещенность

культуры биспектральной лампой 36 Вт состоящей из 12 светодиодов по 3 Вт красного (660 нм) и синего (450 нм) цветов в соотношении 10:2.

Не существует общего коэффициента преобразования между фотонными измерениями и энергией или оптическими измерениями для излучений широкого диапазона частот. Однако, определенный коэффициент преобразования может быть определен для конкретного спектрального распределения излучения или длины волны.

Например, для источников света определенного класса такого, как биспектральная светодиодная лампа этот коэффициент можно принять как средний между коэффициентами синего и красного спектра. Это имеет практическую ценность, потому что обычные методы вычисления освещенности могут использоваться для проектирования освещения растений поскольку обычные или «спектр скорректированные» измерители освещенности могут использоваться для оценки уровеня PPFD [7].

Так для нашего источника имеет место такой коэффициент перевода 1 люкс = 0,015 микромоль·м$^{-2}$·с.

Далее имея данные эксперимента по освещенности рассчитываем PPFD, а затем фотосинтезную эксергию для культуры. Далее строим график ЭПХ для параметра температура листа этой культуры.

Необходимо заметить, что несмотря на постоянство освещения и температуры листа вследствие транспирационного испарения, имеют место быть случайные отклонения этих величин из-за случайных отклонений параметров внешней среды: движение воздуха, рост растения и приближение его к источнику света.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате математической обработки были получены следующие результаты, таблица1.

Кривая ЭПХ представлена полиномом второй степени. Приравняв его производную к нулю получили значение температуры соответствующую максимуму фотосинтеза. Значение этой температуры с разницей 1,2% отличается от значения полученного при исследованиях влияния процесса испарительного охлаждения на продуктивность той же культуры.

Таблица 1

Результаты исследований ЭПХ культуры «земляника садовая»

Параметры ЭПХ	**Значения**
Аналитическое выражение	$e_ф = -0{,}9975t^2 + 50{,}065t - 370{,}83$
Абсцисса максимума, ^{0}С	*25,1*

Выводы

Получено аналитическое выражение ЭПХ культуры «земляника садовая», имеющая максимум при температуре 25,1 ^{0}С, что соответствует максимуму фотосинтеза и величине аналогичного параметра полученного при исследованиях влияния процесса испарительного охлаждения на продуктивность той же культуры.

Список литературы

1. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 1. С. 13-16.
2. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmanov D.K, Salginbayev D.B., Vasilyev A.A Controlling reactions of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. International Journal of Pharmacy & Technology/Dec-2016 . Vol. 8. Issue No.4. 26855-26869
3. Измайлов А.Ю., Гришин А.П., Гришин А.А. Арктические адаптивные искусственные экосистемы – основа жизнеобеспечения человека // Materials of the XI International scientific and practical conference, «Science without borders», - 2015. (30 January - 07 February 2015, Sheffield UK Volume 19. Biological sciences. Geography and geology. Sheffield. Science and education LTD p.47-52 .
4. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.
5. Гришин А.П. Повышение эффективности биоконверсии солнечной энергии в растениеводстве // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике». Часть 2. М.: ВИЭСХ, 2010, с. 99-109.
6. Гришин А.П., Гришин А.А. Применение аппарата нечеткой логики для автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения // Efektivní nástroje moderních věd – 2014: Materiály X mezinárodní vědecko - praktická conference Díl 33. – Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2014. S. 45-56.
7. Микромоль вместо люкс'а // Электронный ресурс: www.sylvania.com, дата обращения 23.08.18.

References

1. Strebkov D.S., YUferev L.YU., Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Povyshenie ehffektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems]. // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2014. № 1. S. 13-16.

2. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmanov D.K, Salginbayev D.B., Vasilyev A.A Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. International Journal of Pharmacy & Technology/Dec-2016. Vol. 8. Issue No.4. 26855-26869

3. Izmajlov A.YU., Grishin A.P., Grishin A.A. Arkticheskie adaptivnye iskusstvennye ehkosistemy – osnova zhizneobespecheniya cheloveka [Arctic adaptive artificial ecosystems - the basis of human life support] // Materials of the XI International scientific and practical conference, «Science without borders», - 2015. (30 January - 07 February 2015, Sheffield UK Volume 19. Biological sciences. Geography and geology. Sheffield. Science and education LTD p.47-52

4. Vasilev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo voz-dejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, 115 p.

5. Grishin A.P. Povyshenie ehffektivnosti biokonversii solnechnoj ehnergii v rastenievodstve [Improving the efficiency of bioconversion of solar energy in crop production] // EHnergoobespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve. Trudy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «EHnergosberegayushchie tekhnologii v rastenievodstve i mobil'noj ehnergetike». CHast' 2. M.: VIEHSKH, 2010, s. 99-109.

6. Grishin A.P., Grishin A.A. Primenenie apparata nechetkoj logiki dlya avtomatizacii tekhnicheskih sredstv sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Use of the apparatus of fuzzy logic for the automation of technical means for agricultural purposes] // Efektivní nástroje moderních věd – 2014: Materiály X mezinárodní vědecko - praktická conference Díl 33. – Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2014. S. 45-56.

7. Mikromol' vmesto lyuks'a [Micromoles instead of luxury] // EHlektronnyj resurs: www.sylvania.com, data obrashcheniya 23.08.18.

УДК 911.3

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ КРЫМА

ABOUT THE USE OF RENEWABLE RESOURCES IN ENERGY SYSTEM OF CRIMEA

***М.Ю. БЕРЕЗКИН**, канд. географ. наук, **О.А. СИНЮГИН**, кандидат эконом. наук, Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

***M.YU. BEREZKIN**, candidate of geographical Sciences, **O.A. SINYUGIN**, candidate of economic Sciences, Lomonosov Moscow state University, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В статье рассматриваются современные аспекты использования возобновляемых энергоресурсов в энергосистеме Крыма. Компания «Крымэнерго» является основным поставщиком электроэнергии в регионе, ее программа развития основана на традиционных энергоресурсах а также на существующих мощностях возобновляемой энергетики (ВИЭ). Обсуждаются варианты электрогенерации с различной долей ВИЭ.*

***Ключевые слова**: Крым, энергетика, возобновляемые источники энергии.*

***Abstract**. The article discusses recent development in energy system of Crimean penninsula. "Krymenergo" company is the major energy supplier in this region. The impact of renewable sources of energy is being identified compared to traditional fossil fuels.*

***Keywords**: Crimea, energy system, renewable energy.*

Автономное энергообеспечение полуострова Крым – это реальная перспектива с основной электрогенерацией на природном газе и дополнительными мощностями на возобновляемых источниках энергии [1-5].

До 2014 г. обеспечением Крыма электроэнергией занималась украинская компания «Укрэнерго», которая поставляла с материковой части Украины в Крым порядка 85% электроэнергии, в основном по четырем ЛЭП общей пропускной способностью 1,25 ГВт. Генерирующие мощности – преимущественно такие крупные энергетические объекты Украины, как Запорожские ТЭС и АЭС, Херсонская ТЭЦ, Каховская ГЭС, а также Криворожская ТЭЦ. Потребителям ее доставляла крымская компания «Крымэнерго». За исключением небольших солнечных и ветряных электростанций, собственных источников энергии в Крыму не было, и около 1100 мегаватт мощности - составляли поставки с основной территории Украины.

В работе используются методы сравнительного и структурного анализа для выявления характеристик развития энергосистемы Крыма.

В настоящее время собственная генерация региона дает около 400 МВт [6]. В июле 2017 г. в крымской энергосистеме был достигнут исторический максимум летнего потребления — 1192 МВт. При общем потреблении 1,2 ГВт

Крым с помощью четырех малых ТЭЦ обеспечивает себя только на одну десятую потребности. С 2016 г. обеспечивается временная схема энергоснабжения четырьмя кабелями по 200 МВт каждый - с Таманского полуострова (энергомост). Полную энергетическую независимость Крыма должно обеспечить строительство по федеральной целевой программе двух тепловых электростанций в Севастополе и в Симферополе мощностью по 940 МВт.

Республика Крым обычно испытывает дефицит электроэнергии в зимнее время. Этот дефицит может быть от 200 до 300 МВт в пики нагрузки. В «Крымэнерго» формируются графики ограничений энергоснабжения, связанные с работой коммерческого сектора. Дефицит электроэнергии не затрагивает жилой сектор и социальные объекты на полуострове.

Энергетический дефицит вынуждает Крымскую автономию использовать не вполне надежные источники электричества, такие как ветряная энергия и солнечные батареи. Регион располагает солнечными станциями мощностью около 240 МВт и ветровыми мощностью около 60 МВт, но их выработка нестабильна, их коэффициент использования установленной мощности – порядка 10%.

В состав «Крымэнерго» входят следующие электростанции [6]:

Тепловые электростанции:

- Симферопольская ГРЭС (ТЭЦ) 40 МВт
- Севастопольская ГРЭС (ТЭЦ) 33 МВт
- Камышбурунская ГРЭС (Керченская ТЭЦ) 25 МВт
- ТЭЦ Сакского химического завода 10 МВт

Солнечные

- Солнечная электростанция "Перово" 105 МВт
- Солнечная электростанция "Охотниково" 80 МВт
- Солнечная электростанция "Митяево" 31,55 МВт
- Солнечная электростанция "Родниковое" 22,6 МВт

Ветровые

- Ветроэлектростанция «Водэнергоремналадка» 12,2 МВт
- Донузлавская ветроэлектростанция 10,9 МВт
- Сакская ветроэлектростанция 19 МВт
- Тарханкутская ветроэлектростанция 15,9 МВт

В летний период обычно задействуется больше мощностей, использующих энергию ветра и солнца.

Россия в 2014 г. начала организовывать энергоснабжение Крыма, поставив на полуостров мобильные газотурбинные электростанции (ГТЭС) общей мощностью более 200 МВт, установленные в Сочи на время зимней Олимпиады.

В 2013 году добыча газа крымской компанией «Черноморнефтегаз» достигла 1,65 миллиарда кубических метров. Крым потребляет менее миллиарда кубометров в год, демонстрируя положительный баланс, и до 2014 г. поставляла топливо на материковую часть Украины. При отсутствии

собственной нефтепереработки республика нуждается в поставках нефти и бензина, что и осуществляется морским путем.

В принципе, Крым самодостаточен с точки зрения нефтегазовых ресурсов. Так, прогнозные газовые ресурсы шельфа полуострова оцениваются величиной порядка 2 трлн. куб. м. Эти ресурсы могут быть использованы для покрытия дополнительного потребления в рамках социально-экономического развития республики и строительства новых генерирующих мощностей, работающих на газе.

Более 80% потребной ему пресной воды полуостров получает с материковой Украины из Каховского водохранилища по Северо-Крымскому каналу. Водообеспечение значительно влияет также и на энергобаланс Республики Крым.

В настоящее время российская компания «Технопромэкспорт» – структура «Ростеха» – строит в Крыму две парогазовые электростанции – в Симферополе и в Севастополе. Суммарная мощность составит 940 МВт каждая. Введение в эксплуатацию первых блоков по 470 МВт запланировано на 2018 г. На обеих ТЭС планировалось ставить турбины, сделанные по технологии Siemens, но в конце 2016 года компания блокировала поставки из-за санкций Евросоюза. На втором этапе до 2022 г., будет введено еще два блока такой же мощности.

Кроме этого, придется также расширить пропускную способность ЛЭП и подстанций как на российской стороне, так и от Керченского пролива до Ялты.

Затраты на создание собственных генерирующих мощностей на природном газе оцениваются в 50 млрд. руб. В целом, с учетом распределительных сетей, энергоснабжение и газификация Крыма обойдутся примерно в 90 - 100 млрд. рублей.

В 2017 г. Минэнерго РФ объявило о корректировке планов энергоснабжения Крыма. В качестве причины тогда был назван недооцененный рост спроса на энергию. На новой станции в Саках предполагается установить энергоблоки малой мощности, которые могут самостоятельно производить отечественные машиностроители. Объявлен конкурс на строительство электростанции в Крыму на 100–120 МВт в районе Саки, на западе Крыма. По механизмам конкурентного отбора мощности, помимо расширения генерации Сакской ТЭЦ, будет построена станция в Тамани мощностью 410 МВт.

Сейчас установленная мощность электростанций на ВИЭ в Крыму превышает установленную мощность электростанций на традиционном топливе в 2 раза – это последствие несбалансированных решений в прошлом. Теоретически, перспективная доля ВИЭ с учетом устойчивой работы общей энергосистемы может составлять не более 25-30% [7].

С учетом выбранной схемы развития, реальная доля возобновляемых ресурсов в энергосистеме Крыма не будет превышать 5% от общей величины производимого электричества. Строительство новых мощностей на ВИЭ представляется маловероятным.

Выводы.

- Крым самодостаточен с точки зрения нефтегазовых ресурсов. Так, прогнозные газовые ресурсы шельфа полуострова оцениваются величиной порядка 2 трлн. куб. м. Эти ресурсы могут быть использованы для покрытия дополнительного потребления в рамках социально-экономического развития республики и строительства новых генерирующих мощностей, работающих на газе.
- В Крыму ведется строительство двух парогазовых электростанций – в Симферополе и в Севастополе. Суммарная мощность составит 940 МВт каждая. Введение в эксплуатацию первых блоков по 470 МВт запланировано на 2018 г.
- Затраты на создание собственных генерирующих мощностей на природном газе оцениваются в 50 млрд. руб. В целом, с учетом распределительных сетей, энергоснабжение и газификация Крыма обойдутся примерно в 90-100 млрд. рублей.
- Сейчас установленная мощность электростанций на ВИЭ в Крыму превышает установленную мощность электростанций на традиционном топливе в 2 раза.
- С учетом выбранной схемы развития, реальная доля возобновляемых ресурсов в энергосистеме Крыма не будет превышать 5% от общей величины производимого электричества.

Список литературы

1. Стребков Д.С, Харченко В.В. Роль и место ВИЭ в развитии глобальной энергетики // Малая энергетика. 2011. № 3–3. с. 3–12.
2. Звягинцев Ю.М., Юферев Л.Ю. Система автономного электроснабжения фермерского хозяйства на территории АР КРЫМ. Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 1 (11). С. 100-103.
3. Кузнецов П.Н., Юферев Л.Ю. Применение фотоэлектрических водоподъемных установок для орошения в республике КРЫМ. Вестник ВИЭСХ. 2018. № 1 (30). С. 83-88.
4. Кувшинов В.В., Юферев Л.Ю. Использование термофотоэлектрических гелиопрофилей для аграрного сектора КРЫМА. Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 1 (26). С. 198-205.
5. Кувшинов В.В., Парахнич А.С., Юферев Л.Ю. Использование солнечных установок для обеспечения энергетической безопасности крымского региона и города Севастополя. Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 1 (26). С. 206-211.
6. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации / URL: https://minenergo.gov.ru/node/489 (дата обращения 21.05.2018).
7. Берёзкин М.Ю., Синюгин О.А., Соловьев А.А. География инноваций в сфере традиционной и возобновляемой энергетики мира. Вестник Московского университета. Серия 5. География, № 1, 2013. с.28-32.

References

1. Strebkov D.S, Harchenko V.V. Rol' i mesto VIEH v razvitii global'noj ehnergetiki [The role and place of renewable energy in the development of global energy] // Malaya ehnergetika. 2011. No 3–3. p. 3–12.
2. Zvyagincev YU.M., YUferev L.YU. Sistema avtonomnogo ehlektrosnabzheniya fermerskogo hozyajstva na territorii AR KRYM. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2015. № 1 (11). S. 100-103.

3. Kuznecov P.N., YUferev L.YU. Primenenie fotoehlektricheskih vodopod"emnyh ustanovok dlya orosheniya v respublike KRYM. Vestnik VIEHSKH. 2018. № 1 (30). S. 83-88.

4. Kuvshinov V.V., YUferev L.YU. Ispol'zovanie termofotoehlektricheskih gelioprofilej dlya agrarnogo sektora KRYMA. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2018. № 1 (26). S. 198-205.

5. Kuvshinov V.V., Parahnich A.S., YUferev L.YU. Ispol'zovanie solnechnyh ustanovok dlya obespecheniya ehnergeticheskoj bezopasnosti krymskogo regiona i goroda Sevastopolya. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2018. № 1 (26). S. 206-211.

6. Oficial'nyj sajt Ministerstva ehnergetiki Rossijskoj Federacii [Official website of the Ministry of Energy of the Russian Federation] / URL: https://minenergo.gov.ru/node/489 (data obrashcheniya 21.05.2018).

7. Beryozkin M.YU., Sinyugin O.A., Solov'ev A.A. Geografiya innovacij v sfere tradicionnoj i vozobnovlyaemoj ehnergetiki mira. [Geography of innovations in the field of traditional and renewable energy of the world]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, No 1, 2013. p.28-32.

УДК 631.1

ОБЗОР СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

OVERVIEW OF METHODS FOR OBTAINING ELECTRICITY FROM ORGANIC WASTE

***С.А. КАЧАН**, инженер, **И.М. ДОВЛАТОВ**, аспирант, младший научный сотрудник, **Л.Ю. ЮФЕРЕВ**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***S.A. KACHAN**, engineer, **I.M. DOVLATOV**, graduate student, Junior researcher, **L.YU. YUFEREV**, doctor of technical Sciences, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В статье рассматривается актуальная проблема переработки отходов сельскохозяйственных фермерских и промышленных предприятий, с высоким коэффициентом полезного действия, переводя без промежуточных звеньев биоорганические разлагаемые отходы в электрическую энергию, под действием анаэробных - бескислородных бактерий в микробном топливном элементе (МТЭ) с последующим потреблением для нужд агроинженерных коммуникаций и сооружений.*

В современном мире применяются известные промышленные электростанции для выработки электрической энергии: – это гидроэлектростанция (ГЭС), атомная электростанция (АЭС), тепловая электростанция (ТЭС), электростанция ветровая, жидкотопливные и газовые электростанции (ДВС), солнечная электростанция. Ко всем вышеперечисленным электростанциям в недалеком будущем уже наступившем настоящем присоединится дополнительно новая единица электростанции микробнотопливная электростанция (МТЭ), использующая в виде топлива биологически разлагаемые отходы.

Предлагается исследовать дополнительно новый вид электростанции, с побуждением технического прогресса, идущего в ногу со временем, утилизируя мусорные свалки, сточные воды, отходы животноводства и другие биоразлагаемые материалы, высвобождая энергетический потенциал из ничего не стоящих мусорных отходов. В добавлении ко всему, технологический процесс переработки сырья экологически чистый и безопасный для окружающей среды.

***Abstract**. The article deals with the urgent problem of processing waste from agricultural and industrial enterprises with a high coefficient of efficiency, transferring without bio-organic decomposable waste to electrical energy, under the influence of anaerobic - anoxic bacteria in a microbial fuel cell (MFE) with subsequent consumption for the needs of agroengineering communications and facilities.*

In the modern world, known industrial power plants for generating electric power are used: - this is the Hydroelectric Power Plant (HPP), the Nuclear Power Plant (NPP), the Thermal Power Plant (TPP), the Wind Power Plant, the Liquid Fuel and Gas Power Plants (DVS), the Solar Power Plant. In addition to all the above listed power stations, in the near future the presently added present will additionally be a new unit of the power plant Microbial Fuel Plant (MTE). - using biodegradable waste in the form of fuel.

It is proposed to investigate an additional type of power plant, with the motivation of technical progress keeping pace with the times, utilizing landfills, wastewater, livestock wastes and other biodegradable materials, releasing energy potential from worthless garbage. In addition to everything, the technological process of processing raw materials is environmentally friendly and safe for the environment.

Планируется проведение в лабораторных условиях на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ запуск экспериментальных установок, для выявления оптимальной конструкции получения электрической энергии согласно (Рис.1,2,3). А также в процессе изготовления и исследовании выявятся новые аспекты технологических решений, которые приведут к усовершенствованию подобного рода конструкции, технологического и биологического рода.

В последствие интеграции данное техническое решение все же перейдёт на промышленный уровень, то и вся стоимость энергоснабжения станет более доступнее, для потребителя и промышленных предприятий в целом страны.

Ключевые слова: *возобновляемая энергетика, микробный топливный элемент, утилизация отходов.*

It is planned to start experimental facilities in the laboratory on the basis of the FGBAC FNAC VIM to identify the optimal design for obtaining electrical energy according to (Fig. 1, 2, 3). And also in the process of manufacturing and research, new aspects of technological solutions will emerge that will lead to the improvement of this kind of construction, technological and biological kind. In the aftermath of integration, this technical solution will still go to the industrial level, then the entire cost of energy supply will become more affordable for the consumer and industrial enterprises in the whole country.

Keywords*: renewable energy, microbial fuel cell, waste treatment.*

В настоящее время на территории России остро стоит проблема утилизации отходов животноводческих ферм в свою очередь животноводство загрязняет земельные недра окружающей среды. Альтернативой является переработка отходов повсеместно. Внутри так называемых сооружений, которые представляют собой лагуны – котлованы, куда сбрасывается продукты жизнедеятельности животных, методом сбраживания отходов, является длительное хранение отходов животноводства в лагуне. В конечном результате органические соединения переходят в стадию разложения за счет грибковой и бактериальной формы. С течением времени превращаясь в чернозем, в последствие его используют в виде удобрения для развития сельскохозяйственного направления, такого как растениеводство. [1].

В декабре 2014 года Госдума приняла ФЗ-458 об отходах производства и потребления, который предписывал юрлицам и индивидуальным предпринимателям до 1 июля 2016-го сертифицировать деятельность по сбору, обработке, транспортировке и утилизации отходов 1-4 классов опасности.

Мелким товаропроизводителям сертификаты просто не по карману, так как стоимость лицензии начинается от 100 тыс. рублей до 1,5 млн рублей, а сама процедура сертификации долгая и сложная. [7].

На сегодняшний день по российским санитарным нормам сырье должно пройти стадию обеззараживания, то есть, переработка микроорганизмами в безопасное органическое удобрение, путем естественного биологического сбраживания всей массы, при этом процессе выделившийся газ улетучивается в атмосферу, при должном технологическом оснащении летучий газ может быть переработан с дальнейшим получением энергетического потенциала. В конечном итоге создается органическое удобрение, готовое для сельхозугодий. [2,3]. Но в свою очередь, технологическое проектирование морально устарели

(НТП 17−99). Существующие правила не предполагают использования новых технологий [13].

В данной статье будет предложено альтернативное получение электрической энергии при хранении продуктов жизнедеятельности в лагунах.

Первая выдвинутая теория о применении использования микроорганизмов по выработке электрической энергии, была выдвинута М.С. Поттером еще в 1911 г. Но широкого применения эта технология так и не приобрела по причине низкого коэффициента полезного действия.

В последние десятилетия о применении микробных топливных элементах стали задумываться об их технологическом внедрении. Элементы на основе наноуглеродных материалов вернулось с новым витком технического прогресса. Этой проблемой занимались такие известные институты как: Тульский государственный университет, Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН. [5]

С появлением новых высокотехнологичных материалов появилась возможность выделять значительно большее количество электрической мощности на 1 кг электродной массы.

В современном обществе начинается процесс активного поиска оптимальных технических решений для более эффективной работы МТЭ.

Дальнейшее развитие может быть более перспективным в области получения экологически чистой и доступной энергии в децентрализованной местности. Использование анаэробных бактерий для производства электроэнергии представляет собой новое направление в биоэнергетике. Микробные топливные элементы сокращенное название (МТЭ) представляют собой биоэлектроорганическую систему, работа которой основана на способности бактерий к разложению таких веществ, как органические соединения, отходы животноводства, мусорные свалки, сточные воды, ил пресноводных и морских водоносных слоев, а также и другая биоразлагаемая материя. [4]

Рассматривая известные зарекомендованные электростанции, перечисленные ниже, так же к ним в скором времени могут присоединится биоэлектростанций (МТЭ) работающие на отходах органических соединений. Рассмотрим каждую энергетическую станцию в отдельности, потребляющую свой вид топлива:

- ✓ гидроэлектростанции (ГЭС) – в качестве источника движения использует энергию водонапорных перепадов слоев водных масс, в своем роде зачастую используются природные условия в совокупности с техногенными вспомогательными техническими решениями;
- ✓ атомные электростанции (АЭС) — использующая для производства электрической энергии ядерный реактор. В ходе, которого происходит цепная реакция с выделением большого количества энергии в виде тепла;

✓ тепловые электростанции (ТЭС) — вырабатывают электрическую энергию за счет процесса сжигания различных углеводородных топливных сред (уголь, нефть, мазут, газ, сланцы, торф);

✓ жидкотопливные и газовые электростанции (ДВС) - основа использования лежит в применении двигателя внутреннего сгорания;

✓ солнечная электростанция - электростанция солнечных панелей, напрямую преобразовывает солнечную радиацию в электрическую мощность, без промежуточных звеньев;

✓ электростанция ветровая - извлечение электрической энергии происходит по средствам силы ветра, воздействуя на поверхность винтовых лопастей, передавая крутящий момент генераторной машине переменного тока.

Дополнительной альтернативой топлива для получения электрической энергии являются микробные топливные элементы, которые превращают органические вещества в энергию. Путем использования естественных процессов бактерий. Чтобы устранить растущий глобальный спрос на энергоресурсы, требуется источник альтернативной энергии. Микробные топливные элементы обладают большим потенциалом в качестве устойчивых и экологически чистых технологий преобразования биоэнергии, в электроэнергию, используя отходы в качестве сырья. Альтернативным источником получения электроэнергии в 21 веке вполне может является МТЭ.

Ознакомившись с доступной информацией и проанализировав работы многочисленных, учённых в сфере электрогенных бактерий, были выявлены три основных варианта микробного топливного элемента (Рис. 1,2,3).

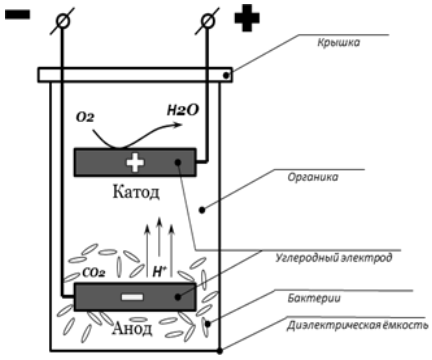


Рисунок 1

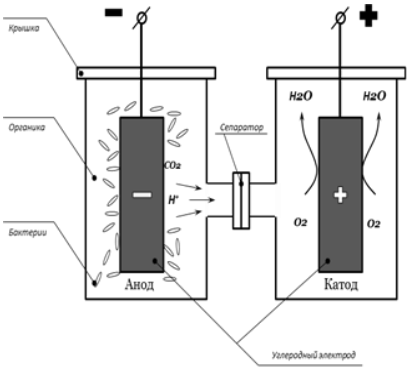


Рисунок 2

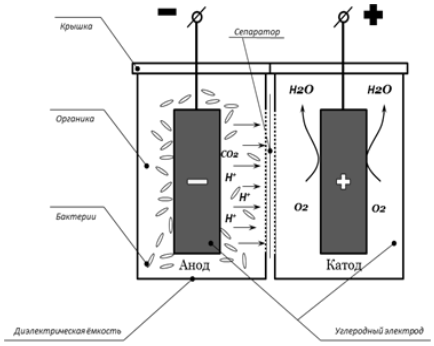


Рисунок 3

Рассматриваемый вид МТЭ электрогенерирующего устройства, выполнен из основных элементов - это анод и катод состоящего из углеродной основы, между двух электродов находится разделительный сепаратор, анодная камера находится в органической среде с активными бактериями в жидкой массе, катодный электрод постоянно соприкасается с атмосферными воздушными массами (кислородной среды), и соответственно увлажнен. Электроды выбраны не случайно из угольного состава, так как он имеет хорошую электропроводимость, высокую способность поглощать газообразные среды, в процессе взаимодействия со средой сохраняет свои свойства и не взаимодействует с органическими соединениями, так же не создает дискомфорт

бактериям, таким как из рода электрогенных бактерий: *Geobacter, Shewanella, Proteus, Pseudomonas*. [6]. Более, подробнее рассмотрим состав химических соединений элементов протекающих процессов. В микробных топливных элементах протоны и электроны образуются на аноде: $C_6H_{12}O_6 + H_2O \rightarrow CO_2 + H^+ + e^-$.

Клетки микроорганизмов генерируют электроны во время брожения, электроны захватываются в так называемых микробных топливных элементах (МТЭ).

На катоде же образуется молекулярный водород: $8H^+ + 8e^- \rightarrow 4H_2$. [12].

Этот механизм топливного элемента схож с водородным топливным элементом, принцип которого заключается в создании разницы потенциала двух газовых сред, водорода (H_2) и кислорода (O_2). Отличительной особенностью так же является высокая концентрация и давление газообразного топлива H_2 и O_2, а также в высокой стоимости топливного элемента, так как электроды состоят из пористого напыления платиновых групп, что удорожает подобного рода источник энергии. В нашем случае, основным источником является жизнедеятельность бескислородных аморфных бактерий, продуктом их деятельности проявляется выделение биогаза, метана, углекислого газ, сероводорода и др. сопутствующие химические элементы выделяющиеся при жизнедеятельности бактерий.

На основе проведённого литературного анализа были сформированы основные параметры, влияющие на повышение коэффициента полезного действия установки микробного топливного элемента:

* электролит;
* катализатор;
* площадь, толщина и масса электрода;
* питание бактерий органикой;
* температура;
* давление;
* штамп бактерий;
* термофильный и мезофильный тип бактерий;
* изготовление вертикального или горизонтального исполнения технической особенности;
* полимерная разделительная граница между анодом и катодом сепаратор;
* штамп бактерий, виды и подвиды;
* определение растений выбрасывающий максимальное количество кислорода, влияющее на выработку энергии (катодной камеры);
* подбор оптимального технического решения по максимальному току и напряжению.

Планируется проведение в лабораторных условиях на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ запуск экспериментальных установок, для выявления оптимальной конструкции получения электрической энергии согласно (Рис.1,2,3). При выведении наилучшего результата извлечения энергетической мощности. После сравнительного анализа всех 3-х установок при одинаковых

условиях: температурных характеристик, временного промежутка, атмосферного давления, объема электродных материалов и биологически разлагаемого материала в кг. Основываясь на показании электроизмерительной аппаратуры, выбор падет на самый эффективный экземпляр установки МТЭ, его в дальнейшем и будем модернизировать по вышеперечисленным факторам. Что в дальнейшем приведет к изготовлению маломощной электростанции, а в последствие выведение на промышленную модификацию биологически чистой электростанции.

Данное направление является весьма перспективным в современном обществе 21 века, так как получаемая электрическая энергия, извлекается путем утилизации отходных производств, включая в себя: отходы животноводческих ферм, сточные канализационные воды, продукты жизнедеятельности человека, мусорных свалки, а также любые органические соединения, потребляемые микроорганизмами. И в дополнение ко всему, отсутствие вредоносного воздействия на окружающую среду, сравнивая с электростанциями, потребляющими углеводороды.

В связи с этим решаются многие проблемы:

- ✓ утилизация биоразлагаемых отходов;
- ✓ получение электричества без промежуточных звеньев;
- ✓ конечный продукт – это удобрение для сельскохозяйственных нужд;
- ✓ уменьшение стоимости электроэнергии для фермерских хозяйств.

В последствие интеграции данное техническое решение все же перейдёт на промышленный уровень, то и вся стоимость энергоснабжения станет более доступнее для потребителя и промышленных предприятий в целом страны.

Список литературы:

1. Ворожцов О.В. Хранение и утилизация жидкого навоза в лагуне. Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы. 2014. С. 23-26.

2. Санжаровская М.И. Переработка отходов апк в органоминеральные удобрения и решение задач охраны труда. Инженерно-техническое обеспечение апк. реферативный журнал. ISSN: 1811-0134, 2008. № 2. С 467.

3. Карасевич В.А., Аверьянов В.К., Албул А.В., Киршина И.А., Шильников С.Е., Перспективы производства и использования биогаза. Наука и техника в газовой промышленности. ISSN: 2070-6820, 2012. № 3 (51) С. 52-59.

4. Жигула Е.А. Петухов В.И. Жигула Л.Д. Характеристика процессов переноса электронов между анодным микробиологическим консорциумом и анодом как ключевых факторов производительности микробного топливного элемента. Современные проблемы науки и образования. ISSN: 2070-7428. 2013 № 4 С. 362.

5. Алферов В.А. Василов Р.Г. Губин С.П., Кашин В.В., Китова А. Е. Колесов В. В., Мачулин А. В., Решетилов А.Н. Решетилова Т. А. Биотопливные элементы на основе наноуглеродных материалов. Радиоэлектроника. наносистемы. информационные технологии. ISSN: 2218-3000. eISSN: 2414-1267. 2014. № 2 С. 187-208.

6. Самков А.А., Волченко Н.Н., Худокормов А.А. Микр**об**ный топливный элемент и схема сборки таких элементов. Патент на полезную модель. № 145009. МПК: H01M8/16 ; H01M8/02 ; C12M1/00. 2014.

7. В России вступил в действие закон «о навозе» [Электронный ресурс]: URL: http://www.rline.tv/news/2016-08-16-v-rossii-vstupil-v-deystvie-zakon-o-navoze/ (дата обращения 16.04.2018).

8. Колтыпин Ю.А., Сухова М.Н., Ерофеева Т.В., Злочевский Ф.И., Воробьев К.Г., Раецкая Ю.И., Тарасов Е.А., Иванов А.Н., Митюхина Т.В., Капанадзе Э.И., Караваева Т.М., Иванов В.Г., Колтыпина В.В., ЧерепаноВ А.А., Нерубайло И.И. Биологические методы утилизации навоза. Биологические проблемы современного промышленного животноводства. 1976. С. 100-113.

9. Ширманова К.О. Современные методы навозоудаления и утилизации навоза, защищающие окружающую природную среду. Актуальные проблемы современной экологии. 2018. С. 244-247.

10. Ягофарова Ф.Я., Бердимуратов К.Т., Аюпова А.Ж., Курманбаев А.А. Исследования влияния биосурфактантов на деградацию нефтепродуктов на поверхности воды. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. М.: 2014. С. 32-35

Выделение активных штаммов электрогенных бактерий и оценка их работы в микробном топливном элементе. Биотехнология: состояние и перспективы развития. 2017. С. 489-491.

11. Дроботенко М. И., Свидлов А. А. Математическое моделирование процессов в микробном топливном элементе с учётом их пространственной неоднородности. Экологический вестник научных центров черноморского экономического сотрудничества. 2017. № 4-1. С. 81-85.

12. Кускарбекова С.И., Жиргалова Т.Б. Получение водорода в микробных топливных элементах при утилизации отходов. Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. Том: 4. № 1. 2016. С. 147-149.

13. Вечная утилизация. Журнал агротехника и технологии. [Электронный ресурс]: URL: http://www.agroinvestor.ru/technologies/article/14816-vechnaya-utilizatsiya/ (дата обращения 20.04.2018).

14. Проблема утилизации отходов животноводства и птицеводства – есть ли решение?. Кубанский сельскохозяйственный информационно консультационный – центр. ГБУ КК "Кубанский с/х ИКЦ" (дата 2005-2018). [Электронный ресурс]: URL: http://www.kaicc.ru/node/20211.

15. Качан С.А., Довлатов И.М., Павкин Д.Ю., Юферев Л.Ю., Исследование автономных систем электроснабжения на возобновляемых источниках энергии для сельскохозяйственного потребителя. Инновации в сельском хозяйстве 2017. № 1 (24). С. 154-159.

References

1. Vorozhcov O.V. Hranenie i utilizaciya zhidkogo navoza v lagune. Agropromyshlennyj kompleks: sostoyanie, problemy, perspektivy. [Storage and disposal of liquid manure in the lagoon. Agro-industrial complex: state, problems, prospects] 2014. p. 23-26.

2. Canzharovskaya M.I. Pererabotka othodov apk v organomineral'nye udobreniya i reshenie zadach ohrany truda. Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie apk. referativnyj zhurnal.[Processing of waste from the agro-industrial complex into organic-mineral fertilizers and solving labor protection tasks] ISSN: 1811-0134, 2008. No 2. p. 467.

3. Karasevich V.A., Aver'yanov V.K., Albul A.V., Kirshina I.A., SHil'nikov S.E., Perspektivy proizvodstva i ispol'zovaniya biogaza. Nauka i tekhnika v gazovoj promyshlennosti. [Prospects for the production and use of biogas. Science and technology in the gas industry] ISSN: 2070-6820, 2012. No 3 (51) p. 52-59.

4. ZHigula E.A. Petuhov V.I. ZHigula L.D. Harakteristika processov perenosa ehlektronov mezhdu anodnym mikrobiologicheskim konsorciumom i anodom kak klyuchevyh faktorov proizvoditel'nosti mikrobnogo toplivnogo ehlementa. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.[Characterization of electron transfer processes between the anode microbiological

consortium and the anode as key factors in the performance of a microbial fuel cell. Modern problems of science and education] ISSN: 2070-7428. 2013 No 4 p. 362.

5. Alferov V.A. Vasilov R.G. Gubin S.P., Kashin V.V., Kitova A. E. Kolesov V. V., Machulin A. V., Reshetilov A.N. Reshetilova T. A. Biotoplivnye ehlementy na osnove nanouglerodnyh materialov. Radioehlektronika. nanosistemy. informacionnye tekhnologii.[Biofuel cells based on nanocarbon materials. Radio electronics. nanosystems. Information Technology] ISSN: 2218-3000. eISSN: 2414-1267. 2014. No 2 p. 187-208.

6. Samkov A.A., Volchenko N.N., Hudokormov A.A. Mikrobnyj toplivnyj ehlement i skhema sborki takih ehlementov. Patent na poleznuyu model'.[Microbial fuel cell and the assembly scheme of such elements] No 145009. MPK: H01M8/16 ; H01M8/02 ; C12M1/00. 2014.

7. V Rossii vstupil v dejstvie zakon «o navoze» [In Russia, the law came into force “on manure”]: URL: http://www.rline.tv/news/2016-08-16-v-rossii-vstupil-v-deystvie-zakon-o-navoze/ (data obrashcheniya 16.04.2018).

8. Koltypin YU.A., Suhova M.N., Erofeeva T.V., Zlochevskij F.I., Vorob'ev K.G., Raeckaya YU.I., Tarasov E.A., Ivanov A.N., Mityuhina T.V., Kapanadze EH.I., Karavaeva T.M., Ivanov V.G., Koltypina V.V., CHerepanoV A.A., Nerubajlo I.I. Biologicheskie metody utilizacii navoza. Biologicheskie problemy sovremennogo promyshlennogo zhivotnovodstva. [Biological methods of manure disposal. Biological problems of modern industrial animal husbandry] 1976. p. 100-113.

9. SHirmanova K.O. Sovremennye metody navozoudaleniya i utilizacii navoza, zashchishchayushchie okruzhayushchuyu prirodnuyu sredu. Aktual'nye problemy sovremennoj ehkologii. [Modern methods of manure removal and disposal of manure to protect the environment. Actual problems of modern ecology] 2018. p. 244-247.

10. YAgofarova F.YA., Berdimuratov K.T., Ayupova A.ZH., Kurmanbaev A.A. Issledovaniya vliyaniya biosurfaktantov na degradaciyu nefteproduktov na poverhnosti vody. Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. M. [Studies of the effects of biosurfactants on the degradation of petroleum products on the water surface. Actual problems of the humanities and natural sciences]: 2014. p. 32-35

Vydelenie aktivnyh shtammov ehlektrogennyh bakterij i ocenka ih raboty v mikrobnom toplivnom ehlemente. Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya. [Isolation of active strains of electrogenic bacteria and evaluation of their work in a microbial fuel cell. Biotechnology: state and development prospects] 2017. p. 489-491.

11. Drobotenko M. I., Svidlov A. A. Matematicheskoe modelirovanie processov v mikrobnom toplivnom ehlemente s uchyotom ih prostranstvennoj neodnorodnosti. EHkologicheskij vestnik nauchnyh centrov chernomorskogo ehkonomicheskogo sotrudnichestva. [Mathematical modeling of processes in a microbial fuel cell, taking into account their spatial heterogeneity. Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation.] 2017. No 4-1. p. 81-85.

12. Kuskarbekova S.I., ZHirgalova T.B. Poluchenie vodoroda v mikrobnyh toplivnyh ehlementah pri utilizacii othodov. EHnergo- i resursosberezhenie v teploehnergetike i social'noj sfere [Hydrogen production in microbial fuel cells during waste disposal. Energy and resource saving in heat and power engineering and social sphere]: materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov, aspirantov, uchenyh. Tom: 4. No 1. 2016. p. 147-149.

13. Vechnaya utilizaciya. [Eternal disposal] ZHurnal agrotekhnika i tekhnologii. [EHlektronnyj resurs]: URL: http://www.agroinvestor.ru/technologies/article/14816-vechnaya-utilizatsiya/ (data obrashcheniya 20.04.2018).

14. Problema utilizacii othodov zhivotnovodstva i pticevodstva – est' li reshenie?[The problem of recycling livestock and poultry - is there a solution?]. Kubanskij sel'skohozyajstvennyj informacionno konsul'tacionnyj – centr. GBU KK "Kubanskij c/h IKC" (data 2005-2018). [EHlektronnyj resurs]: URL: http://www.kaicc.ru/node/20211.

15. Kachan S.A., Dovlatov I.M., Pavkin D.YU., YUferev L.YU., Issledovanie avtonomnyh sistem ehlektrosnabzheniya na vozobnovlyaemyh istochnikah ehnergii dlya sel'skohozyajstvennogo potrebitelya. Innovacii v sel'skom hozyajstve 2017. № 1 (24). S. 154-159.

УДК 631.1.004.18:636.22/28

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ENERGY ASPECTS OF BIOGAS PLANTS FOR HEATING

***А.А. КОВАЛЕВ**, к.т.н., **Д.А. КОВАЛЕВ**, к.т.н., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***A.A. KOVALEV**, cand. tech. sci., **D.A. KOVALEV**, cand. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация.** В работе приведен сравнительный анализ применения тепловых насосов и биогазовых установок для теплоснабжения. Приведено описание работы тепловых насосов. Приведены тезисы федеральной целевой программы, одной из задач которой является повышение удельного веса отходов сельскохозяйственного производства, переработанных методами биотехнологии. В тексте статьи представлены основные формулы для определения значения коэффициента преобразования энергии биогазовой установки. Приведены значения коэффициента преобразования энергии биогазовой установки, используемой для газоснабжения и теплоснабжения потребителей.*

***Ключевые слова:** тепловой насос, биогазовая установка, коэффициент преобразования энергии*

***Abstract**. The paper compares the application of heat pumps and biogas plants for heat supply. The description of operation of heat pumps is given. Theses of the federal target program are given, one of the tasks of which is to increase the specific weight of agricultural wastes processed by biotechnology methods. The text of the article presents the basic formulas for determining the coefficient of performance of biogas plant. The coefficient of performance values of biogas plant used for gas and heat supply to consumers are given.*

***Keywords:** heat pump, biogas plant, coefficient of performance*

По прогнозам Мирового энергетического совета (World Energy Council – WEC), к 2020 году 3/4 совокупного теплоснабжения в мире будет обеспечиваться тепловыми насосами различных типов. Страны Скандинавии уже сейчас выходят на эти прогнозные данные. В США федеральным законодательством закреплено обеспечение всех новых общественных зданий исключительно тепловыми насосами, а правительство Германии датирует каждый киловатт устанавливаемой мощности теплонасосных систем в размере €200. Как видно из приведенных цифр, рынок тепловых насосов переживает настоящий бум.

По виду передачи энергии тепловые насосы бывают двух типов:

- компрессионные. Основные элементы установки – это компрессор, конденсатор, расширитель и испаритель. Используется цикл сжимания-расширения теплоносителя с выделением тепла. Этот тип тепловых насосов прост, высокоэффективен и наиболее популярен.

- абсорбционные. Это тепловые насосы, использующие в качестве рабочего тела пару абсорбент-хладон. Применение абсорбента повышает эффективность работы теплового насоса.

По источнику тепла выделяют тепловые насосы:

- геотермальные. Тепловая энергия берется из грунта или воды.
- воздушные. Теплота извлекается из атмосферы.
- использующие вторичное тепло. В качестве источника тепла используются воздух, вода, канализационные стоки.

По виду теплоносителя входного/выходного контура:

- «воздух-воздух». Этот вид тепловых насосов забирает тепло у более холодного воздуха, еще больше понижая его температуру, и отдает его в отапливаемое помещение.
- «вода-вода». Используется тепло грунтовых вод, которое передается воде для отопления и горячего водоснабжения.
- «вода-воздух». Используются зонды или скважины для воды и воздушная система отопления.
- «воздух-вода». Атмосферное тепло используется для водяного отопления.
- «грунт-вода». Трубы прокладываются под землей, и по ним циркулирует вода, забирающая тепло из грунта.
- «лед-вода». Для нагревания воды в системе отопления и горячего водоснабжения используется тепловая энергия, которая высвобождается при получении льда. Замораживание 100-200 л воды способно обеспечить обогрев среднего дома в течение часа.

Для разных типов тепловых насосов коэффициент преобразования может варьироваться от 1 до 5. Для объективной оценки теплового насоса требуется дополнительный параметр годовой эффективности. Эффективность конкретного теплового насоса будет зависеть от множества факторов, и ее расчет достаточно сложен. [1-6] Дать обобщенную формулу, которая бы работала всегда, практически невозможно. Поэтому каждый конкретный случай требует обращения к экспертам, которые в зависимости от поставленной задачи и ее условий подберут необходимый тип теплового насоса и объем хладагента [7]. Это относится и к оценке энергетической эффективности биогазовых установок.

15 июля 2013 года Правительством Российской Федерации утверждена федеральная целевая программа «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014 - 2017 годы и на период до 2020 года».

Согласно Паспорту Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы, а именно Паспорту подпрограммы 5 "Техническая и технологическая модернизация, инновационное развитие", целью подпрограммы является повышение эффективности и конкурентоспособности продукции сельскохозяйственных товаропроизводителей за счет технической и технологической модернизации производства; создание благоприятной экономической среды, способствующей инновационному развитию и привлечению инвестиций в отрасль; выход агропромышленного комплекса России на лидирующие позиции в области сельскохозяйственной биотехнологии.

Одной из задач, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, является доведение удельного веса отходов сельскохозяйственного производства, переработанных методами биотехнологии, до 11,5 % [8].

Для оценки коэффициента преобразования энергии биогазовой установки используется следующая формула:

$$COP = \frac{G_{бг} * \lambda_{бг} * \frac{\eta_i}{100}}{3600 * (\sum E + Q_{CH})} \quad (1)$$

где $G_{бг}$ – выход биогаза из анаэробных биореакторов, кг/кг$_{овин}$, где кг$_{овин}$ – количество органического вещества в исходном навозе;

$\lambda_{бг}$ – теплота сгорания биогаза, кДж/кг;

η_i – КПД преобразования энергии биогаза в i-ый вид энергии, %

$\sum E$ – суммарное удельное количество энергии, затраченной на привод и функционирование электрооборудования биогазовой установки, кВт*ч$^{эл.эн.}$/кг$_{овин}$;

Q_{CH} – удельный расход теплоты, затрачиваемый на собственные нужды биогазовой установки, кВт*ч$^{т.эн.}$/кг$_{овин}$.

Удельный расход теплоты, затрачиваемый на собственные нужды биогазовой установки, представляет собой разность суммы удельных расходов теплоты на поддержание заданного температурного режима анаэробного биореактора и удельного расхода рекуперируемой тепловой энергии, и определяется по формуле:

$$Q_{\text{СН}} = Q_K + Q_{бг} + Q_H - Q_{\text{Р}} \quad (2)$$

где Q_K – удельный расход теплоты, необходимый для компенсации тепловых потерь через ограждающие поверхности элементов биогазовой установки, кВт*ч$^{т.эн.}$/кг$_{овин}$;

$Q_{бг}$ – удельное количество тепловой энергии, уходящей с выработанным в анаэробных биореакторах биогазом, кВт*ч$^{т.эн.}$/кг$_{овин}$;

Q_H – удельный расход теплоты на нагрев исходного субстрата, кВт*ч$^{т.эн.}$/кг$_{овин}$;

Q_P – удельный расход рекуперируемой тепловой энергии, кВт*ч$^{т.эн.}$/кг$_{овин}$.

Удельный расход теплоты, необходимый для компенсации тепловых потерь через ограждающие поверхности элементов биогазовой установки составит:

$$Q_K = \sum (k_i * F_i * (t_{Hi}{}^{cp} - t_B) * 10^{-3} * \tau_i) \quad (3)$$

где k_i – коэффициент теплопередачи i-го элемента биогазовой установки, Вт/м^{2}К;

F_i – площадь ограждающих поверхностей i-го элемента биогазовой установки, м^2;

$t_i{}^{cp}$ – средняя температура субстрата в i-м элементе биогазовой установки,^{0}С;

t_B – температура наружного воздуха, ^{0}С;

τ_i – время пребывания сброженного субстрата в i-м элементе биогазовой установки, ч.

Удельное количество тепловой энергии, уходящей с выработанным биогазом [кВт*ч$^{т.эн.}$/кг$_{овин}$] определяется как

$$Q_{бг} = \frac{c_{бг} * G_{бг} * (t_H - t_В)}{3600} \quad (4)$$

где $c_{бг}$ – теплоемкость выработанного в анаэробном биореакторе (метантенке) биогаза, кДж/(кг ^{0}С);

t_H – температура субстрата в анаэробном биореакторе,^{0}С.

Удельный расход теплоты на нагрев исходного субстрата [кВт*ч$^{т.эн.}$/кг$_{овин}$] определяется как:

$$Q_H = \frac{c_{исх} * G_{исх} * (t_H - t_{исх})}{3600} \quad (5)$$

где $G_{исх}$ – удельная подача исходного субстрата в биогазовую установку для анаэробного сбраживания, кг/кг$_{ов\ ин}$.

В качестве расчетных параметров для оценки коэффициента преобразования энергии биогазовой установки приняты следующие значения:

- температурный режим сбраживания – термофильный (55 ^{0}С);
- по экспериментальным данным теплота сгорания биогаза $\lambda_{бг}$ составляет 23550 кДж/м^3;
- в зависимости от применяемых технических средств КПД преобразования энергии биогаза в тепловую энергию составляет 80-95% (водогрейные котлы) и 45-50% (когенерационные установки), а в электрическую – 10-45%;
- за исходный субстрат принят субстрат с влажностью W=92%, зольностью A=25% и содержанием органического вещества ОВ=60г/л;
- количество исходного субстрата составляет 65 м^3/сут. [4].

При анаэробной обработке в традиционных метантенках с подачей исходного субстрата в биогазовую установку в количестве 65 м^3/сут. затраты тепловой энергии на собственные нужды составят 3520 кВт*ч$^{т.эн.}$/сут. при потреблении электроэнергии 80 кВт*ч$^{эл.эн.}$/сут.

Для сравнения коэффициентов преобразования энергии компрессионного теплового насоса и биогазовой установки, считаем, что весь выработанный биогаз используется для нужд потребителей, а затраты тепловой энергии на собственные нужды биогазовой установки компенсируются за счет внешних источников теплоты.

Тогда коэффициент преобразования энергии биогазовой установки будет равен:

$$COP = \frac{800 * 23550}{3600 * (80 + 3520)} = 1{,}45 \quad (6)$$

Однако, в случае использования выработанного биогаза в собственной котельной для производства тепловой энергии, собственные нужды биогазовой установки компенсируются за счет собственной котельной, а коэффициент преобразования энергии биогазовой установки будет равен:

$$COP = \frac{800 * 23550 * \frac{90}{100} - 3520 * 3600}{3600 * 80} = 14{,}88 \quad (7)$$

Таким образом, значение коэффициента преобразования энергии традиционных биогазовых установок (без рекуперации тепловой энергии), используемых для газоснабжения потребителей, сопоставимо со значением коэффициента преобразования энергии компрессионных тепловых насосов, находящимся в пределах 1-5.

В случае использования биогазовой установки для теплоснабжения потребителей от собственной котельной биогазовой установки с использованием части выработанной тепловой энергии на собственные нужды, значение коэффициента преобразования энергии традиционных биогазовых установок значительно превышает значение коэффициента преобразования энергии компрессионных тепловых насосов.

Список литературы

1. Юферев, Л.Ю. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетических отходов [Текст],отчет о НИР/НИОКР/Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродинов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А., Собченко Ю.А., Камайданов Е.Н., Федотов А.В., Григорьев В.С., Мазалов Д.Ю., Мельников С.П., Казакова В.А. – Москва: [б.и.], 2017 – 198 с.
2. Ковалев А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок [Текст], дис.. канд.тех.наук : 05.20.01. / Ковалев Андрей Александрович. - М., 2014. - 119 с.
3. Отчет лаборатории биоэнергетических установок ГНУ ВИЭСХ РАСХН за 2006-2010 годы.
4. Ковалёв, А.А. Сравнительные показатели тепловых насосов в системе теплоснабжения биогазовых установок /Ковалёв А.А., Ковалёв Д.А., Харченко В.В.// журнал «Механизация и электрификация щсельского хозяйства №4 2012.
5. Лачуга Ю.Ф., Васильев А.Н. Направления исследований в биоэнергетике Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 4-7.
6. Ковалев А.А., Ковалев Д.А. Утилизация низкопотенциальной отбросной теплоты анаэробно обработанных органических субстратов с получением электроэнергии Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 138-141.
7. Тепловые насосы для дома: особенности технологии, сфера применения и стоимость оборудования [Электронный ресурс] / – Режим доступа: https://www.kp.ru/guide/teplovye-nasosy.html
8. О федеральной целевой программе "Устойчивое развитие сельских территорий на 2014-2017 годы и на период до 2020 года" (с изменениями на 25 мая 2016 года), http://docs.cntd.ru/document/499034090

References

1. Yuferev, L.YU. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyh istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih

osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskih othodov [Methods for estimating the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the operation of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergy waste],otchet o NIR/NIOKR/YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodinov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A., Sobchenko YU.A., Kamajdanov E.N., Fedotov A.V., Grigor'ev B.S., Mazalov D.YU., Mel'nikov S.P., Kazakova V.A. – Moskva: [b.i.], 2017 – p. 198.

2. Kovalev A.A. Povyshenie ehnergeticheskoj ehffektivnosti biogazovyh ustanovok [Improving the energy efficiency of biogas plants], dis.. kand.tekh.nauk : 05.20.01. / Kovalev Andrej Aleksandrovich. - M., 2014. -p.119.

3. Otchet laboratorii bioehnergeticheskih ustanovok GNU VIEHSKH RASKHN za 2006-2010 gody. [Report of the laboratory of bioenergy installations]

4. Kovalyov, A.A. Sravnitel'nye pokazateli teplovyh nasosov v sisteme teplosnabzheniya biogazovyh ustanovok [Comparative indicators of heat pumps in the heat supply system of biogas plants] /Kovalyov A.A., Kovalyov D.A., Harchenko V.V.// zhurnal «Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya shchsel'skogo hozyajstva No 4 2012.

5. Lachuga YU.F., Vasil'ev A.N. Napravleniya issledovanij v bioehnergetike [Directions of research in bioenergy] Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2015. No 2. p. 4-7.

6. Kovalev A.A., Kovalev D.A. Utilizaciya nizkopotencial'noj otbrosnoj teploty anaehrobno obrabotannyh organicheskih substratov s polucheniem ehlektroehnergii [Utilization of low-grade waste heat of anaerobically treated organic substrates with electricity generation] Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2017. No 1 (22). p. 138-141.

7. Teplovye nasosy dlya doma: osobennosti tekhnologii, sfera primeneniya i stoimost' oborudovaniya [Heat pumps for the home: features of technology, scope and cost of equipment] / – URL: https://www.kp.ru/guide/teplovye-nasosy.html

8. O federal'noj celevoj programme "Ustojchivoe razvitie sel'skih territorij na 2014-2017 gody i na period do 2020 goda" (s izmeneniyami na 25 maya 2016 goda) [About the federal target program "Sustainable development of rural areas for 2014-2017 and for the period up to 2020" (with changes as of May 25, 2016)], http://docs.cntd.ru/document/499034090

УДК 631.1.004.18:636.22/28

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

ECONOMIC PREREQUISITES FOR THE USE OF RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

***А.А. КОВАЛЕВ**, к.т.н., ст. науч. сотр., **Д.А. КОВАЛЕВ**, к.т.н., заведующий лабораторией, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, **В.В. ФРОЛОВ**, магистр, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва, Россия*

***A.A. KOVALEV**, candidate of Sciences, senior scientific. et al., **D.A. KOVALEV**, PhD, head of laboratory, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, **V.V. FROLOV**, master student, Russian chemical-technological University. D. I. Mendeleeva, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В статье приведено изменение значений тарифов на основные энергоносители в городе Москва за 2007 – 2018 годы. На основании данных Региональной энергетической комиссии (РЭК) Москвы и Департамента экономической политики и развития города Москвы по стоимости основных энергоносителей построены тенденции изменения тарифов на период до 2023 года. Приведены средние процентные коэффициенты ежегодного изменения тарифов, а также количественные коэффициенты изменения тарифов за рассматриваемый период.*

***Ключевые слова:** биогазовые установки, тарифы, электроэнергия, тепловая энергия, магистральный газ.*

***Abstract**. The article presents the change of tariffs for the main energy carriers in Moscow for 2007 – 2018. Based on the data of the Regional energy Commission (REC) of Moscow and the Department of economic policy and development of Moscow, trends change in tariffs for the period up to 2023 on the cost of the main energy carriers have been built. The average interest rates of annual changes in tariffs, as well as quantitative factors of changes in tariffs for the period under review are shown. In recent years, public attention has increasingly been drawn to the solution of two inextricably linked problems – preventing the depletion of natural resources and protecting the environment from pollution.*

***Keywords:** biogas plants, tariffs, electric power, thermal energy, main gas.*

В последние годы внимание общества всё более привлекается к решению двух неразрывно связанных проблем – предотвращению истощения природных ресурсов и охране окружающей среды от загрязнения.

Быстрое расходование запасов природного топлива, ограничение строительства гидро- и атомных электростанций вызвали интерес к применению возобновляемых источников энергии, в том числе огромных масс органических отходов, образующихся в сельском хозяйстве, промышленности, городском коммунальном хозяйстве. В связи с этим использование методов биологической конверсии органических отходов с получением биогаза и высококачественных органических удобрений при одновременном решении ряда вопросов охраны окружающей среды от загрязнения является весьма перспективным [1-4].

В современных развитых странах мира на выработку электрической энергии и тепла низкого и среднего потенциала затрачивается основная часть добываемых топливно-энергетических ресурсов.

Анализ перспектив развития систем теплоснабжения показывает, что покрытие тепловых нагрузок будет обеспечиваться за счет сжигания органического топлива [5-7].

При этом стоимость энергоносителей с каждым годом возрастает. В Табл. 1 представлены значения тарифов на основные энергоносители с 2007 по 2017 года в Москве, согласно данным РЭК Москвы и Департамента экономической политики и развития города Москвы.

Таблица 1

Тарифы на основные энергоносители в Москве

Год	Электроэнергия, руб./кВт*ч	Газ магистральный, руб./тыс. $м^3$	Тепловая энергия, руб./Гкал
2007	1,715	1427	-
2008	2,018	1784	903,500
2009	2,417	2094,25	1074,450
2010	3,094	2665	1290,810
2011	3,440	3071	1325,7
2012	3,58	3 890	1519,100
2013	4,01	4400	1544,97
2014	4,18	5400	1612,71
2015	4,54	5800	1734,01
2016	4,81	5910	1839,74
2017	5,04	6410	1943,46
2018	5,38	6410	2199,24

На Рис. 1-3 представлены графики роста стоимостей на энергоносители с 2007 по 2017 года в Москве, согласно данным РЭК Москвы и Департамента экономической политики и развития города Москвы, а также показаны тенденции роста стоимостей на энергоносители с 2012 года [8] и с 2018 года.

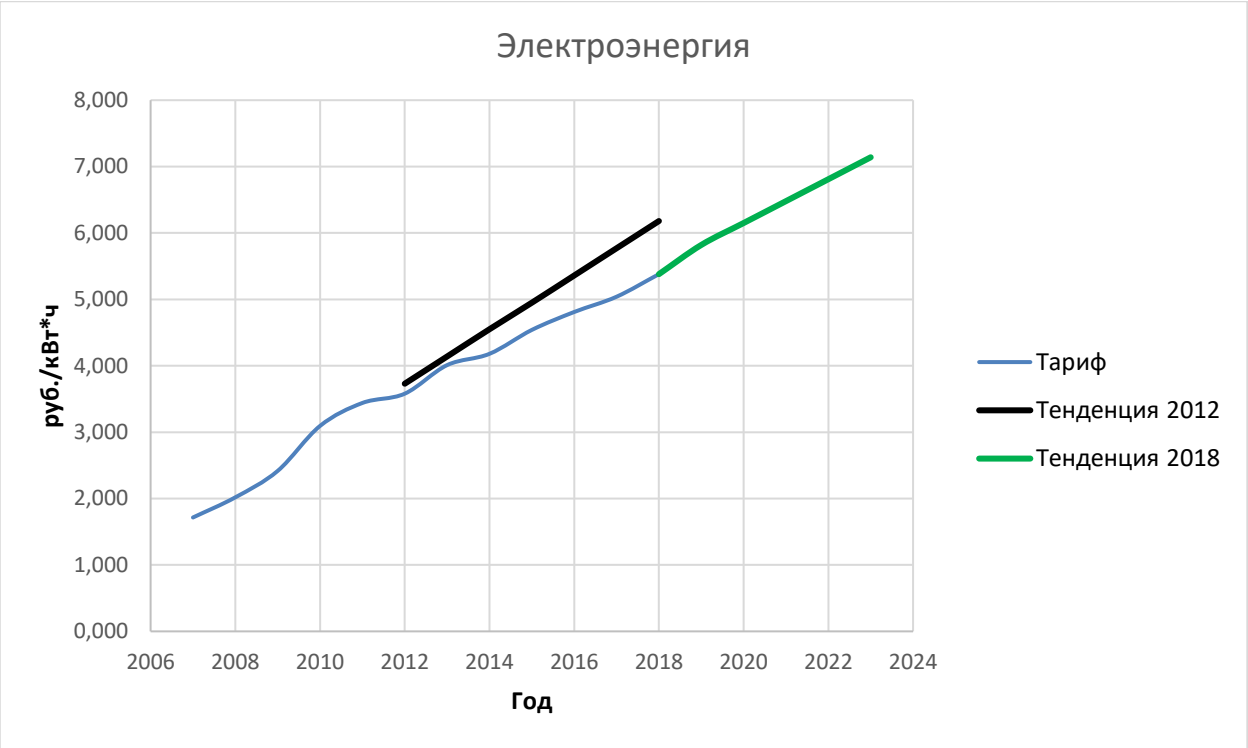


Рисунок 1 – График изменения стоимости электроэнергии

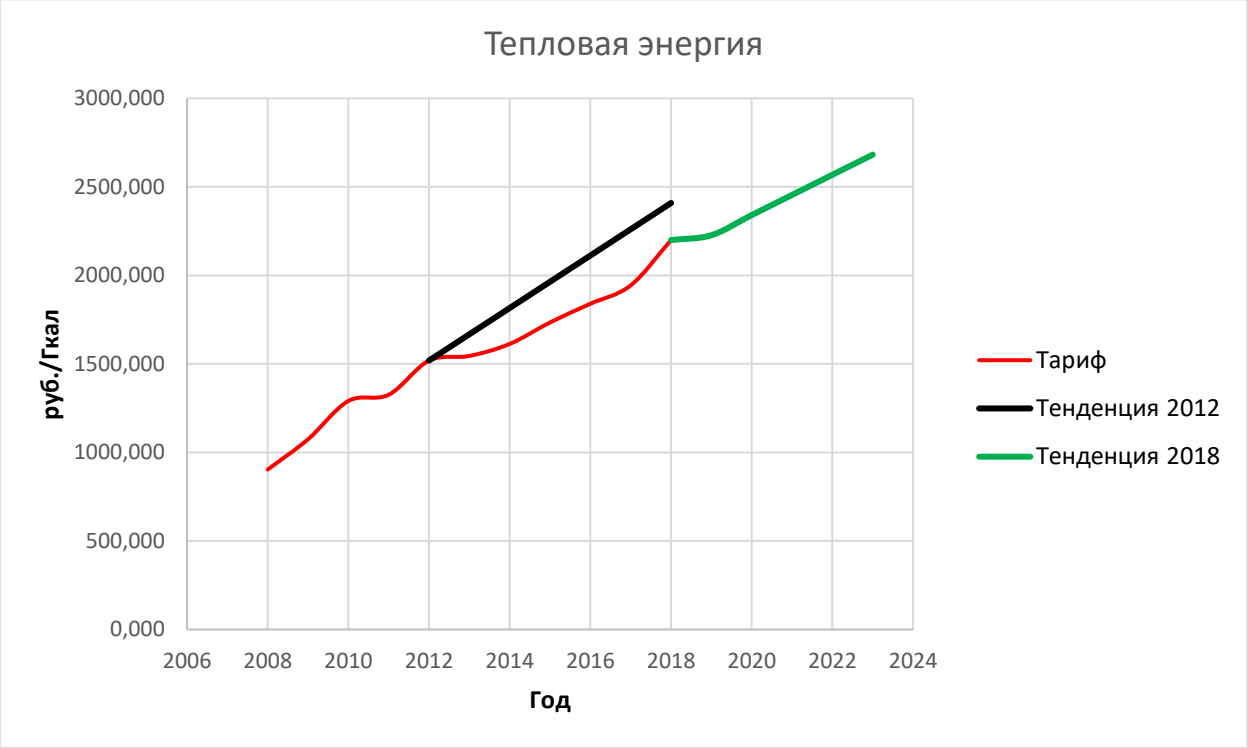


Рисунок 2 – График изменения стоимости тепловой энергии

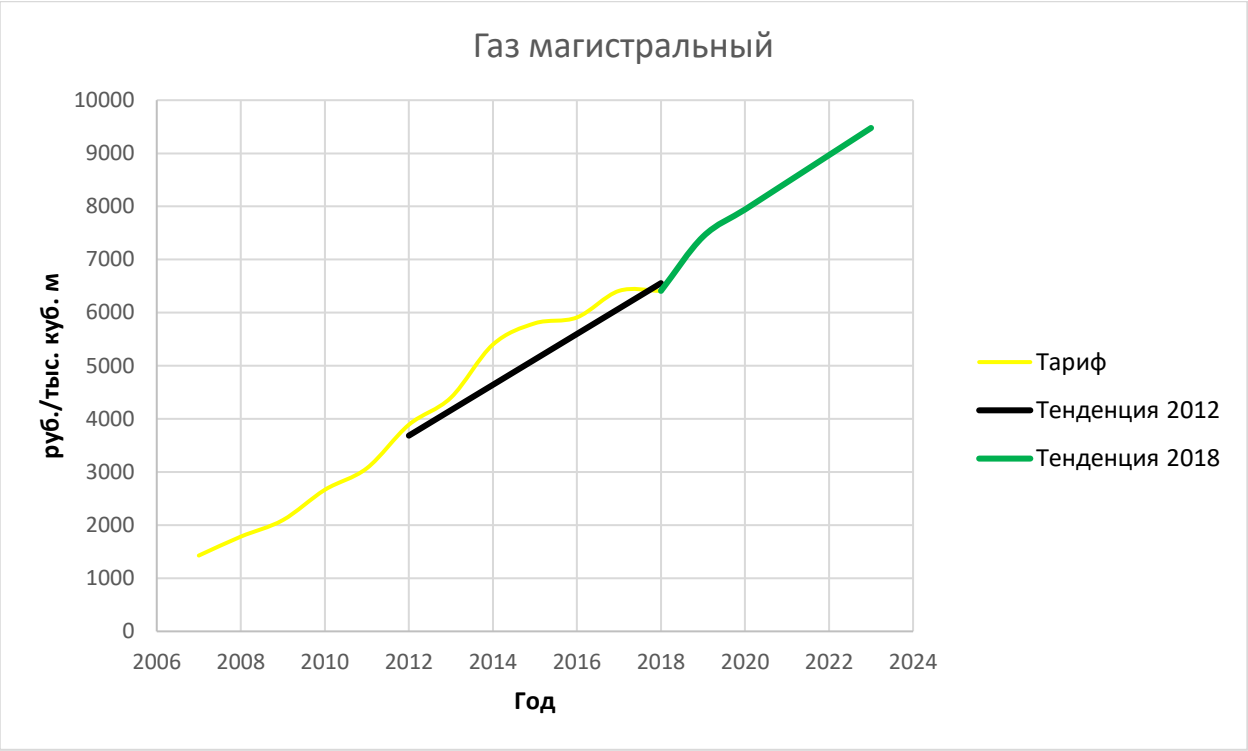


Рисунок 3 – График изменения стоимости магистрального газа

Как видно из графиков, приведенных на Рис. 1-3, тенденция роста тарифов на энергоносители, приведенная в [8] (с 2012 года), имеет отклонения от реальных стоимостей энергоносителей не более 15%.

Таким образом, за последние десять лет (с 2007 по 2017 год) тарифы на энергоносители постоянно растут, в среднем на 11,3% на электроэнергию, 9,6% на тепловую энергию и 14,9% на магистральный газ.

За рассматриваемый период (с 2007 по 2017 год) тариф на электроэнергию вырос в 2,94 раза, на тепловую энергию в 2,43 раза, а тариф на магистральный газ – в 4,49 раза.

Приведенные данные являются одной из существенных предпосылок для внедрения альтернативных источников энергоснабжения потребителей, в том числе и биогазовых установок.

Список литературы

1. Лачуга Ю.Ф., Васильев А.Н. Направления исследований в биоэнергетике Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 4-7.

2. Ковалев А.А., Ковалев Д.А. Утилизация низкопотенциальной отбросной теплоты анаэробно обработанных органических субстратов с получением электроэнергии Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 138-141.

3. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных

(локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.

4. Ковалев А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок [Текст], дис.. канд.тех.наук : 05.20.01. / Ковалев Андрей Александрович. - М., 2014. - 119 с.

5. Ковалев А.А. Обоснование применения систем анаэробно-аэробной очистки навозных стоков свинокомплексов [Текст]/ Ковалев Д.А., Ковалев А.А., Азимжанов Е.И.// Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016.№ 4 (24). С. 116-119.

6. Литти Ю.В. Основы эффективной биотехнологии утилизации коммунальных отходов путем метаногенного сбраживания органической фракции ТБО совместно с ОСВ [Текст]/ Литти Ю.В., Ковалев Д.А., Ковалев А.А., Никитина А.А., Ермошин А.А., Ножевникова А.Н.// Актуальная биотехнология. 2016. № 3 (18). С. 97-102.

7. Ковалев А.А. Методика определения затрат на компенсацию тепловых потерь системы анаэробной обработки органических отходов [Текст], Ковалев А.А. Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 5 (20). С. 375-378.

8. Официальный сайт Мэра Москвы. [цитировался 02.10.2018]. Доступно по URL: https://www.mos.ru/depr/documents/arkhiv-tarifov-na-kommunalnye-uslugi-dlia-naseleniia-gmoskvy/

References

1. Lachuga YU.F., Vasil'ev A.N. Napravleniya issledovanij v bioehnergetike [Areas of research in bioenergy] Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2015. No 2. p. 4-7.

2. Kovalev A.A., Kovalev D.A. Utilizaciya nizkopotencial'noj otbrosnoj teploty anaehrobno obrabotannyh organicheskih substratov s polucheniem ehlektroehnergii [Utilization of low-grade waste heat of anaerobically treated organic substrates with electricity generation] Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2017. No 1 (22). p. 138-141.

3. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki organicheskih othodov. [Methods for assessing the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the operation of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergetic processing of organic waste] otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, p. 198.

4. Kovalev A.A. Povyshenie ehnergeticheskoj ehffektivnosti biogazovyh ustanovok [Improving the energy efficiency of biogas plants], dis.. kand.tekh.nauk : 05.20.01. / Kovalev Andrej Aleksandrovich. - M., 2014. – p. 119.

5. Kovalev A.A. Obosnovanie primeneniya sistem anaehrobno-aehrobnoj ochistki navoznyh stokov svinokompleksov [The rationale for the use of anaerobic-aerobic treatment of manure from pig farms]/ Kovalev D.A., Kovalev A.A., Azimzhanov E.I.// Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. 2016.No 4 (24). p. 116-119.

6. Litti YU.V. Osnovy ehffektivnoj biotekhnologii utilizacii kommunal'nyh othodov putem metanogennogo sbrazhivaniya organicheskoj frakcii TBO sovmestno s OSV [Basics of effective biotechnology utilization of municipal waste by methanogenic digestion of the organic fraction of solid waste together with WWS]/ Litti YU.V., Kovalev D.A., Kovalev A.A., Nikitina

A.A., Ermoshin A.A., Nozhevnikova A.N.// Aktual'naya biotekhnologiya. 2016. No 3 (18). p. 97-102.

7. Kovalev A.A.Metodika opredeleniya zatrat na kompensaciyu teplovyh poter' sistemy anaehrobnoj obrabotki organicheskih othodov [Method of determining the cost of compensation for heat losses of the system of anaerobic treatment of organic waste], Kovalev A.A. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2016. No 5 (20). p. 375-378.

8. Oficial'nyj sajt Mehra Moskvy. [Official website of the Mayor of Moscow] [citirovalsya 02.10.2018]. URL: https://www.mos.ru/depr/documents/arkhiv-tarifov-na-kommunalnye-uslugi-dlia-naseleniia-gmoskvy/

УДК : 62-824

КРЫЛЬЧАТЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ВОДНОГО ПОТОКА
UNDERWATER SCREW ENGINE - WATER FLOW ENERGY CONVERTER

А.И. КУСКОВ, *канд. техн. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*
A.I. KUSKOV*, Cand. tech. Sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Предлагается к рассмотрению подводный крыльчатый преобразователь энергии, использующий подъемную силу крыла, создающуюся в движущемся водном потоке океанского течения. Потребность автономного получения энергии вдали от берега моря возникла из-за необходимости снабжать энергией навигационные приборы и автономные буи, отслеживающие информацию о погоде в различных точках мирового океана, которые не имеют связи с береговыми источниками энергии.*

Подводный крыльчатый двигатель является возобновляемым источником механической энергии, работающий от низкоскоростных океанских течений, а также автономным силовым приводом электрического генератора.

Ключевые слова*: подводный крыльчатый двигатель, океанское течение, электрический генератор, лопатки, подъемная сила крыла, водный поток.*

Abstract*. An underwater vane engine using the lift of the wing, created in the moving water stream of the ocean current, is proposed for consideration. The need for autonomous energy production away from the sea coast arose because of the need to provide power to navigational instruments and autonomous buoys that track weather information at various points in the world's oceans that have no connection with coastal energy sources.*

Underwater vane engine is a renewable source of mechanical energy, operating from low-speed ocean currents, as well as an autonomous power drive of an electric generator.

Keywords*: underwater vane engine, ocean current, electric generator, vanes, wing lift, water flow.*

Потребность автономного получения энергии вдали от берега моря возникла из-за необходимости снабжать энергией навигационные приборы и автономные буи, отслеживающие информацию о погоде в различных точках мирового океана, которые не имеют связи с береговыми источниками энергии [1]. Для автономного получения энергии в море могут быть использованы волны или естественные океанские течения воды с невысокой скоростью водного потока [2].

Целью исследования является подводный крыльчатый двигатель, использующий подъемную силу крыла, создающуюся в движущемся водном потоке океанского течения от воздействия потока одновременно на несколько подводных крыльев. Подводный крыльчатый двигатель является автономным силовым приводом и возобновляемым источником механической энергии, работающий от низкоскоростных океанских течений [3].

Чтобы правильно понять принцип работы крыльчатого двигателя, целесообразно обратиться к некоторым известным аналогам, действующим за счет подъемной силы крыла – самолет, корабль на подводных крыльях и др. Классическим примером использования подъемной силы крыла является

самолет при движении в спокойном воздухе за счет затраты энергии его двигателями. Многотонный корабль на подводных крыльях, движущийся в воде со скоростью более 10 м/с, за счет подъемной силы крыла легко поднимается над водной поверхностью.

Подъемная сила крыла возникает только при его движении относительно окружающей газообразной или жидкой среды, или движении этой среды относительно крыла.

Предлагаемый подводный крыльчатый двигатель состоит из двух рядов изготовленных из дерева прямолинейных рабочих лопаток, имеющих симметричный профиль крыла, которые под воздействием скоростного потока воды за счет возникающей подъемной силы движутся поступательно поперек потока, как по конвейеру. Подъемная сила каждой лопатки суммируется за счет использования двух расположенных параллельно друг другу рядов рабочих лопаток, прикрепленных своими торцами к двум бесконечным замкнутым цепям, надетым на две пары цепных звездочек, и передается вращающемуся выходному валу, имеющему кинематическую связь с движущимися лопатками и валом электрического генератора.

Рабочие лопатки, перемещающиеся поперек потока текучей среды в противоположном друг другу направлении, образуют одновременно две ступени преобразования энергии водного потока. С целью большей эффективности работы устройство необходимо располагать поперек потока воды.

Вследствие того, что подъемная сила каждой лопатки суммируется, то при невысокой скорости потока воды в морском течении крутящий момент на звездочках может достигать значительной величины, достаточной для привода электрического генератора необходимой мощности. А предлагаемое устройство можно считать автономным «подводным крыльчатым двигателем», использующим только энергию потока водной среды, т.е. работающим без топлива.

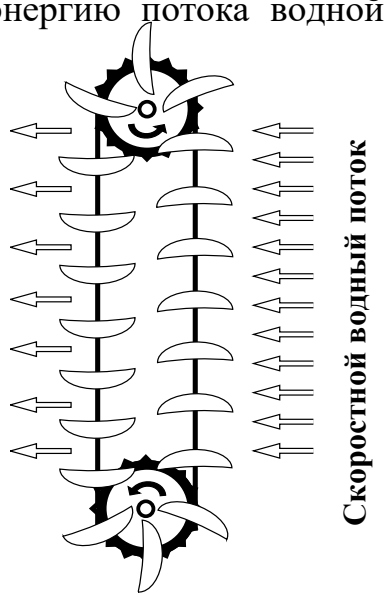


Рисунок 1 - Схема работы крыльчатого двигателя

Движение судна под действием ветра (под парусом) давно освоено человеком. Попытки использования волн для получения энергии и для движения судна известны. Это новая, основанная на ином принципе действия попытка использования возобновляемой энергии океана, первоисточником которой является ветер и солнце, а также попытка постепенно научиться использовать энергию морских течений, имеющих невысокую скорость водного потока.

Агрегатная мощность одного модуля подводного крыльчатого двигателя увеличивается при увеличении количества и длины лопаток, т.е. за счет увеличения рабочей площади, через которую проходит водный поток. При необходимости суммарная площадь прохождения потока через рабочие лопатки нескольких модулей, имеющая вид прямоугольника, может превосходить рабочую площадь турбинных колес по американским патентам «Гольфстрим турбины» 6,531,788 от 11.03. 2003 г. и 7,291,936 от 7.11.2007 г., относящимся к использованию самого быстрого океанского течения Гольфстрим для получения энергии Рис.2 [4,5].

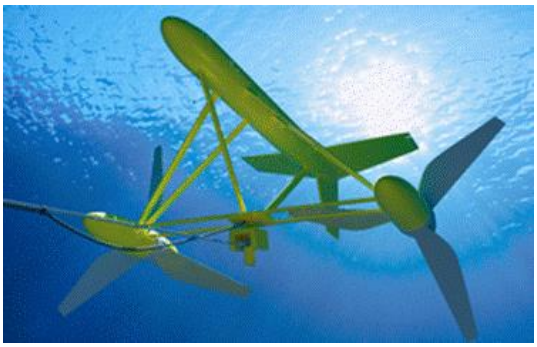


Рисунок 2 - Проект США «Гольфстрим турбины»

Имеется действующая модель подводного крыльчатого двигателя.

В настоящее время изготовлен и опробован в естественных условиях (водном потоке) опытный модуль подводного крыльчатого двигателя, состоящий из конвейера с 15 лопатками длиной 600 мм каждая. На Рис. 3. изображен модуль крыльчатого двигателя конвейерного типа.

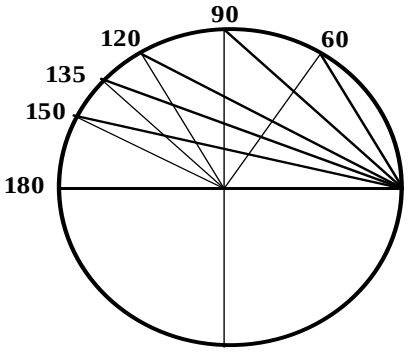
Рисунок 3 - Крыльчатый двигатель

Для расчета и выбора лопаток в Табл. 1 даны характеристики лопаток крыльчатого двигателя.

Таблица 1

Характеристики лопаток крыльчатого двигателя

Угол хорды (градус)	Хорда	Дуга радиуса	Отношение дуга/хорда	Величина отношения
180	2 R = D	πR	π|2	1,57
150	2R*Cos 15	5πR/6	5π/12* Cos 15	1,4
135	2R*Cos 25	3πR/4	3π/8* Cos 25	1,309
120	2R*Cos 30	2πR/3	π/3Cos 30	1,209
90	2R*Cos 45	πR/2	π/4Cos 45	1,11
60	R	πR/3	π/3	1,047



Имеется патент Российской Федерации №38850 от10.07.2004, на "Преобразователь энергии текучей среды», автор Кусков А.И. [6]

Подводный крыльчатый двигатель согласно патенту № 38850 имеет сходство с гидротурбиной Шнайдера, но в нем исключены направляющие лопатки, усложняющие конструкцию гидротурбины Шнайдера [7]. Роль направляющего аппарата для второго ряда рабочих лопаток по указанному патенту выполняют лопатки первого по течению потока ряда рабочих лопаток.

Перспективным является использование подводного крыльчатого двигателя в качестве силового привода в различных механизмах. Вследствие того, что подъемная сила каждой лопатки суммируется, то при невысокой скорости водного потока крутящий момент на звездочках достигает значительной величины, и частота вращения выходного вала крыльчатого преобразователя энергии является достаточной при использовании преобразователя в качестве силового привода электрического генератора. Для работы в морской воде потребуется использовать генератор с постоянными магнитами из редкоземельных магнитопластов из сплава неодим-железо-бор, не подвергающихся коррозии.

Особенностью рассматриваемого подводного крыльчатого двигателя является то, что при изменении направления потока воды на противоположное сохраняется направление вращения выходного вала.

Неизменяющееся направление вращения выходного вала при взаимно противоположных направлениях потока дает возможность использовать подводный крыльчатый двигатель для преобразования энергии приливных и ветровых волн, зыби, энергии морского прибоя, качки судна и др.

Кроме того, подводный крыльчатый двигатель может найти широкое применение в качестве привода генератора бесплотинной речной ГЭС, наряду с пропеллерным приводом генератора [8, 9], на равнинных реках с невысокой скоростью течения водного потока (менее 1 м/с).

Модуль подводного крыльчатого двигателя имеет прямоугольную форму.

В Табл. 2 приведен расчет суммарной силы, воздействующей на лопатки, для разной длины и количества лопаток.

Таблица 2

Расчет суммарной силы, воздействующей на лопатки

Колич. лопаток	**Длина лопатки**	**Радиус дуги**	**Дуга**	**Угол хорды**	**Хорда**	**Отношение дуга/хорда**	**Квадрат отношения**	**Скорость потока**	**Давление**	**Рабочая площадь**	**Сила**
шт.	м	R(мм)	мм	Градус	мм			V м/с	кг/кв.м	кв.м	кг
20	2	100	314	180	200	1,57	2,47	1	751	8	**6010**
20	**2,5**	**100**	**262**	**150**	**187**	**1,40**	**1,97**	**1,2**	**714**	**9,3**	**6661**
20	**2,5**	**100**	**236**	**135**	**180**	**1,31**	**1,72**	**1,2**	**527**	**9,0**	**4744**
20	**2,5**	**100**	**209**	**120**	**173**	**1,21**	**1,46**	**1,2**	**341**	**8,7**	**2951**
20	2	100	157	90	141	1,11	1,23	1,2	172	5,7	**975**
20	2	100	105	60	100	1,05	1,10	1	49	4,0	**198**
15	**2,5**	**100**	**262**	**150**	**187**	**1,40**	**1,97**	**1,2**	**714**	**7,0**	**4996**
15	**2,5**	**100**	**236**	**135**	**180**	**1,31**	**1,72**	**1,2**	**527**	**6,7**	**3558**
15	**2,5**	**100**	**209**	**120**	**173**	**1,21**	**1,46**	**1,2**	**341**	**6,5**	**2213**
15	**2**	**100**	**262**	**150**	**187**	**1,40**	**1,97**	**1,2**	**714**	**5,6**	**3997**
15	**2**	**100**	**236**	**135**	**180**	**1,31**	**1,72**	**1,2**	**527**	**5,4**	**2846**
15	**2**	**100**	**209**	**120**	**173**	**1,21**	**1,46**	**1,2**	**341**	**5,2**	**1771**
15	**2,5**	**50**	**131**	**150**	**93**	**1,40**	**1,97**	**1,2**	**714**	**3,5**	**2498**
15	**2,5**	**50**	**118**	**135**	**90**	**1,31**	**1,72**	**1,2**	**527**	**3,4**	**1779**
15	**2,5**	**50**	**105**	**120**	**87**	**1,21**	**1,46**	**1,2**	**341**	**3,2**	**1107**
18	**1**	**40**	**105**	**150**	**75**	**1,40**	**1,97**	**1,2**	**714**	**1,3**	**959**
18	**1**	**40**	**94**	**135**	**72**	**1,31**	**1,72**	**1,2**	**527**	**1,3**	**683**
15	**1**	**40**	**84**	**120**	**69**	**1,21**	**1,46**	**1**	**237**	**1,0**	**246**

Преимущества подводного крыльчатого двигателя:

- бесшумные и невидимые;
- не выделяют CO2;
- медленное движение лопаток не создаст вреда морской фауне;
- изготовление из некорродирующих материалов;
- легкость и простота массового производства;
- глубину погружения модуля и ориентацию можно легко регулировать;
- стабильность в своей основе - не создает рыскания по высоте;
- свободная пиковая мощность может использоваться для подзарядки аккумуляторов.

Подводный крыльчатый двигатель конвейерного типа предназначен для обеспечения эффективного преобразования энергии скоростных потоков воды в механическую энергию вращения выходного вала двигателя в широком диапазоне скоростей водного потока.

Список литературы

1. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.
2. Есяков С.Я., Лачуга Ю.Ф., Варфоломеев С.Д., Редько И.Я., Васильев А.Н Потенциал использования возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве. Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. № 1 (169). С. 88-92.
3. Кусков А.И. ПОДВОДНЫЙ КРЫЛЬЧАТЫЙ ДВИГАТЕЛЬ - ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ВОДНОГО ПОТОКА // Вестник ВИЭСХ.. № 1 (30), 2018, С. 104-110.
4. Патент США 6,531,788 от 11.03. 2003 г., Гольфстрим турбины
5. Патент США 7,291,936, 7.11.2007г., Гольфстрим турбины
6. Патент РФ № 38850(полезная модель). Преобразователь энергии текучей среды / Кусков А.И. // БИ. 2004. №19.
7. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика // С-Петербург, 2013, с 108-125
8. Кусков А.И. Преобразование энергии водного потока // «Механизация и электрификация сельского хозяйства», № 1, 2015 с. 17-19.

References

1. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki organicheskih othodov[Methods for assessing the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the operation of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergetic processing of organic waste], otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, p. 198.
2. Esyakov S.YA., Lachuga YU.F., Varfolomeev S.D., Red'ko I.YA., Vasil'ev A.N Potencial ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov ehnergii v sel'skom hozyajstve. Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie. [The potential use of renewable energy in agriculture. Plumbing, heating, air conditioning] 2016. No 1 (169). p. 88-92.
3. Kuskov A.I. PODVODNYJ KRYL'CHATYJ DVIGATEL' - PREOBRAZOVATEL' EHNERGII VODNOGO POTOKA [UNDERWATER ENGINE -WATER FLOW ENERGY CONVERTER] // Vestnik VIEHSKH.. No 1 (30), 2018, p. 104-110.

4. Patent SSHA 6,531,788 ot 11.03. 2003 g., Gol'fstrim turbiny [US patent for Gulfstream turbine].
5. Patent SSHA 7,291,936, 7.11.2007g., Gol'fstrim turbiny [US patent for Gulfstream turbine].
6. Patent RF No 38850(poleznaya model'). Preobrazovatel' ehnergii tekuchej sredy [Patent Russian Federation Fluid energy transducer] / Kuskov A.I. // BI. 2004. No 19.
7. Elistratov V.V. Vozobnovlyaemaya ehnergetika [Renewable energy] // S-Peterburg, 2013, p. 108-125
8. Kuskov A.I. Preobrazovanie ehnergii vodnogo potoka [Water flow energy conversion] // «Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva», No 1, 2015 p. 17-19.

УДК 621.311.61

ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЛАНАРНАЯ КРОВЕЛЬНАЯ ПАНЕЛЬ
PHOTOVOLTAIC THERMAL PLANAR ROOFING PANEL

***В.А. ПАНЧЕНКО**, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Российский университет транспорта (МИИТ), ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***V.A. PANCHENKO**, candidate of technical Sciences, associate Professor, senior researcher, Russian University of transport (MIIT), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В представленной статье рассмотрена методика создания трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Созданные трёхмерные модели солнечных теплофотоэлектрических модулей в дальнейшем могут проходить различные испытания в системах конечно-элементного анализа (Ansys) с целью оптимизации конструкции и уточнения различных эксплуатационных параметров. В качестве примера использования методики создана солнечная кровельная теплофотоэлектрическая панель. Также в статье предложена методика изготовления прототипа корпуса солнечной теплофотоэлектрической кровельной панели, изготавливаемой с помощью аддитивных технологий.*

***Ключевые слова**: солнечная энергетика, теплофотоэлектрическая кровельная панель, увеличенный срок службы, системы автоматизированного проектирования, трёхмерная модель, аддитивные технологии.*

***Abstract**. In the presented article the technique of creation of three-dimensional models of solar photovoltaic thermal modules in the system of computer-aided design KOMPAS-3D is considered. The created three-dimensional models of solar photovoltaic thermal modules can later undergo various tests in finite element analysis systems (Ansys) in order to optimize the design and refine the various operational parameters. As an example of the use of the technique, a solar roofing photovoltaic thermal panel is presented. Also in the article the technique of manufacturing of the prototype of the solar photovoltaic thermal roofing panel made by additive technologies is proposed.*

***Keywords**: solar energy, photovoltaic thermal roofing panel, extended service life, computer-aided design systems, three-dimensional model, additive technologies.*

Кровельная солнечная панель представляет собой черепицу стандартной формы, изготовленную из вторичного сырья (полиэтиленовые бутылки или стрейч-пленка и связующие компоненты), что удешевляет изготовление и благоприятно сказывается на экологии. В состав солнечной черепицы [1-3] также входят солнечные элементы, находящиеся в полисилоксановом компаунде, который увеличивает срок их номинальной мощности [4, 5].

При температуре окружающей среды около 15 °С температура лицевой поверхности планарной ламинированной кровельной солнечной панели, разработанной в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, в процессе натурных испытаний составила 42 °С, тыльной – 34 °С. Температура лицевой поверхности планарной капсулированной кровельной солнечной панели в процессе

натурных испытаний составила 40 °С, тыльной – 32 °С, что говорит о более благоприятном тепловом режиме работы солнечных элементов в капсулированном солнечном модуле. Основываясь на тепловом режиме работы солнечных кровельных панелей, можно сделать вывод о целесообразности применения охлаждения солнечных элементов в виду уменьшения их эффективности с ростом температуры.

Приёмники солнечных теплофотоэлектрических модулей планарных и концентраторных систем могут иметь различную конструкцию [14], однако следует отметить, что конструктивные компоненты, применяемые в таких модулях, имеют принципиально схожую структуру. Конструкции таких модулей отличаются сложностью, однако в большинстве вариантов сложность конструкции позволяет добиться максимальной эффективности модуля, которая суммируется из эффективностей электрической части и тепловой, вклад которых в общую эффективность можно варьировать в зависимости от необходимости, однако зачастую при увеличении электрической эффективности уменьшается тепловая и наоборот. Основной задачей современных исследований является поиск оптимального варианта конструкции, при котором общая эффективность модуля будет максимальной.

Для осуществления таковых поисковых задач необходимо создание методик, которые позволяли бы на первоначальном этапе создавать такие солнечные теплофотоэлектрические модули различной конструкции в виде трёхмерных моделей, после создания которых, такие модели подлежали бы детальному исследованию тепловых процессов, происходящих в них.

Результатом моделирования является создание оптимизированной модели солнечного теплофотоэлектрического модуля, который рекомендуется к прототипированию. Однако само протипирование первичного макета разработанного модуля также требует методики для своей реализации, на основании которой можно создавать различные модули в ускоренном режиме и с экономией финансовых и материальных средств.

В настоящее время существует ряд программных комплексов, которые в качестве инструмента позволяют создавать как трёхмерные модели объектов, проводить различное моделирование теплового состояния модулей с одновременной визуализацией полученных результатов, так и создавать прототипы таких модулей с помощью аддитивных технологий, затрачивая относительно небольшие ресурсы, что очень важно на первоначальном этапе проектирования. В качестве инструмента создания двумерных и трёхмерный моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей можно применять системы автоматизированного проектирования, например, программный комплекс компании Аскон – КОМПАС-3D [6], который уже в течение нескольких десятилетий зарекомендовал себя как достойный отечественный инструмент трёхмерного проектирования с полным соответствием единому стандарту конструкторской документацией Российской Федерации.

В рассматриваемой методике создания моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей разрабатываются конструкции модулей стационарной и мобильной энергогенерации, основными отличиями

конструкций которых являются размеры солнечных элементов, количество освещаемых сторон солнечных элементов (одно- и двусторонние) и размеры полостей радиатора из-за различного солнечного потока на лучевоспринимающую поверхность (указанные размеры оптимизируются в программном комплексе Ansys [7]).

Первым типом солнечного теплофотоэлектрического модуля для использования в концентраторной системе является солнечный модуль с двусторонней лучевоспринимающей поверхностью. Количество компонентов, применяемых в таком типе модулей, ограничено необходимостью обеспечения прозрачности обеих наружных лучевоспринимающих сторон модуля в спектре солнечного излучения, в котором солнечный элемент генерирует электричество (Рис. 1).

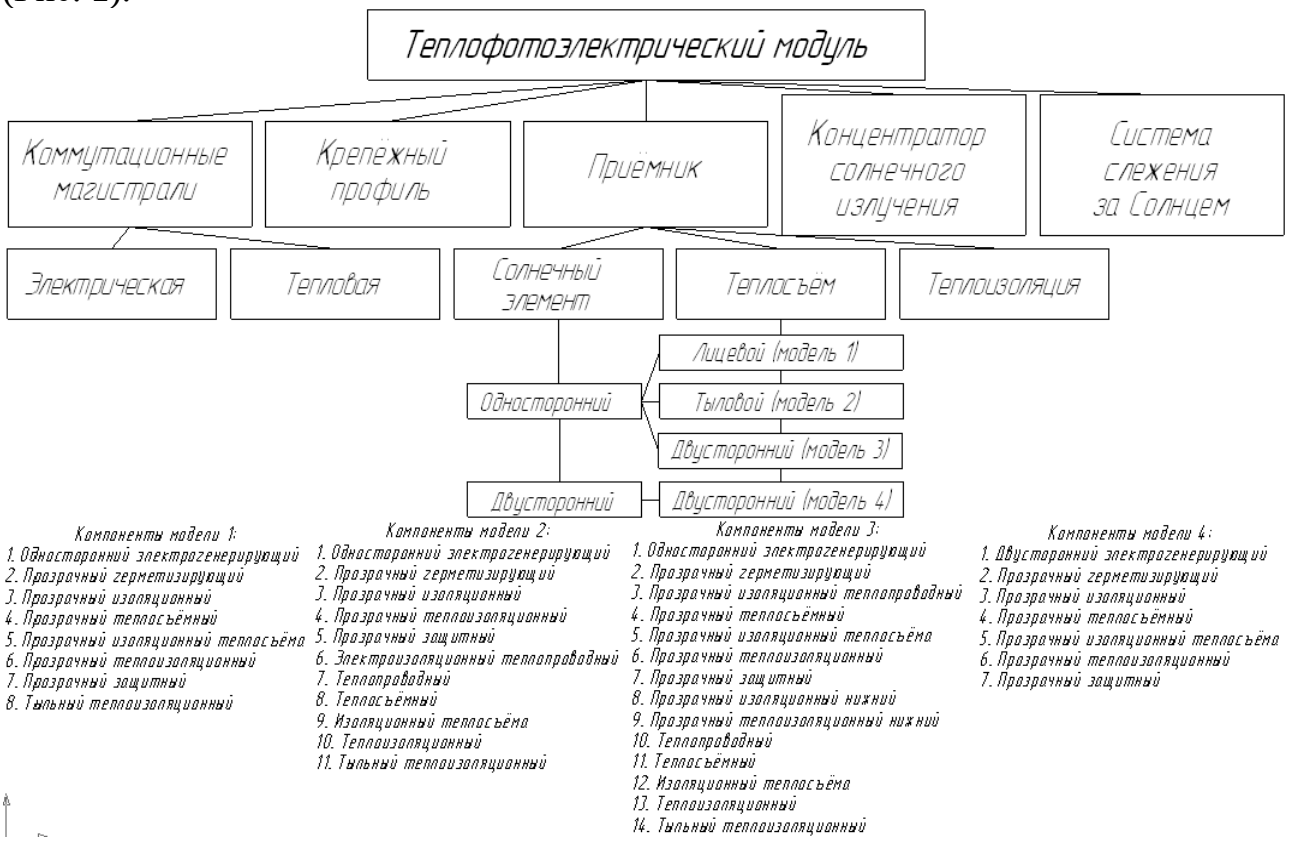


Рисунок 1 - Методика создания трёхмерной модели приёмника теплофотоэлектрического солнечного модуля

Вторым типом солнечного теплофотоэлектрического модуля для использования в планарной системе является солнечный модуль с односторонней лучевоспринимающей стороной. В таком типе модуля количество применяемых компонентов может быть расширено и конструкции усложнены.

Оба типа приёмников теплофотоэлектрического солнечного модуля также подразделяются по типу охлаждения лучевоспринимающей стороны приёмника (теплосъём) – лицевой, тыловой, двусторонний. В зависимости от лучевоспринимающих сторон и типа теплосъёма создание модуля происходит по одной из четырёх моделей (Рис. 1).

Разработанная методика создания моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей, реализуемая в программном комплексе КОМПАС-3D, позволяет создавать модели приёмников солнечных теплофотоэлектрических модулей с различными параметрами планарного и концентраторного типов с: односторонними солнечными элементами и лицевым теплосъёмом (модель 1, Рис. 2) [8, 9]; односторонними солнечными элементами и тыловым теплосъёмом (модель 2); односторонними солнечными элементами и двусторонним теплосъёмом (модель 3); двусторонними солнечными элементами и двусторонним теплосъёмом (модель 4) [10 - 12].

Наибольшее применение в качестве электрогенерирующего элемента находят кремниевые солнечные односторонние элементы с одно- и двусторонней контактной сеткой. Размеры таких солнечных элементов составляют 125 мм и 156 мм, изготавливаются они в форме квадрата и псевдоквадрата. Такие элементы взяты за основу солнечных теплофотоэлектрических модулей с односторонней засветкой (модель 1, 2 и 3, Рис. 1).

Стоит отметить, что в качестве герметизирующего компонента в сборочной единице солнечного теплофотоэлектрического модуля может применяться двухкомпонентный полисилоксановый компаунд, который увеличивает срок номинальной работы солнечных элементов, оптически прозрачен, что увеличивает эффективность солнечных элементов по сравнению с этиленвинилацетатной плёнкой и может использоваться в системах с концентраторами, причём эффективность работы солнечных элементов не снижается как при большой положительной, так и большой отрицательной температуре [4, 5].

В модели 2 из-за тылового теплосъёма качество теплоизоляции можно улучшить, используя потенциально большее количество компонентов вне зависимости от их прозрачности. Модель 3 сочетает в себе компоненты, используемые при создании Модели 1 и Модели 2, таким образом, конструкция усложняется, но одновременно появляется возможность более тонкой оптимизации охлаждения двух сторон солнечного элемента.

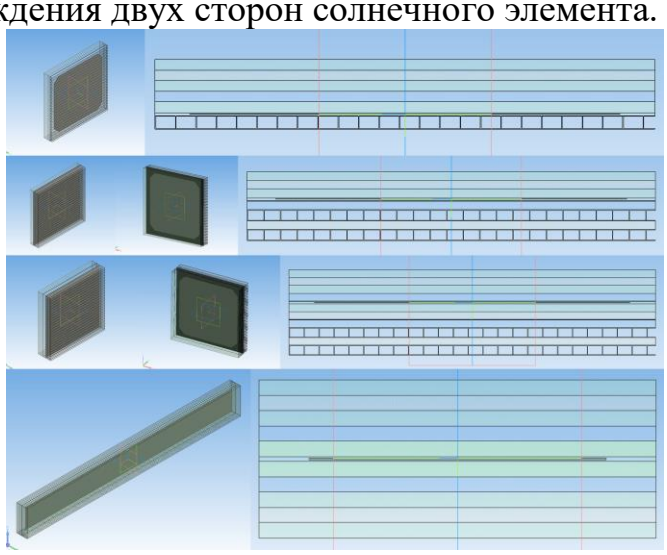


Рисунок 2 - Трёхмерные модели приёмников теплофотоэлектрического модуля (4 модели)

Для реализации Модели 4 в качестве двустороннего солнечного элемента принимаются высоковольтные солнечные элементы с увеличенной электрической эффективностью по сравнению со стандартными планарными кремниевыми солнечными элементами, используемыми без концентраторов [10 - 13]. Наряду с повышением эффективности до 28 % увеличивается и срок номинальной мощности солнечных элементов благодаря применению двухкомпонентного полисилоксанового компаунда. Такой высокой эффективности удаётся добиться при использовании концентраторов солнечного излучения, при работе с которыми высоковольтные солнечные элементы не ухудшают своих характеристик, а количество кремния солнечного качества, используемого в таких установках, уменьшается. Такой солнечный теплофотоэлектрический модуль целесообразно использовать в концентраторной системе с получением тёплой воды на выходе.

В качестве применения разработанной методики создания трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей представлена солнечная теплофотоэлектрическая планарная черепица (Рис. 3), в состав которой входит 8 компонентов, выполняющих различные функции. Основным конструктивным элементом является корпус, к которому крепятся остальные компоненты. В качестве охлаждающего агента принята вода, которая омывает алюминиевый радиатор чёрного цвета. Герметизация солнечных элементов производится с помощью полисилоксанового двухкомпонентного компаунда, лицевой тонкой, прозрачной плёнки и чёрной ленты по периметру. Теплоизолирующую область представляет собой воздушная прослойка, которая с лицевой поверхности модуля ограничена оптически прозрачным стеклом.

Созданная трёхмерная модель кровельной солнечной панели ассоциируется с двумерным чертежом для получения конструкторской документации и последующей отработки технологии изготовления экспериментально модуля (Рис. 3).

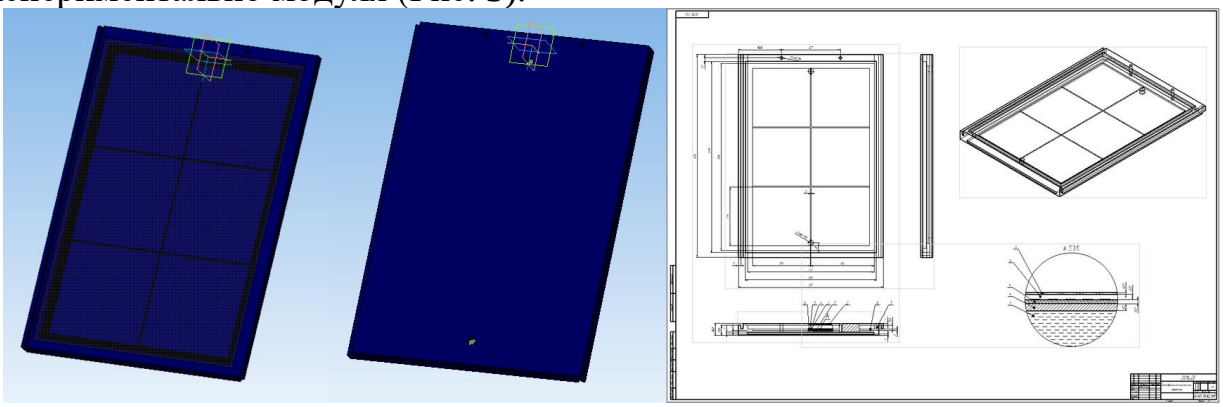


Рисунок 3 - Трёхмерная сборочная единица теплофотоэлектрической планарной кровельной панели и её чертёж.

Разработанные с помощью созданной методики трёхмерные модели приёмников солнечных теплофотоэлектрических модулей с различными параметрами планарного и концентраторного типов испытываются в программном комплексе конечно-элементного анализа Ansys для оптимизации конструкций приёмников.

Для уменьшения стоимости разработки и изготовления опытных образцов разрабатываемых модулей, целесообразно использовать быстрое прототипирование разрабатываемых образцов с помощью аддитивных технологий на примере 3D принтера. Однако для адекватности получаемого прототипа и разрабатываемой модели необходимо соответствие моделей в программных комплексах автоматизированного проектирования и слайсера 3D принтера, для чего и разработана методика изготовления трёхмерных твёрдотельных прототипов компонентов солнечных модулей с использованием послойной печати, реализуемая в программных комплексах 3D принтера и КОМПАС-3D (Рис. 4).

Рисунок 4 - Методика изготовления твёрдотельных прототипов компонентов солнечных модулей

В качестве реализации разработанной методики предлагается использовать корпус теплофотоэлектрической планарной кровельной панели. В разработанной методике большое внимание уделяется разработке двумерных и трёхмерных моделей разрабатываемых модулей наряду с самим процессом послойной печати твёрдотельного прототипа, который может изготавливаться из вторичного полиэтилена, что положительно сказывается на экологии.

Подложка солнечной кровельной панели может изготавливается и методом штамповки по матрице, который слишком затратен из-за подготовки оснастки для первичных экспериментальных модулей, которых могут ещё в дальнейшем ждать дополнительные доработки.

В случае же с трёхмерным прототипированием с помощью 3D принтера любые доработки модуля происходят в системах автоматизированного проектирования (трёхмерных моделях) и занимают незначительное время, а печать самого образца стоит на порядок меньше, чем при производстве, например, по технологии штамповки. По изготовленному твёрдотельному

образцу можно судить о целесообразности применения данной конструкции и в случае необходимости внести дополнения в трёхмерную модель с последующей печатью итогового прототипа модуля.

Наряду с фотоэлектрическими солнечными кровельными панелями планарной и концентраторной конструкции большой интерес представляют теплофотоэлектрические солнечные кровельные панели в виду увеличения электрической эффективности солнечных элементов и получения тёплой воды на выходе, что также увеличивает общую эффективность модуля. Такие солнечные модули обеспечат автономное или параллельное с сетью энергоснабжение различных стационарных объектов.

Разработанная методика создания трёхмерных моделей солнечных теплофотоэлектрических модулей, реализуемая в программном комплексе КОМПАС-3D, позволяет создавать трёхмерные модели модулей для дальнейших тепловых расчётов. Разработанная методика изготовления трёхмерных твёрдотельных прототипов компонентов солнечных модулей с использованием послойной печати, реализуемая в программных комплексах 3D принтера и КОМПАС-3D, позволяет экономить средства и мощности при экспериментальном производстве солнечных модулей с дальнейшей доработкой их конструкции посредством трёхмерной модели.

Созданная трёхмерная модель планарного теплофотоэлектрического солнечного модуля в виде теплофотоэлектрической кровельной планарной панели позволяет подготовить конструкторскую документацию на экспериментальный образец. Подготовленная конструкторская документация планарного теплофотоэлектрического солнечного модуля в виде кровельной панели позволяет отработать технологию изготовления и изготовить экспериментальный модуль для стационарной энергогенерации в сельском хозяйстве.

Список литературы

1. Стребков Д.С., Панченко В.А., Иродионов А.Е., Кирсанов А.И. Разработка кровельной солнечной панели // Вестник ВИЭСХ. 2015. № 4 (21), с. 107 – 111.

2. Стребков Д.С., Бобовников Н.Ю., Иродионов А.Е., Кирсанов А.И., Панченко В.А., Филиппченкова Н.С.. Программа "Один миллион солнечных крыш" в России // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 3 (24), с.80 – 83.

3. Патент РФ на изобретение № 2557272. Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Иродионов А.Е., Панченко В.А., Майоров В.А. Кровельная солнечная панель. Заявка: 2014123409/20, 09.06.2014. Опубликовано: 20.07.2015. Бюл. № 20.

4. Стребков Д.С., Персиц И.С., Панченко В.А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы // Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал. Инновации в возобновляемой энергетике. № 3(8)/2014, с. 154 – 158.

5. Панченко В.А., Стребков Д.С., Персиц И.С. Разработка солнечных модулей с увеличенным сроком номинальной работы // Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики. Сборник трудов III всероссийской научной конференции 19-20 июня 2015 г., Чебоксары. С. 91 – 94.

6. Электронный ресурс. Режим доступа: http://kompas.ru/ (дата обращения 01.05.18).

7. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.ansys.com/ (дата обращения 01.05.18).

8. Электронный ресурс. Режим доступа: http://jasolar.com/site/solar_Mono/564#level-2 (дата обращения 01.05.18).

9. Электронный ресурс. Режим доступа: https://us.sunpower.com/buy-solar-cells/ (дата обращения 01.05.18).

10. Панченко В.А., Стребков Д.С., Поляков В.И., Арбузов Ю.Д. Исследование высоковольтных солнечных модулей // Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики. Сборник трудов III всероссийской научной конференции 19-20 июня 2015 г., Чебоксары. С. 94 – 98.

11. Стребков Д. С., Панченко В. А. Высоковольтные солнечные батареи для питания электроракетных и плазменных двигателей // Всероссийская молодёжная научно-практическая конференция «Космодром «Восточный» и перспективы развития российской космонавтики», тезисы докладов, Углегорск – Благовещенск – Москва, 2015 г. С. 36 – 37.

12. Панченко В.А., Стребков Д.С., Поляков В.И., Арбузов Ю.Д. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В // Альтернативная энергетика и экология, 2015, № 19 (183). С. 76 – 81.

13. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.

14. Кувшинов В.В., Юферев Л.Ю. Использование термофотоэлектрических гелиопрофилей для аграрного сектора КРЫМА. Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 1 (26). С. 198-205.

References

1. Strebkov D.S., Panchenko V.A., Irodionov A.E., Kirsanov A.I. Razrabotka krovel'noj solnechnoj paneli [Development of a roofing solar panel] // Vestnik VIEHSKH. 2015. No 4 (21), p. 107 – 111.

2. Strebkov D.S., Bobovnikov N.YU., Irodionov A.E., Kirsanov A.I., Panchenko V.A., Filippchenkova N.S.. Programma "Odin million solnechnyh krysh" v Rossii [The One Million Solar Roofs Program in Russia] // Vestnik VIEHSKH. 2016. No 3 (24), p.80 – 83.

3. Patent RF na izobretenie № 2557272. Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Irodionov A.E., Panchenko V.A., Majorov V.A. Krovel'naya solnechnaya panel'. [The patent of the Russian Federation for the invention of the Roofing solar panel] Zayavka: 2014123409/20, 09.06.2014. Opublikovano: 20.07.2015. Byul. No 20.

4. Strebkov D.S., Persic I.S., Panchenko V.A. Solnechnye moduli s uvelichennym srokom sluzhby [Extended Life Solar Modules] // Innovacii v sel'skom hozyajstve. Teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal. Innovacii v vozobnovlyaemoj ehnergetike. No 3(8)/2014, p. 154 – 158.

5. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Persic I.S. Razrabotka solnechnyh modulej s uvelichennym srokom nominal'noj raboty [Development of solar modules with extended nominal life] // Nanostrukturirovannye materialy i preobrazovatel'nye ustrojstva dlya solnechnoj ehnergetiki. Sbornik trudov III vserossijskoj nauchnoj konferencii 19-20 iyunya 2015 g., CHeboksary. p. 91 – 94.

6. EHlektronnyj resurs. URL: http://kompas.ru/ (data obrashcheniya 01.05.18).

7. EHlektronnyj resurs. URL: http://www.ansys.com/ (data obrashcheniya 01.05.18).

8. EHlektronnyj resurs. URL: http://jasolar.com/site/solar_Mono/564#level-2 (data obrashcheniya 01.05.18).

9. EHlektronnyj resurs. URL: https://us.sunpower.com/buy-solar-cells/ (data obrashcheniya 01.05.18).

10. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Polyakov V.I., Arbuzov YU.D. Issledovanie vysokovol'tnyh solnechnyh modulej [Research of high-voltage solar modules] // Nanostrukturirovannye materialy i preobrazovatel'nye ustrojstva dlya solnechnoj ehnergetiki. [Nanostructured materials and converters for solar energy] Sbornik trudov III vserossijskoj nauchnoj konferencii 19-20 iyunya 2015 g., CHeboksary. p. 94 – 98.

11. Strebkov D. S., Panchenko V. A. Vysokovol'tnye solnechnye batarei dlya pitaniya ehlektroraketnyh i plazmennyh dvigatelej [High-Voltage Solar Panels for Powering Electric Rocket and Plasma Engines] // Vserossijskaya molodyozhnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Kosmodrom «Vostochnyj» i perspektivy razvitiya rossijskoj kosmonavtiki» [All-Russian Youth Scientific-Practical Conference “Vostochny Cosmodrome and Prospects for the Development of Russian Cosmonautics”], tezisy dokladov, Uglegorsk – Blagoveshchensk – Moskva, 2015 g. p. 36 – 37.

12. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Polyakov V.I., Arbuzov YU.D. Vysokovol'tnye solnechnye moduli s napryazheniem 1000 V [High Voltage Solar Modules with Voltage 1000 V] // Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya [Alternative Energy and Ecology], 2015, No 19 (183). p. 76 – 81.

13. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki organicheskih othodov [Methods for assessing the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the operation of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergetic processing of organic waste]. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, p. 198.

14. Kuvshinov V.V., YUferev L.YU. Ispol'zovanie termofotoehlektricheskih gelioprofilej dlya agrarnogo sektora KRYMA. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2018. № 1 (26). S. 198-205.

УДК 658.261

УСТРОЙСТВО, СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ЗАРЯД ОТ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

DEVICE, STABILIZING CHARGE FROM SOLAR BATTERIES

***И. А. ПОГОРЕЛОВ**, техник, Колледж телекоммуникаций Московского Технического Университета Связи и Информатики, **В. А. ПАНЧЕНКО**, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Российский университет транспорта (МИИТ), ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***I. A. POGORELOV**, technic, College of telecommunications Moscow Technical University of Communications and Informatics, **V. A. PANCHENKO**, candidate of technical Sciences, associate Professor, senior researcher, Russian University of transport (MIIT), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В представленной статье рассмотрены устройство и принцип работы зарядного устройства, устанавливаемого между солнечными модулями и мобильными электроустройствами для стабилизации параметров входного напряжения и обеспечения совместимости со смартфонами. В основе данного устройства лежит буферный аккумулятор, позволяющий поддерживать выходные параметры неизменными независимо от параметров внешней среды, таких как освещённость и облачность. Для аккумуляторной батареи предусмотрена защита от перезаряда и переразряда, а также от перегрева. Подключение пользовательских устройств производится через интерфейс стандарта USB.*

***Ключевые слова**: зарядное устройство, буферный аккумулятор, электроснабжение, микроконтроллер, стандарт USB, схемотехника, солнечная энергетика, солнечный модуль.*

***Abstract**. In the article the construction and the operating principle of the charger installed between solar modules and a mobile phone for stabilizing the parameters of the input voltage and ensuring compatibility with smartphones are presented. At the heart of this device is a buffer battery, which allows to maintain the output parameters unchanged regardless of the parameters of the external environment, such as illumination and cloudiness. There is protection of the battery against overcharging, over discharge and overheating. User devices are connected via the USB interface.*

***Keywords**: charger, buffer battery, power supply, microcontroller, USB standard, circuit technology, solar energy, solar module.*

В последнее время потребительская электроника (смартфоны, планшеты, плееры) получила широкое распространение. С каждым годом расширяется функционал таких устройств, и улучшаются их параметры, что приводит к повышению электропотребления. Производители мобильных устройств не устанавливают аккумуляторы большой ёмкости, потому что это приведёт к увеличению габаритов, массы и стоимости электроустройств. Такое явление приводит пользователей к необходимости покупки внешних аккумуляторов (Power Bank) или поиску других способов зарядки электроустройств. Один из таких способов – использование компактных солнечных модулей [1-4] (Рис. 1). Этот способ особенно актуален, когда человек проводит много времени на улице, например, прогулки, походы или работа на открытом воздухе.

Рисунок 1 - Компактные складные солнечные модули

Солнечные модули в состоянии обеспечить достаточно электроэнергии для зарядки современного телефона [5, 6]. Такие модули можно подключать к устройству напрямую, но это может привести к некоторым проблемам. Во-первых, параметры освещённости могут изменяться с течением времени. Если солнечная панель стоит неподвижно, то это может быть вызвано изменением положения солнца, движением облаков, тенью от людей или других подвижных или неподвижных объектов. Если панель находится в подвижном состоянии (например, закреплена на сумке), то параметры освещённости могут варьироваться в различных условиях. Если пользователь заходит в тёмное место, то ток сильно уменьшается, а напряжение проседает. Такие явления приводят к нестабильной зарядке, из-за которой на некоторых устройствах может срабатывать защита. В итоге электроустройство может перестать заряжаться. Во-вторых, данный источник питания может быть просто не распознан электроустройством при слабой проработке выходного штекера USB, что приведёт к невозможности зарядки. Производители электроустройств встраивают такой тип защиты в смартфоны.

Рассмотренные нюансы приводят к необходимости использования устройства, которое позволяло бы сохранять выходные параметры неизменными независимо от внешних факторов, а также обеспечивать совместимость с современными смартфонами и планшетами.

Структурная схема зарядного устройства приведена на Рис. 2.

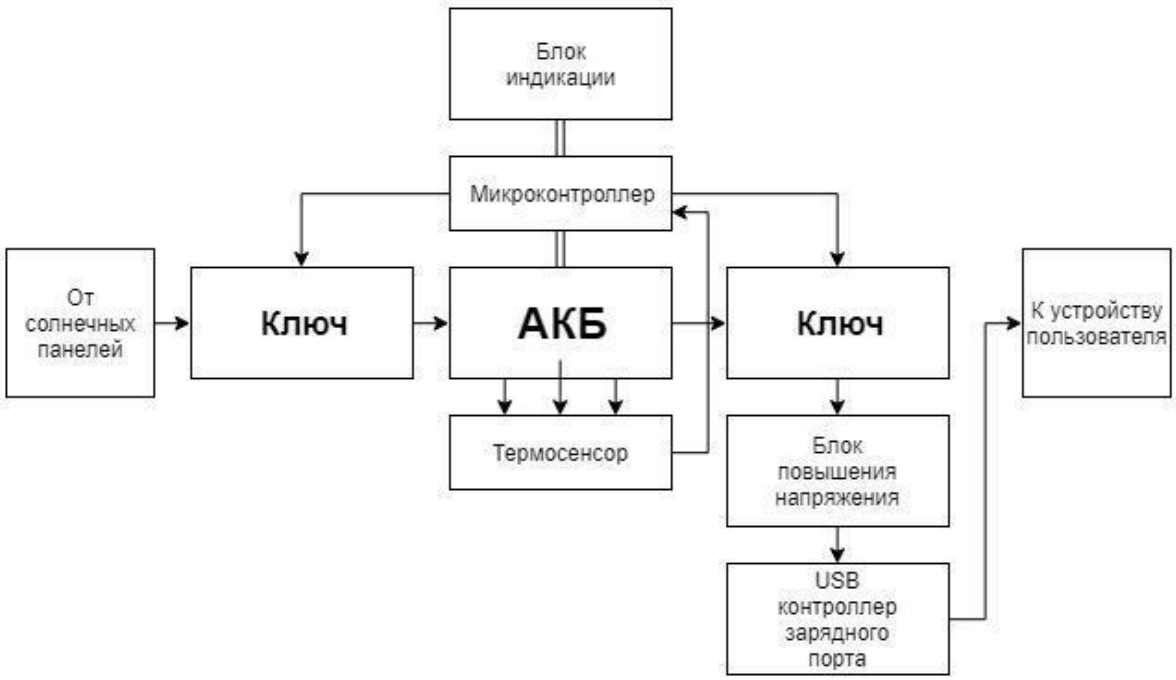


Рисунок 2 - Структурная схема устройства для зарядки различных электроустройств от солнечных батарей

Основным элементом зарядного устройства является аккумуляторная батарея (*АКБ*). Для защиты АКБ от перезаряда или переразряда применяются ключи и микроконтроллер. Основная задача микроконтроллера – измерение напряжения на АКБ и управление ключами.

В качестве ключевых элементов могут быть использованы микросхемы STMP2161, которые способны коммутировать напряжение от 2.7 до 5.5 Вольт [7].

Современные микроконтроллеры содержат аналого-цифровые преобразователи (АЦП), которые позволяют измерять напряжение, но данный метод имеет большую погрешность из-за нестабильного напряжения на входе контроллера. Для повышения точности измерений используется возможность измерения внутреннего опорного напряжения, которую предоставляют многие AVR контроллеры [8].

Значение внутреннего опорного напряжения составляет 1.1 В. Относительно этого значения можно измерять значения внешних источников, вычисляя его из показаний АЦП при подаче на него внутреннего опорного напряжения и значения АЦП при подаче на него напряжения с АКБ.

Для безопасной и продолжительной работы аккумулятора необходимо, чтобы напряжение на нём было не ниже 3 Вольт и не превышало значения 4.2 Вольта [7]. Для защиты от перезаряда и переразряда на схеме предусмотрены ключи. При превышении напряжения в 4.2 Вольта АКБ будет отключена от источника энергии. Если значение опустилось ниже 3 Вольт, то будет приостановлена зарядка подключенных устройств.

Для защиты АКБ от перегрева используется термосенсор. Он позволяет измерять температуру батареи. При превышении максимального значения в 45 градусов [10] АКБ будет отключена, пока параметры температуры не придут в норму.

Для того, чтобы пользователь мог определить уровень заряда батареи, предусмотрен блок индикации. Значение заряда выводится на 4 светодиода.

Далее напряжение повышается и стабилизируется в блоке повышения напряжения, после чего подается на устройство пользователя через USB контроллер зарядного порта.

Напряжение на АКБ варьируется от 3 до 4.2 Вольт, но для зарядки мобильных устройств требуется напряжение, равное 5 вольтам. Для повышения напряжения, полученного с АКБ, используется блок, представленный на рисунке 3.

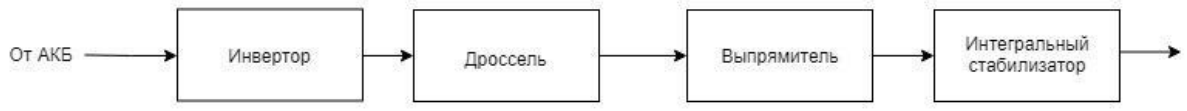


Рисунок 3 - Структурная схема блока повышения напряжения.

Для повышения напряжения используется дроссель. Для работы данной схемы требуется переменное напряжение [9], для получения которого используется инвертор.

Для работы умножителя требуется подать на вход переменное напряжение. Для преобразования постоянного напряжения батареи в переменное используется инвертор. После преобразования полученное напряжение необходимо выпрямить, для чего используется выпрямитель (диодный мост и фильтры).

Напряжение на выходе умножителя напряжения может варьироваться в зависимости от уровня заряда батареи, температуры окружающей среды и многих других условий. Для того чтобы привести значение напряжения к стандарту 5 Вольт, используется интегральный стабилизатор напряжения, который способен поддерживать стабильные выходные параметры независимо от входных [12]. Примером такого устройства может являться КР142ЕН5В отечественного производства. Данная микросхема имеет фиксированное выходное напряжение 5 Вольт и рассчитано на максимальный ток 1.5 Ампера, чего достаточно для зарядки большинства смартфонов.

USB контроллер зарядного порта обеспечивает совместимость с большинством современных мобильных телефонов [13]. Микросхема TPS2513 может определять стандарт подключенного устройства и подавать необходимое напряжение на контакты для передачи данных.

Для прототипирования используются стандартные корпуса для микроэлектроники, однако возможно и использование трёхмерной печати. Для вывода рассматриваемого устройства на рынок планируется разработать оригинальный пластмассовый корпус. Устройство будет включать в себя встроенные солнечные элементы. На корпусе будут предусмотрены крепления

на рюкзаки и сумки разных видов. Для долговечной эксплуатации требуется изготовить корпус, соответствующий стандарту не ниже IP54.

В настоящее время рассматриваемое устройство имеет высокую актуальность. После тестирования прототипов и доработки принципиальных схем следует начать мелкосерийное производство со сбором средств с помощью платформы краудфандинга.

В будущем планируется дополнить разрабатываемое устройство функцией быстрой зарядки (Quick charge 3.0).

В результате проведённой работы была разработана принципиальная схема устройства, позволяющего заряжать носимую электронику от солнечных батарей со стабильными параметрами электроснабжения. Данная разработка имеет высокую актуальность и может занять свою нишу на рынке аксессуаров для мобильных электроустройств.

Список литературы

1. Панченко В.А. Разработка и испытание складных, секционных и гибких солнечных модулей // Вестник ВИЭСХ, 2015, № 3 (20), с. 50 – 57.
2. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.
3. V. Panchenko. The development and testing of folding, sectional and flexible solar modules. Research in Agricultural Electric Engineering. Volume 3, 2015, № 3, pp 90 - 97.
4. Гусаров В.А., Иродионов А.Е., Майоров В.А., Сагинов Л.Д. Исследование характеристик работы солнечной электроустановки /Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 4-2 (124). С. 21-25.
5. Ушакова Л.В. Электронная техника. Учебное пособие.- // М., УМЦ СПО 2000.
6. Ушакова Л.В. Электронная техника. Учебное пособие.- // М., УМЦ СПО 2008.
7. Электронный ресурс. Режим доступа: http://chipenable.ru/index.php/electronic-components/item/205-silovye-klyuchi-stmps2141-stmps2151-stmps2161-stmps2171.html (дата обращения 01.05.18).
8. Электронный ресурс. Режим доступа: http://tim4dev.com/arduino-secret-true-voltmeter/ (дата обращения 01.05.18).
9. Электронный ресурс. Режим доступа: https://dim565.ru/правила-эксплуатации-литиевых-аккум/ (дата обращения 01.05.18).
10. Электронный ресурс. Режим доступа: https://habr.com/company/mugenpower/blog/171845/ (дата обращения 01.05.18).
11. Электронный ресурс. Режим доступа: http://samodelnie.ru/publ/samodelnye_invertory/moshhnyj_bestransformatornyj_preobrazovatel/2-1-0-124 (дата обращения 01.05.18).
12. Электронный ресурс. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилизатор_напряжения (дата обращения 01.05.18).

13. Электронный ресурс на иностранном языке. Режим доступа: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2513.pdf (дата обращения 01.05.18).

References

1. Panchenko V.A. Razrabotka i ispytanie skladnyh, sekcionnyh i gibkih solnechnyh module [Development and testing of folding, sectional and flexible solar modules] // Vestnik VIEHSKH, 2015, No 3 (20), p. 50 – 57.

2. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki organicheskih othodov.[Methods for assessing the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the operation of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergetic processing of organic waste] otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, p. 198.

3. V. Panchenko. The development and testing of folding, sectional and flexible solar modules. Research in Agricultural Electric Engineering. Volume 3, 2015, № 3, pp 90 - 97.

4. Gusarov V.A., Irodionov A.E., Majorov V.A., Saginov L.D. Issledovanie harakteristik raboty solnechnoj ehlektroustanovki [Investigation of solar electrical performance] /Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya. 2013. No 4-2 (124). p. 21-25.

5. Ushakova L.V. EHlektronnaya tekhnika. Uchebnoe posobie.-[Electronic equipment] // M., UMC SPO 2000.

6. Ushakova L.V. EHlektronnaya tekhnika. Uchebnoe posobie.- [Electronic equipment] // M., UMC SPO 2008.

7. EHlektronnyj resurs. URL: http://chipenable.ru/index.php/electronic-components/item/205-silovye-klyuchi-stmps2141-stmps2151-stmps2161-stmps2171.html (data obrashcheniya 01.05.18).

8. EHlektronnyj resurs. URL: http://tim4dev.com/arduino-secret-true-voltmeter/ (data obrashcheniya 01.05.18).

9. EHlektronnyj resurs. URL: https://dim565.ru/pravila-ehkspluatacii-litievyh-akkum/ (data obrashcheniya 01.05.18).

10. EHlektronnyj resurs. URL: https://habr.com/company/mugenpower/blog/171845/ (data obrashcheniya 01.05.18).

11. EHlektronnyj resurs. URL: http://samodelnie.ru/publ/samodelnye_invertory/moshhnyj_bestransformatornyj_preobrazovatel/2-1-0-124 (data obrashcheniya 01.05.18).

12. EHlektronnyj resurs. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Stabilizator_napryazheniya (data obrashcheniya 01.05.18).

13. EHlektronnyj resurs na inostrannom yazyke. URL: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2513.pdf (data obrashcheniya 01.05.18).

УДК 621.577

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КОНТУРАХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

HEAT CARRIER COMPOSITION OPTIMIZATION FOR APPLICATION IN LOW-TEMPERATURE CONTOURS OF HEAT PUMP INSTALLATIONS

А.О. СЫЧЁВ, В.В. ХАРЧЕНКО, *д.т.н., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*
A.O. SYCHYOV, V.V. HARCHENKO*, doctor of technical Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Рассматривается вопрос выбора оптимального состава теплоносителя для низкотемпературных контуров теплонасосных установок, в особенности использующих низкопотенциальную теплоту поверхностных водотоков. Оценивается влияние вязкости составов на показатели эффективности установки, содержащей металлический погружной теплообменник, вода-теплоноситель. Предложен состав теплоносителя, обеспечивающий высокие показатели эффективности при малых капитальных затратах.*

Ключевые слова*: теплоноситель, тепловой насос, низкотемпературный контур, вязкость, хлорид кальция.*

Abstract*. The question of choosing the optimal composition of the heat carrier for low-temperature contours of heat pump installations, especially using low-grade heat of surface watercourses, is considered. The influence of the viscosity of the compositions on the performance of the installation containing a metal submersible water-medium heat exchanger is estimated. The composition of the heat carrier providing high rates of efficiency at small capital expenditure is offered.*

Keywords*: heat carrier, heat pump, low-temperature circuit, viscosity, calcium chloride.*

Во многих странах мира теплонасосные установки (ТНУ) внедряются и активно используются в сфере теплоснабжения уже длительное время, особенно для теплоснабжения частных домов, где они являются хорошей альтернативой газовым, жидкотопливным или твёрдотопливным котлам, а также устройствам прямого электрообогрева в тех случаях, когда отсутствует подключение к магистральному газопроводу и источниками энергии могут служить только электросеть или завозное топливо [1, 2].

Для отбора низкопотенциальной теплоты от среды, такой как грунт или вода в поверхностном водоёме, и передачи её непосредственно к испарителю теплового насоса как правило используют контур с циркулирующим промежуточным теплоносителем. Основной частью данного контура является либо так называемый горизонтальный коллектор, представляющий собой уложенные в горизонтальной плоскости в толщу грунта или на дно водоёма петли пластиковых труб, либо коллектор из нескольких U-образных трубных зондов, помещённых в скважины.

Ранее была предложена альтернативная схема организации контура отбора низкопотенциальной теплоты от водной среды, прежде всего от водотоков, на основе использования специальных погружных теплообменников

вода-теплоноситель с металлической теплообменной поверхностью (Рис. 1) [3]. Благодаря увеличению плотности теплового потока и, соответственно, уменьшению необходимой поверхности теплообмена такая схема позволяет значительно сократить материалоёмкость конструкции и трудоёмкость её изготовления. Кроме того, уменьшение требуемой теплообменной поверхности ведёт к сокращению объёмов теплоносителя в низкотемпературном контуре теплонасосной установки, что может вполне ощутимо сказываться на общей стоимости установки.

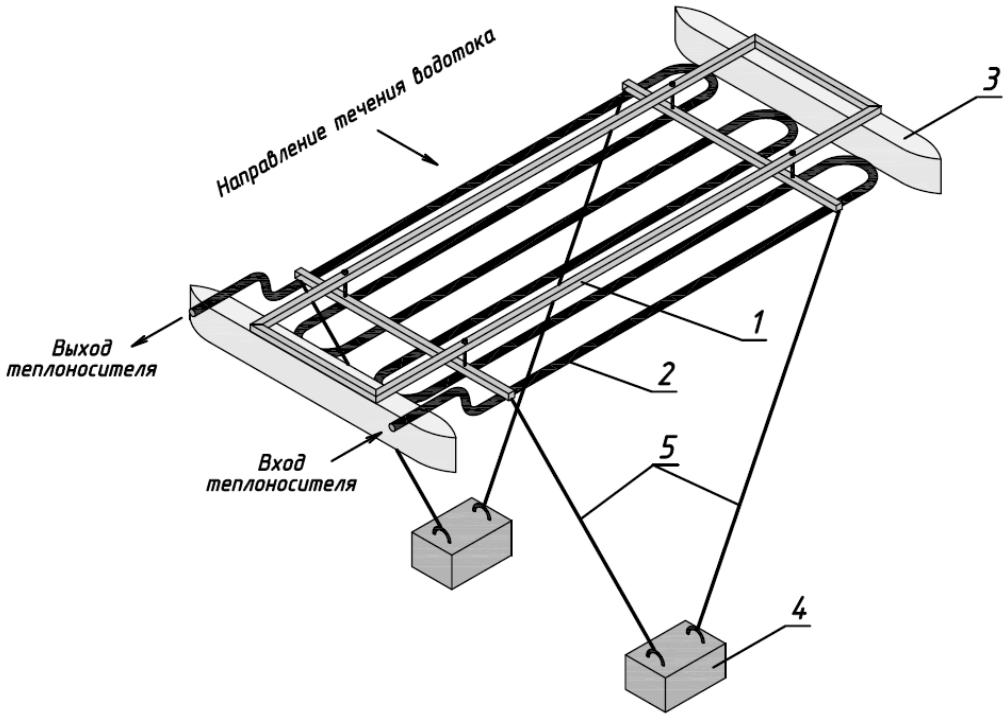


Рисунок 1 - Погружной плавучий теплообменник вода-теплоноситель: 1 – рама, 2 – змеевик, 3 – поплавки, 4 – грузы-якоря, 5 – тросы

В ходе исследований в данном направлении стало очевидно, что основным фактором, ограничивающим возможность увеличения плотности теплового потока от среды к теплоносителю, является высокая вязкость традиционных низкозамерзающих теплоносителей при околонулевых температурах, характерных для низкотемпературных контуров ТНУ. Следствием высокой вязкости является невозможность преодолеть границу ламинарного режима течения в трубах теплообменника при приемлемых энергозатратах на циркуляцию теплоносителя. Ламинарный же режим течения характеризуется низким коэффициентом теплопередачи от теплообменной поверхности к жидкости, что не позволяет сократить поверхность теплообмена и перейти от масштабных коллекторов из пластиковых труб к компактным металлическим теплообменникам. Более того, этот же фактор существенно ухудшает и характеристики низкотемпературных контуров с коллекторами из пластиковых труб. Таким образом, вопрос поиска наилучшего теплоносителя является актуальным при любых схемах отбора низкопотенциальной теплоты.

В настоящее время в качестве теплоносителей в низкотемпературных контурах ТНУ применяют, как правило, растворы этиленгликоля или

пропиленгликоля, являющиеся традиционными теплоносителями для контуров отопления частных домов. Причина применения концентрированных низкозамерзающих растворов даже в контурах ТНУ, в которых в рабочем режиме не предусматривается снижение температуры теплоносителя существенно ниже 0 °С, та же, что и для контуров отопления – необходимость не допустить замерзания жидкости в системе в случае простоя в холодное время года. Таким образом, в случае наличия участков низкотемпературного контура ТНУ, расположенных на открытом воздухе, для условий центральной России требуется применение достаточно концентрированных растворов, остающихся жидкими по крайней мере до -30 °С. Применяемые растворы этиленгликоля и пропиленгликоля в требуемых концентрациях имеют значительную вязкость при околонулевых температурах. Так, раствор этиленгликоля, не замерзающий вплоть до температуры -30 °С, при 5 °С имеет динамическую вязкость в пять раз выше, чем у воды, а раствор пропиленгликоля для тех же условий – более чем в десять раз. Помимо прочего, этиленгликоль является токсичным для человека и окружающей среды веществом, что делает его нежелательным для применения в системах, разгерметизация которых может привести к попаданию теплоносителя в почву и воду.

В поисках оптимального состава теплоносителя для низкотемпературных контуров был проведён анализ множества составов, применяемых в холодильной технике в качестве хладоносителей. В холодильной технике, в отличие от теплонасосных систем теплоснабжения, нет такой острой необходимости добиваться минимального градиента температур в теплообменных устройствах и минимальных энергозатрат на циркуляцию хладоносителей, но, тем не менее, во многих случаях определяющим критерием остаётся вязкость состава при низких температурах.

В случае же теплонасосных систем теплоснабжения эффективность установки играет решающую роль. Эффективность теплового насоса определяется коэффициентом преобразования СОР, равным отношению вырабатываемой теплоты к затрачиваемой электроэнергии. Теплофизические свойства теплоносителя низкотемпературного контура влияют как на величину теплопроизводительности (улучшение теплообмена ведёт к приближению температуры испарения фреона к температуре источника низкопотенциальной теплоты, что увеличивает эффективность непосредственно теплового насоса), так и к снижению затрат электроэнергии на циркуляцию теплоносителя. Чтобы оценить влияние различных параметров теплоносителя на итоговую величину СОР ТНУ были проведены исследования на разработанной математической модели теплонасосной установки [4].

Помимо уже упомянутых растворов этиленгликоля и пропиленгликоля в качестве хладоносителей применяются множество других составов на основе органических соединений: водные растворы спиртов, глицерина, солей муравьиной (формиаты) и уксусной (ацетаты) кислот, в более редких случаях – ацетон, дихлорметан, трихлорэтилен и др. Среди неорганических составов выделяются водные растворы хлорида натрия и хлорида кальция.

Водные растворы спиртов даже невысокой концентрации имеют достаточно низкие температуры замерзания, что обусловлено низкими температурами кристаллизации чистых веществ. Составы на основе спиртов обладают сравнительно невысокой коррозионной активностью и относительно хорошими теплофизическими свойствами. Однако, метиловый спирт ядовит и применять его в качестве теплоносителя крайне нежелательно. Наиболее приемлемым видится использование теплоносителей на основе этилового спирта, но и в этом случае вязкость растворов оказывается недостаточно низкой для обеспечения эффективного теплообмена.

Составы на основе глицерина по токсичности и другим свойствам близки к пропиленгликолевым, но обладают еще более высокой вязкостью, а также большей активностью по отношению к полимерным прокладочным материалам [5].

Водные растворы ацетата калия и формиата калия пригодны к использованию при температурах до -55 °С. Формиатные теплоносители имеют ряд существенных положительных свойств: достаточно низкая вязкость, хорошая теплопроводность и высокая удельная теплоемкость, нетоксичность, невоспламеняемость, быстрая биоразрушаемость. Ацетатные хладоносители несколько уступают формиатным по большинству теплофизических свойств, но характеризуются более низкой температурой замерзания и более плавной кривой зависимости вязкости и температуры замерзания от концентрации [6]. К недостаткам обоих типов теплоносителей можно отнести их коррозионную активность (но следует отметить, что широко применяемый в настоящие время этиленгликоль также оказывает существенное коррозионное воздействие на металлы и требует применения ингибиторов коррозии). Кроме того, они плохо совместимы с мягкими припоями и хлоридсодержащими флюсами [7].

Водные растворы хлорида кальция и натрия хорошо известны и проверены на практике. Водный раствор хлорида кальция широко применяют в современной холодильной технике благодаря хорошим теплофизическим свойствам и возможности использования в широком диапазоне температур (Рис. 1). Раствор $CaCl_2$ имеет большую коррозионную активность, чем раствор NaCl, по отношению к черным металлам и меди, однако, из-за более низкой температуры замерзания и меньшей стоимости раствор хлорида кальция находит большее распространение [8].

В результате сравнения характеристик множества составов было определено, что наиболее подходящими по теплофизическим характеристикам являются растворы солей (хлориды, формиаты, ацетаты), но по совокупности критериев наилучшим составом на роль низкотемпературного теплоносителя для теплонасосных установок видится водный раствор хлорида кальция с добавлением ингибиторов коррозии, выбор которых определяется входящими в состав элементов контура металлами.

Хлористый кальция достаточно безопасен для человека и окружающей среды и является широко применяемой пищевой добавкой. Растворы на его основе часто применяют в качестве хладоносителя в холодильных установках на пищевых производствах, где от хладоносителя требуется в первую очередь

безопасность. Кроме того, хлорид кальций в больших объёмах применяют как противогололёдный агент на дорогах, где он в последнее время часто вытесняет традиционный хлорид натрия. Как широко применяемое вещество и побочный продукт производства аммиака, хлористый кальций характеризуется низкой стоимостью, что является существенным фактором, влияющим на общую стоимость ТНУ.

Теплоноситель на основе хлорида кальция с добавлением бензотриазола и тетрабората натрия в качестве ингибиторов коррозии был успешно применён в экспериментальной теплонасосной системе теплоснабжения жилого дома.

На Рис. 2 показана полученная в результате расчётов зависимость ожидаемого коэффициента преобразования COP экспериментальной теплонасосной установки при определённых условиях (температура воды в водотоке 8 °C, оптимальный расход теплоносителя и т.д.) от динамической вязкости теплоносителя низкотемпературного контура и отмечены значения динамической вязкости воды, 21-процентного раствора хлорида кальция и 37-процентного раствора пропиленгликоля (температура замерзания обоих растворов составляет -20 °C) при средней температуре теплоносителя в контуре 5 °C. По графику видно, что теплоноситель на основе хлорида кальция обеспечивает существенно более лучшие характеристики теплонасосной установки, нежели пропиленгликолевый теплоноситель.

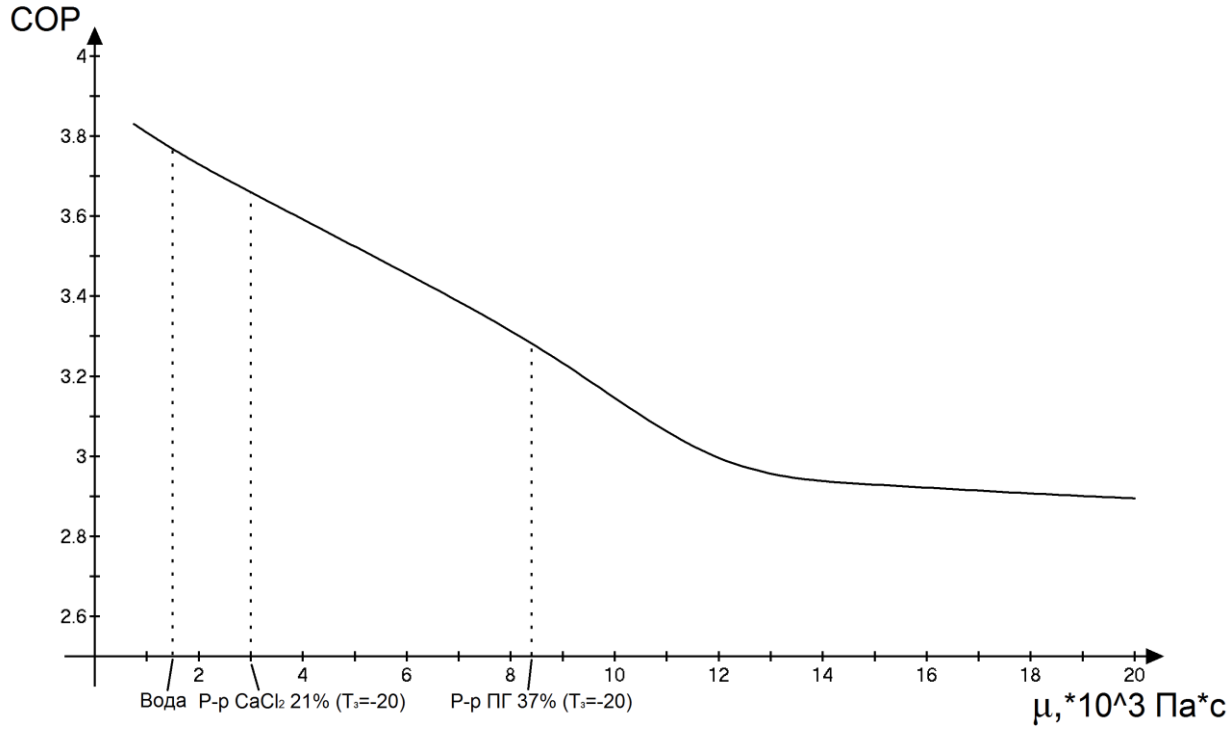


Рисунок 2 - Расчётная зависимость COP теплонасосной установки от динамической вязкости теплоносителя низкотемпературного контура

Применение раствора хлористого кальция в качестве теплоносителя низкотемпературного контура теплонасосной установки позволяет добиться высоких показателей эффективности работы и сделать незначительной долю стоимости теплоносителя в общей стоимости системы, что в конечном итоге ощутимо сокращает срок окупаемости таких установок.

Список литературы

1. Есяков С.Я., Лачуга Ю.Ф., Варфоломеев С.Д., Редько И.Я., Васильев А.Н Потенциал использования возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве. Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. № 1 (169). С. 88-92.

2. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.

3. Сычёв, А. О., Харченко, В. В. Теплоснабжение сельского дома с использованием низкопотенциальной теплоты открытых водотоков / А. О. Сычёв , В. В. Харченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 1. – С. 14-17;

4. Харченко, В. В., Сычёв, А. О. Оптимизация низкотемпературного контура теплонасосной установки на основе теплоты поверхностных вод / В. В. Харченко, А. О. Сычёв // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 7. – С. 31-36;

5. Цветков, О. Б., Лаптев, Ю. А. Одно- и двух фазные жидкие хладоносители / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев // Холодильная техника. – 2004. – №10;

6. Генель, Л. С., Галкин, М. Л. Выбор промежуточных хладоносителей / Л. С. Генель, М. Л. Галкин // Холодильный бизнес. – 2005. – №14;

7. Кириллов, В. В., Петров, Е. Т. Пути оптимизации свойств хладоносителей контуров промежуточного охлаждения / В. В. Кириллов, Е. Т. Петров // Известия СПбГУНиПТ. – 2003. – №1;

8. Баранник, В. П., Маринюк, Б. Т. Низкотемпературные экологически чистые хладоносители / В. П. Баранник, Б. Т. Маринюк // Холодильная техника. – 2003. – №6.

References

1. Esyakov S.YA., Lachuga YU.F., Varfolomeev S.D., Red'ko I.YA., Vasil'ev A.N Potencial ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov ehnergii v sel'skom hozyajstve. Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie. [The potential use of renewable energy in agriculture. Plumbing, heating, air conditioning.] 2016. No 1 (169). p. 88-92.

2. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki organicheskih othodov [Methods for assessing the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the operation of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergetic processing of organic waste], otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, p. 198.

3. Sychyov, A. O., Harchenko, V. V. Teplosnabzhenie sel'skogo doma s ispol'zovaniem nizkopotencial'noj teploty otkrytyh vodotokov [Heat supply of a rural house using low-potential

heat of open water courses] / A. O. Sychyov , V. V. Harchenko // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 2015. – No 1. – p. 14-17;

4. Harchenko, V. V., Sychyov, A. O. Optimizaciya nizkotemperaturnogo kontura teplonasosnoj ustanovki na osnove teploty poverhnostnyh vod [Optimization of the low-temperature contour of the heat pump installation based on the heat of the surface water] / V. V. Harchenko, A. O. Sychyov // Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya. – 2013. – No 7. – p. 31-36;

5. Cvetkov, O. B., Laptev, YU. A. Odno- i dvuh faznye zhidkie hladonositeli [One- and two-phase liquid coolants] / O. B. Cvetkov, YU. A. Laptev // Holodil'naya tekhnika. – 2004. – No 10;

6. Genel', L. S., Galkin, M. L. Vybor promezhutochnyh hladonositelej [Choice of intermediate coolants] / L. S. Genel', M. L. Galkin // Holodil'nyj biznes. – 2005. – No 14;

7. Kirillov, V. V., Petrov, E. T. Puti optimizacii svojstv hladonositelej konturov promezhutochnogo ohlazhdeniya [Ways to optimize the properties of coolants of intermediate cooling circuits] / V. V. Kirillov, E. T. Petrov // Izvestiya SPbGUNiPT. – 2003. – No 1;

8. Barannik, V. P., Marinyuk, B. T. Nizkotemperaturnye ehkologicheski chistye hladonositeli [Low-temperature environmentally friendly refrigerants] / V. P. Barannik, B. T. Marinyuk // Holodil'naya tekhnika. – 2003. – No 6.

УДК 620.91

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЕРВУАРА-АБСОРБЕРА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО МОДУЛЯ

PV THERMAL MODULE TANK-ABSORBER DESIGN OPTIMIZATION

***П.В. ТИХОНОВ**, к.т.н., **А.О. СЫЧЁВ**, **В.В. ХАРЧЕНКО**, д.т.н. профессор,*
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
***P.V. TIHONOV**, cand. tech. sci., **A.O. SYCHYOV**, **V.V. HARCHENKO**, d-r tech. sci., Profes., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Для когенерационной выработки тепловой и электрической энергии используется специальный класс устройств – фотоэлектрические тепловые (ФЭТ) модули. В течение длительного периода в разных странах проводятся работы по совершенствованию конструкции этих устройств. Особое значение имеет проблема повышения эффективности преобразования приходящей солнечной радиации в тепловую энергию, поскольку имеющие место при этом теплообменные процессы обеспечивают эффективный теплоотвод от фотоэлектрических преобразователей, что повышает их эффективность. В статье рассмотрены вопросы оптимизации конструкции теплогенерирующей части ФЭТ модуля предложенной авторами упрощенной конструкции.*

***Ключевые слова**: солнечная радиация, фотоэлектрическое преобразование, когенерация, тепловая энергия, фотоэлектрический тепловой модуль, резервуар-абсорбер.*

***Abstract**. For the cogeneration of heat and electricity a special class of devices, namely PV Thermal modules is used. For a long period in various countries being made to improve the design of these devices.*

The problem of increase of efficiency of coming solar radiation transformation into thermal energy as taking place thus heat exchange processes provide an effective heat-conducting path from solar cells that raises their efficiency has special value. In article issues of optimization of a design heat generating part of the simplified design PVTM offered by authors are considered.

***Keywords**: solar radiation, photoelectric conversion, cogeneration, thermal energy, PV thermal module, tank-absorber.*

Солнечная энергия на практике используется для получения тепловой энергии в виде горячей волы с помощью солнечных водонагревательных коллекторов и для генерации электрической энергии с помощью фотоэлектрических преобразователей (солнечных элементов), скоммутированных в модули и батареи. Для комплексного энергоснабжения тех или иных объектов, как правило, устанавливали как системы коллекторов, так и набор солнечных элементов заданной мощности. Существует альтернативная схема, при которой функции фотоэлектрического преобразователя и теплового коллектора объединяются в одном устройстве [1, 2], получившем название фотоэлектрического теплового модуля (ФЭТ модули) (PV Thermal modules). Масштаб использования этих устройств непрерывно возрастает во всем мире, в том числе и в Европе [3]. В России их использование на сегодняшний день ограничено, что объясняется их высокой дороговизной, громоздкими габаритами и невысокой эффективностью работы

на значительной территории России, поскольку не во многих регионах РФ уровень приходящей солнечной радиации достаточно высок для стабильной работы существующих ФЭТ модулей.

В целях упрощения конструкции ФЭТ модулей, снижения их стоимости при сохранении технических характеристик на высоком уровне предпринято множество попыток [4]. Совершенствование конструкции ФЭТ модуля представляет собой сложную задачу, требующую нахождения компромисных решений. Так, с точки зрения потребителя горячей воды желательно увеличение температуры её выработки, но это невозможно без увеличения температуры фотоэлементов, что ведёт к снижению эффективности фотоэлектрического преобразования и объёма выработки электроэнергии. Важной задачей при проектировании ФЭТ модулей является интенсификация процесса теплопереноса от абсорбирующей поверхности к жидкости с целью минимизации температуры фотоэлементов при сохранении достаточной температуры вырабатываемой горячей воды [5, 6].

Авторами проведён анализ известных конструкций ФЭТ модулей [7] и предложена упрощенная конструкция устройства, перспективного для использования в условиях РФ, в котором в качестве абсорбера установлен плоский резервуар в форме паралелепипеда, соответствующий по размерам панели с фотоэлементами. Принципиальная схема разработанного ФЭТ модуля представлена на Рис. 1.

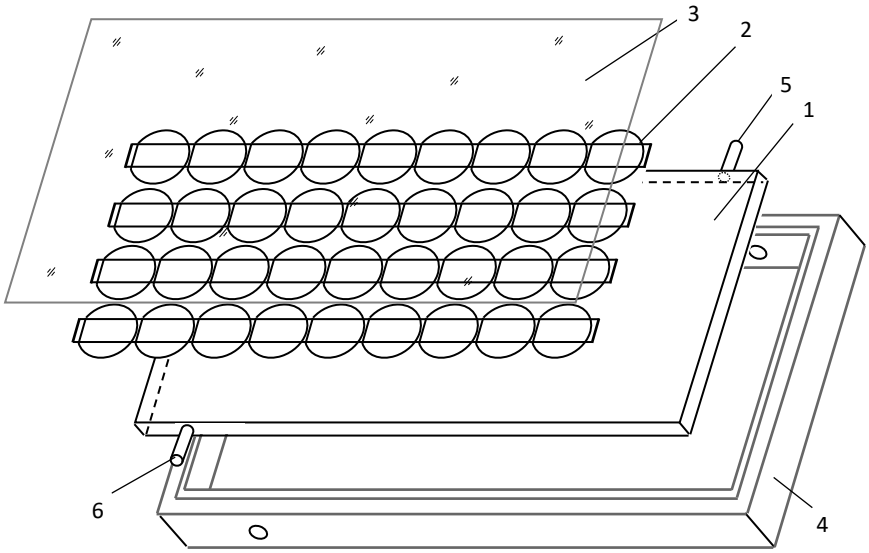


Рисунок 1 - Принципиальная схема разработанного макета ФЭТ-модуля
1 – резервуар-абсорбер; 2 – батарея ФЭП; 3 – стекло; 4 – теплоизолированный корпус; 5 – заливной патрубок; 6 – сливной патрубок.

Указанная конструкция ФЭТ модуля предусматривает периодичный характер выработки горячей воды. Объём резервуара заполняется водой, которая нагревается при поступлении солнечнеого излучения и, в то же время, ограничивает рост температуры батареи фотоэлектрических преобразователей, закреплённых на поверхности резервуара. По достижении заданной температуры система управления открывает впускные и выпускные клапаны и нагретая вода вытесняется новой порцией. В таком резервуаре вода нагревается

в замкнутом объёме и принудительный массообмен отсутствует. В этом случае эффективность отвода теплоты от поверхности-абсорбера в значительной степени определяется интенсивностью конвекционных потоков воды внутри резервуара и геометрией распределения этих потоков в объёме резервуара.

Настоящая работа по моделированию процессов тепломассообмена в объёме резервуара нацелена на получение результатов, позволяющих найти технические решения по оптимизации конструкции плоского резервуара-абсорбера ФЭТ модуля предложенной конструкции, в частности его геометрических размеров.

С целью решения поставленной задачи проведены расчёты в рамках математической модели ФЭТ модуля. Модель была предложена на основе изучения ряда работ, представленных в литературе, которые рассматривали механизм преобразования солнечной энергии в ФЭТ модулях [8]. Будучи одномерной, т.е. существенно более простой по сравнению с аналогами, данная модель, тем не менее, обладает достаточно высокой эффективностью [9]. Модель была реализована в программе MATLAB. Моделирование влияния толщины резервуара-абсорбера на эффективность работы ФЭТ модуля выполнено конечно-элементным методом с помощью программного комплеса ANSYS.

В резервуаре предложенной конструкции под воздействием поступающей солнечной радиации возникает замкнутая конвективная циркуляция жидкости вдоль нагреваемой поверхности, за счёт чего происходит отвод теплоты от фотоэлементов, что в свою очередь создаёт благоприятные условия для работы последних и повышает КПД всей системы. Одновременно обеспечивается максимально возможная утилизация части солнечного излучения, не преобразованного в электрическую энергию.

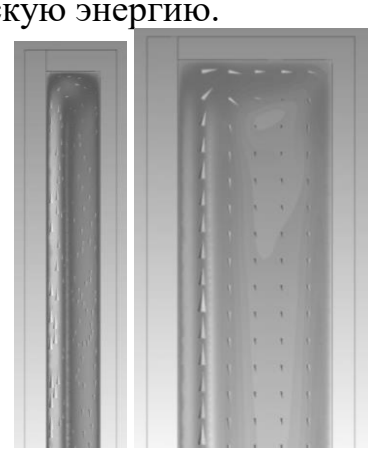


Рисунок 2 - Конвективное движение нагреваемой жидкости в верхней части резервуара ФЭТ модуля глубиной 10 мм (а) и 20 мм (б) (вертикальный разрез).

Проведённое компьютерное моделирование подтверждает тот факт, что в резервуаре ФЭТ модуля возникает устойчивое замкнутое конвективное движение жидкости. При этом толщина слоя восходящего потока слабо зависит от размеров водонагревательного резервуара. Для рассматриваемых размеров резервуара (высота 430 мм, глубина 10 мм и 20 мм) толщина слоя восходящего потока жидкости составляет 4...5 мм, что видно из результатов конечно-элементного моделирования конвективного движения жидкости в объёме

резервуара (Рис. 2).

На Рис. 3 представлены результаты расчётов скорости восходящих и низходящих конвекционных потоков жидкости, возникающих при нагреве стенки резервуара приходящим солнечным излучением. Анализ приведённых данных показывает, что наиболее интенсивное движение жидкости наблюдается в области толщин до 5 мм, а при толщине слоя более 10 мм эти процессы заметно замедляются. Таким образом, в слое жидкости указанной толщины происходит наиболее интенсивный теплообмен между нагреваемой стенкой резервуара и жидкостью.

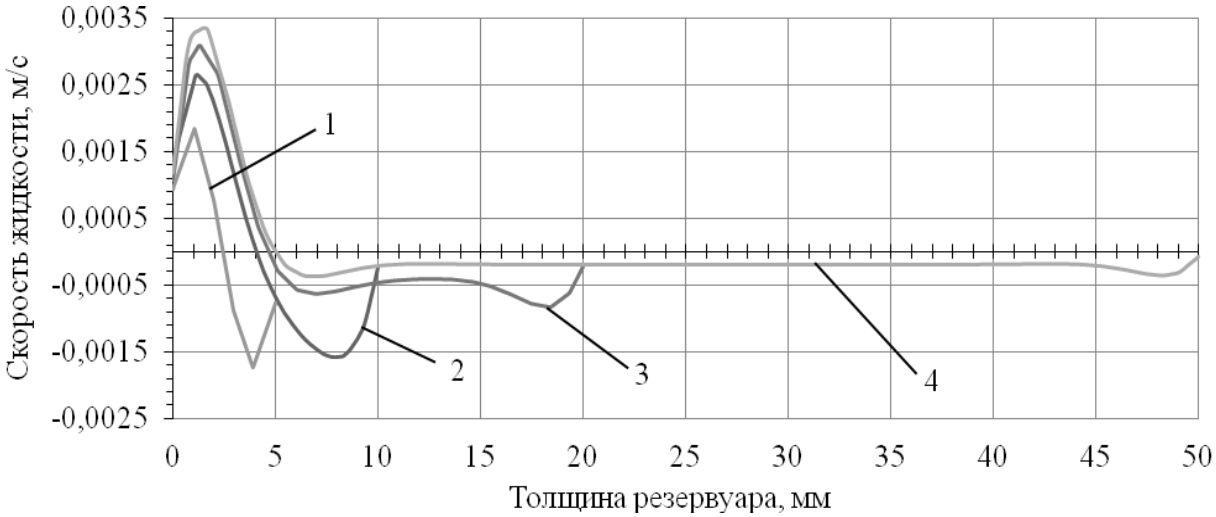


Рисунок 3 - Распределение вертикальной скорости жидкости по глубине для резервуара глубиной: 1 – 5 мм, 2 – 10 мм, 3 – 20 мм, 4 – 50 мм

Из полученных в ходе моделирования результатов следует, что увеличение толщины резервуара более установленного значения нецелесообразно. К тому же снижение скорости циркуляции жидкости в резервуаре ведёт к увеличению неоднородности распределения температры по объёму.

В результате проведенных исследований можно выработать рекомендации по выбору толщины резервуара-абсорбера. Эта величина может колебаться в пределах 5...15 мм. В случае выбора толщиты более 20 мм существенно возрастает масса коструктции с рабочей жидкостью и увеличивается время нагрева жидкости до требуемой температуры.

На основе полученных результатов была разработана усовершенствованная конструкция ФЭТ модуля с ореберением на внутренней стороне лицевой стенки абсорбера, отличающаяся помимо прочего большей технологичностью изготовления (Рис. 4).

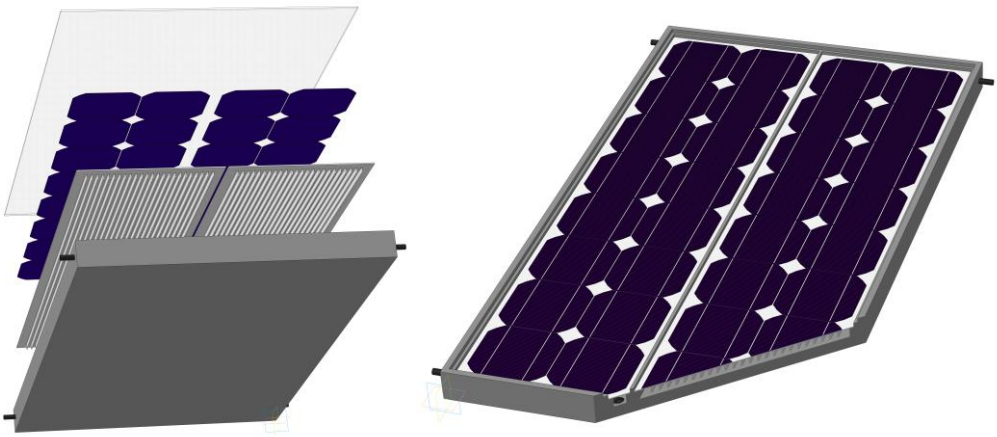


Рисунок 4 - Усовершенствованная конструкция ФЭТ модуля

На базе предложенной конструкции ФЭТ модуля разработана система теплоснабжения [10], реализованная и испытанная на практике [11].

Список литературы

1. B.J. Huang, T.H. Lin, W.C. Hung and F.S. Sun. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems // Solar Energy. – 2001. – 70. – с.443-448;
2. Jinshun Wu, Xingxing Zhang, Jingchun Shen, Yupeng Wu, Karen Connelly, Tong Yang, Llewellyn Tang, Manxuan Xiao, Yixuan Wei, Ke Jiang, Chao Chen, Peng Xu, Hong Wang. A review of thermal absorbers and their integration methods for the combined solar photovoltaic/thermal (PV/T) modules // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. –75. – с. 839-854;
3. PVT ROADMAP. A European guide for the development and market introduction of PV-Thermal technology, edited by Herbert Zondag, Marco Bakker and Wim van Helden developed as part of the EU-supported Coordination Action PV-Catapult;
4. Taoufik Brahim, Abdelmajid Jemni. Economical assessment and applications of photovoltaic/thermal hybrid solar technology: A review // Solar Energy. – 2017. – 153. – с.540-561;
5. Jee Joe Michael, Iniyan S, Ranko Goic, Flat plate solar photovoltaic–thermal (PV/T) systems: A reference guide//Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – 51 – с. 62-68;
6. Севела П., Олесен Б. Гибридный солнечный коллектор // Здания высоких технологий. – 2013. – Т. 4. – № 4. – с. 90-122;
7. Kharchenko, V., Panchenko, V., Tikhonov. P., Vasant, P. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply / V. Kharchenko, V. Panchenko, P. Tikhonov, P. Vasant. // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. – 2018. – pp. 86-120;
8. Харченко, В.В., Тихонов, П.В. Математическая модель фотоэлектрического теплового модуля, функционирующего в составе комбинированной системы на основе теплового насоса / В.В. Харченко, П.В. Тихонов // Малая энергетика. – 2011. – с. 50-56;
9. Zondag, H.A., De Vries, D.W., Van Helden, W.G.J., Van Zolingen, R.J.C., Van Steenhoven, A.A. The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector / H.A. Zondag, D.W. De Vries, W.G.J. Van Helden, R.J.C. Van Zolingen, A.A. Van Steenhoven // Sol Energy. – №72(2). – 2002. – с. 113–128;
10. Патент на изобретение № 2509268 РФ, МКП F24J. Когенерационная фотоэлектрическая тепловая система / Д.С. Стребков, В.В. Харченко, П.В. Тихонов, А.В. Тихонов, Б.А. Никитин, А.О. Сычев. № 2012117482; опубл. 10.03.2013, Бюл. №7;
11. Kharchenko, V., Nikitin, B., Tikhonov, P., Gusarov, V. Investigation of experimental flat PV thermal module parameters in natural conditions / V. Kharchenko, B. Nikitin, P. Tikhonov,

V. Gusarov // Proceedings of 5th International Conference TAE 2013, Trends in Agricultural Engineering (2-3 September, 2013, Prague, Chech Republic).

12. Кувшинов В.В., Юферев Л.Ю. Использование термофотоэлектрических гелиопрофилей для аграрного сектора КРЫМА/ Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 1 (26). С. 198-205.

References

1. B.J. Huang, T.H. Lin, W.C. Hung and F.S. Sun. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems // Solar Energy. – 2001. – 70. – p. 443-448;

2. Jinshun Wu, Xingxing Zhang, Jingchun Shen, Yupeng Wu, Karen Connelly, Tong Yang, Llewellyn Tang, Manxuan Xiao, Yixuan Wei, Ke Jiang, Chao Chen, Peng Xu, Hong Wang. A review of thermal absorbers and their integration methods for the combined solar photovoltaic/thermal (PV/T) modules // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. –75. – p. 839-854;

3. PVT ROADMAP. A European guide for the development and market introduction of PV-Thermal technology, edited by Herbert Zondag, Marco Bakker and Wim van Helden developed as part of the EU-supported Coordination Action PV-Catapult;

4. Taoufik Brahim, Abdelmajid Jemni. Economical assessment and applications of photovoltaic/thermal hybrid solar technology: A review // Solar Energy. – 2017. – 153. – p.540-561;

5. Jee Joe Michael, Iniyan S, Ranko Goic, Flat plate solar photovoltaic–thermal (PV/T) systems: A reference guide//Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – 51 – p. 62-68;

6. Sevela P., Olesen B. Gibridnyj solnechnyj kollektor [Hybrid solar collector] // Zdaniya vysokih tekhnologij. – 2013. – vol. 4. – No 4. – pp. 90-122;

7. Kharchenko, V., Panchenko, V., Tikhonov. P., Vasant, P. Cogenerative PV Thermal Modules of Different Design for Autonomous Heat and Electricity Supply / V. Kharchenko, V. Panchenko, P. Tikhonov, P. Vasant. // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. – 2018. – pp. 86-120;

8. Harchenko, V.V., Tihonov, P.V. Matematicheskaya model' fotoehlektricheskogo teplovogo modulya, funkcioniruyushchego v sostave kombinirovannoj sistemy na osnove teplovogo nasosa [Mathematical model of a photoelectric thermal module, functioning as part of a combined system based on a heat pump] / V.V. Harchenko, P.V. Tihonov // Malaya ehnergetika. – 2011. – p. 50-56;

9. Zondag, H.A., De Vries, D.W., Van Helden, W.G.J., Van Zolingen, R.J.C., Van Steenhoven, A.A. The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector / H.A. Zondag, D.W. De Vries, W.G.J. Van Helden, R.J.C. Van Zolingen, A.A. Van Steenhoven // Sol Energy. – №72(2). – 2002. – c. 113–128;

10. Patent na izobretenie № 2509268 RF, MKP F24J. Kogeneracionnaya fotoehlektricheskaya teplovaya sistema [Patent for invention No 2509268 of the Russian Federation Cogeneration photovoltaic thermal system]

11. Kharchenko, V., Nikitin, B., Tikhonov, P., Gusarov, V. Investigation of experimental flat PV thermal module parameters in natural conditions / V. Kharchenko, B. Nikitin, P. Tikhonov, V. Gusarov // Proceedings of 5th International Conference TAE 2013, Trends in Agricultural Engineering (2-3 September, 2013, Prague, Chech Republic).

12. Kuvshinov V.V., YUferev L.YU. Ispol'zovanie termofotoehlektricheskih gelioprofilej dlya agrarnogo sektora KRYMA. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2018. № 1 (26). S. 198-205.

УДК 662.767.2

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ
WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF BIOGAS PLANT

***С.К. ШЕРЬЯЗОВ**, д.т.н., профессор, **В.В. ВАСЕНЕВ**, аспирант, **Ж.Б. ТЕЛЮБАЕВ**, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Россия*

***S.K. SHER'YAZOV**, Ph. D., Professor, **V.V. VASENEV**, graduate student, **ZH.B. TELYUBAEV**, postgraduate, Federal state budget educational institution of higher professional education "South Ural state agrarian University", Russia*

***Аннотация**. В статье изложены пути повышения эффективности работы биогазовой установки: оптимизация параметров реактора и обеспечения стабильного температурного режима работы биогазовой установки. Проанализированы характерные особенности тепловых потерь с учетом заполнения реактора субстратом. Для снижения тепловых потерь получены зависимости оптимального радиуса реактора от толщины изоляции. Приведенные завимости позволяют определить оптимальный радиус реакторов вертикального или горизонтального расположения. Показано влияние оптимального параметра реактора на температурный режим процесса переработки. Результаты проведенных исследованийпозволяютприйти к более эффективному использованию биогазовых установок.*

***Ключевые слова**: биогазовые установки, конструктивные и режимные параметры реакторов, оптимальный радиус реактора, температурный режим брожения, моделирование работы биогазовой установки.*

***Abstract**. The article describes the ways to improve the efficiency of the biogas plant: optimization of the reactor parameters and ensuring a stable temperature regime of the biogas plant. The characteristic features of thermal losses are analyzed taking into account the filling of the reactor with a substrate. To reduce heat losses, dependences of the optimal reactor radius on the insulation thickness are obtained. These dependences allow us to determine the optimal radius of the vertical or horizontal reactors. The influence of the optimal reactor parameter on the temperature regime of the processing process is shown. The results of the research allow us to come to a more efficient use of biogas plants.*

***Keywords**: biogas plant design and operating parameters of the reactors, the optimum radius of the reactor, temperature of fermentation, modelling of the biogas plant operation.*

Использование биогазовых установок - актуальное направление по переработке органических отходов в сельском хозяйстве. Эти установки позволяют утилизировать отходы животноводства и снизить загрязнения окружающей среды, сократить земельные площади для хранения отходов, получить биогази органическое удобрение [1-4].

Применение биогазовых установок требует больших затрат, поскольку сам процесс переработки биомассы является энергоёмким. Недостаточные исследования по снижению затрат путем оптимизации параметров и режимов работы биогазовой установки сдерживают развитие биогазовых технологий. В

связи с этим разработка методов по эффективной переработке биомассы на основе биогазовой установки является актуальной задачей[3-8].

Биогазовые установки представляют из себя комплекс оборудования по переработке органической массы в анаэробных условиях с получением биогаза и биоудобрения. Одним из ее основных элементов, где происходит брожение органической массы, является реактор, представляющий из себя в основном цилиндрическую ёмкость горизонтального или вертикального расположения[6-9].

Внутри реактора поддерживается температура, соответствующая заданному режиму работы. Важно поддерживать эту температуру в течение всего периода брожения биомассы [10,11].

Цель работы: повышение эффективности биогазовой установки за счет обеспечения стабильного температурногорежимав технологическом процессе и оптимизации параметров реактора.

При работе биогазовой установки важную роль играет загрузка биомассой реактора (метантенка).При незначительном объеме загружаемой массы, метантек используется не эффективно, и наоборот, при полной загрузке метантека возникают проблемы со сбором биогаза, так как пена, образующаяся в процессе брожения, затрудняет выход биогаза. Существуют расхожие мнения об эффективности той или иной загрузки реактора[12,13].

Для определения параметров установки необходимо учитывать теплопотери от жидкостной и газовой среды заполнения реактора. Эти условия визвестных методиках расчета теплопотерьв реакторах биогазовой установки не учитываются[14].

Тогда тепловой баланс реактора,в случае его не полного заполненияможно представить как:

$$Q = k_1 \times S_1 \times \Delta t + k_2 \times S_2 \times \Delta t \qquad (1)$$

где k_1-коэффициент теплопередачи от субстрата, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$; S_1- площадь теплопередающей поверхности от субстрата, м^2; k_2-коэффициент теплопередачи от биогаза, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$; S_2- площадь теплопередающей поверхности от биогаза, м^2.

В данном уравнении первое слагаемое представляет теплопотери от субстрата, а второе - от газовой части, и Δt для органической массы и биогаза принимается одинаковой. При этом коэффициент теплопередачи через стенку реактора можно представить как [15]

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \qquad (2)$$

Коэффициенты теплопередачи для заполненной субстратом части реактора α_1≈350(Вт/[м^{2}К]), для газовой части - α_1=8,7(Вт/м^{2}К), а коэффициент α_2=23(Вт/м^{2}К) принимается одинаковым для рассматриваемых сред [15; 16].

На Рис.1 представлена зависимость коэффициентов теплопередачи газовой и жидкостной среды от толщины изоляции реактора. В качестве примера рассмотрен метантек из стеклопластика с коэффициентом

теплопроводности λ = 0,23 Вт/(м*К) [17] с изоляцией из шлаковой ваты, с коэффициентом теплопроводности λ =0,05 Вт/(м*К) [18].

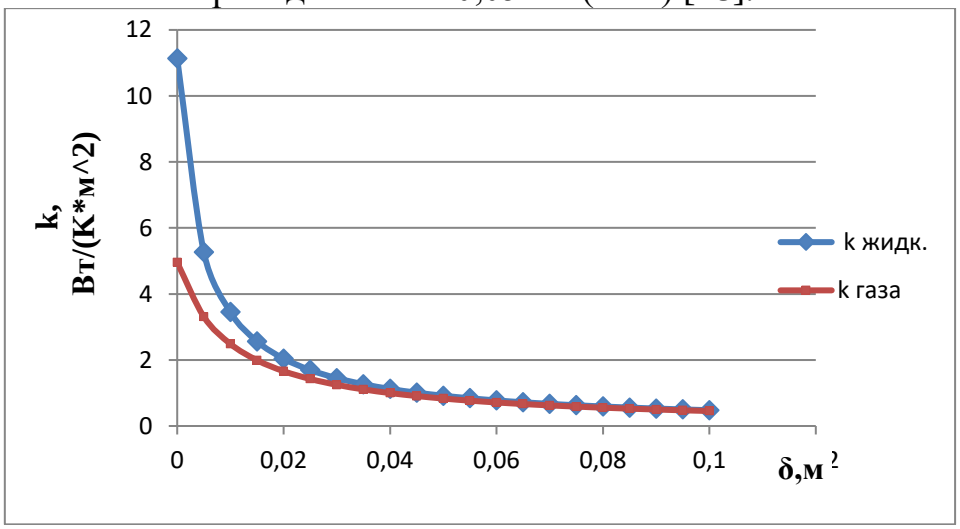


Рисунок 1- Зависимость коэффициентов теплопередачи газовой и жидкостной составляющих заполнения реактора

Анализ данных показывает, что коэффициенты теплопередачибиогаза и субстрата практический не отличаются при толщине изоляции реактора более 70 мм, а при уменьшении толщины изоляцииони будут отличаться, и тем самым повлияют на тепловые потери в реакторе.Для снижения тепловых потерь необходимо исследовать параметры реактора.

Для исследования оптимального параметра реактора рассмотрим вариант исполнения реакторы с теплообменником внутри, когда его поверхность будет выступать как теплопередающая. Важным является и расположение самого метантенка: вертикальное или горизонтальное.

В качестве параметра реактора рассмотрим его радиус, связанный с его объемом. Для корректности используем понятие «оптимальный расчетный радиус», рассматриваемый как внутренний радиус метантенка, когда можно пренебречь изменением теплопередающей площади от толщины изоляции.

На Рис. 2 приведена схема вертикального метантенка.

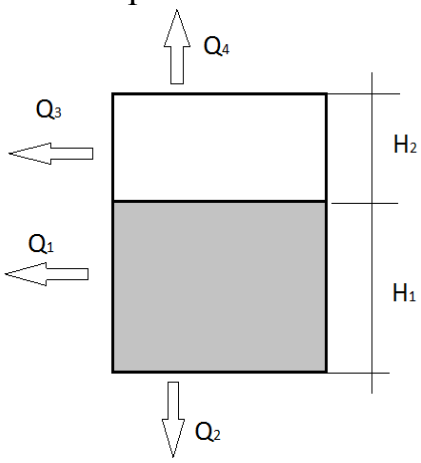


Рисунок 2 – Схема вертикального метантека

где Q_1, Q_2 - теплопотери от жидкой среды через боковые стены и основания реактора соответственно; Q_3, Q_4 - теплопотери от газовой среды через боковую стенку и через основание реактора.

Тепловой баланс вертикального реактора можно представить как:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (3)$$

Распишем уравнение теплового баланса через параметры реактора:

$$Q = k_1 \times (\pi R^2 + 2\pi R H_1) \times \Delta t + k_2 \times (\pi R^2 + 2\pi R H_2) \times \Delta t. \quad (4)$$

Производим простые преобразования для нахождения оптимального радиуса при минимуме тепловых потерь. Данную функцию исследуем на экстремум:

$$\frac{dQ}{dR} = k_1 \times \left(2\pi R - \frac{2V_1}{R^2}\right) \times \Delta t + k_2 \times \left(2\pi R - \frac{2V_2}{R^2}\right) \times \Delta t = 0. \quad (5)$$

После преобразования расчетный оптимальный радиус вертикального метантека имеет вид:

$$R_{\text{опт.в}} = \sqrt[3]{\frac{(k_1 V_1 + k_2 V_2)}{(\pi k_1 + \pi k_2)}} \quad (6)$$

Оптимальный радиус вертикального метантека зависит от объемов, занимаемых субстратом и биогазом, а также толщины изоляции. При толщине изоляции более 70 мм k_1=k_2, и радиус вертикального реактора зависит только от его объема

$$R_{\text{опт.в}} = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}. \quad (7)$$

Таким образом, для вертикального метантека цилиндрической формы существует оптимальный радиус по основанию. По заданному объему метантека можно определить оптимальный его радиус с учетом толщины изоляции.

На Рис. 3 и 4 приведены схемы горизонтального метантенка.

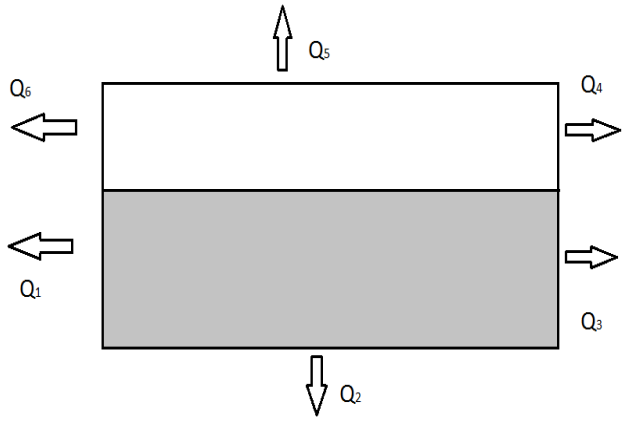


Рисунок 3 – Схема горизонтального метантека:

гдеQ_1, Q_3- теплопотери от жидкой среды через сегментные части реактора; Q_2– теплопотери от жидкой среды через боковую стенку; Q_4, Q_6- теплопотери от газовой среды через сегментные части реактора; Q_5– теплопотери от газовой среды через боковую сторону бака.

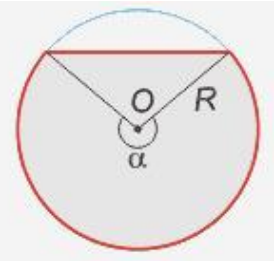


Рисунок 4 – Вид с торцагоризонтального реактора

Теплопередающую поверхность от жидкостной части реактора можно представить как сумму боковой теплопередающей поверхности и удвоенную площадь сегмента круга торцевых частей. $\propto$- центральный угол по уровню заполнения реактора биогазовой установки субстратом (угол между радиусами по хорде заполнения реактора), γ- центральный угол по уровню заполнения реактора биогазовой установки биогазом, $\gamma = 2\pi - \propto$.Тепловой баланс горизонтального реактора можно представить как:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (8)$$

Распишем уравнение теплового баланса через параметры реактора:

$$Q = k_1\,[(\propto - \sin\propto)R^2 + \propto RL]\Delta t + k_2\,[(\gamma - \sin\gamma)R^2 + \gamma RL]\Delta t \quad (9)$$

Произведим простые преобразования для удобства решения: заменим угловую характеристику сегмента на соотношение, выведенное из объема расчётной жидкостной части, а расчётную длину выведем и подставим из общего расчётного объема (площадь которого участвует в теплопотери) и для нахождения оптимального радиуса исследуем данную функцию на экстремум:

$$\frac{dQ}{dR} = k_1\left[\frac{4\pi V_1}{V}R - \propto\frac{V}{\pi R^2}\right]\Delta t + k_2\left[\frac{4\pi V_2}{V}R - \gamma\frac{V}{\pi R^2}\right]\Delta t = 0 \quad (10)$$

Тогда расчетный оптимальный радиус горизонтальногометантека:

$$R_{\text{опт.г}} = \sqrt[3]{\frac{(k_1 \propto + k_2\,\gamma)V^2}{(V_1 k_1 + V_2 k_2)4\pi^2}} \quad (11)$$

Для горизонтального метантенка цилиндрической формы также существует оптимальный радиус, который зависит от объемов заполнения жидкой и газовой средой. При толщине изоляции более 70 мм, можно получить частный случай как в (7), когда радиус реактора зависит от его полного объема.

Как показали исследования, оптимальный радиус горизонтального или вертикального реактора зависит от доли заполнения субстратом (ω) и толщины изоляции (δ)

$$R = f(\delta, \omega) \quad (12)$$

Исследования проводились по уравнениям (6) и (11), с учетом объема реактора и при заполнении его на 70-90%, ω= 0,7…0,9. Для исследования оптимального радиуса реактора с учетом рассматриваемых факторов во взаимосвязи разработана динамическая модель.

При создании динамической модели нами использовался общедоступный пакет прикладных математических программ SciLab, составным компонентом которого является Scicos. Последний является инструментом для редактирования блочных диаграмм и симуляции заданных объектов моделирования. На Рис.5 показана схема имитационной динамической модели.

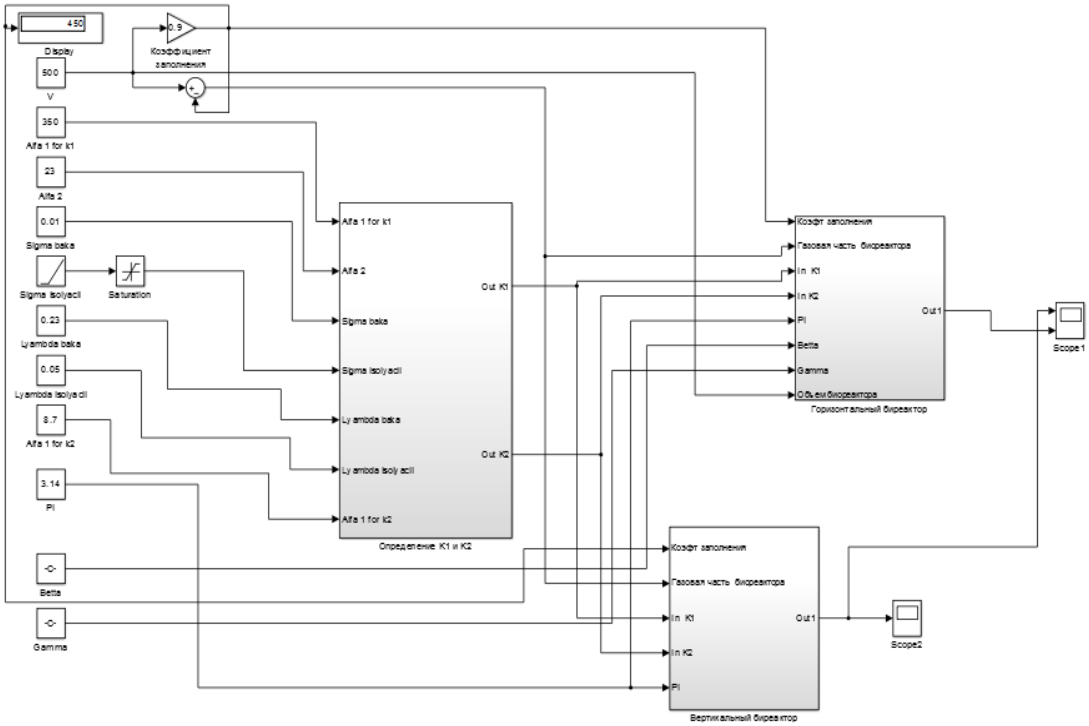


Рисунок 5 - Общий вид имитационной динамической модели

В имитационной динамической модели имеется блок исходных данных, блок теплотехнических расчетов, блок учета типа исполнения реактора с указанием его полного объема и степени его загрузки, взаимосвязи различных блоков и отражение полученных зависимостей в выводных панелях расчетов.

В ходе исследования параметра реактора, а именно его радиуса на основе динамической модели учитывлись основные факторы, влияющие на теплопотери. При этом важно было учесть влияние коэффициентов теплопередачи субстрата и биогаза. Для исследования рассматривались два 100 м^3 реактора из стеклопластика заполненностью субстратом в 90% и 70%. Результаты исследования представлены на рис. 6.

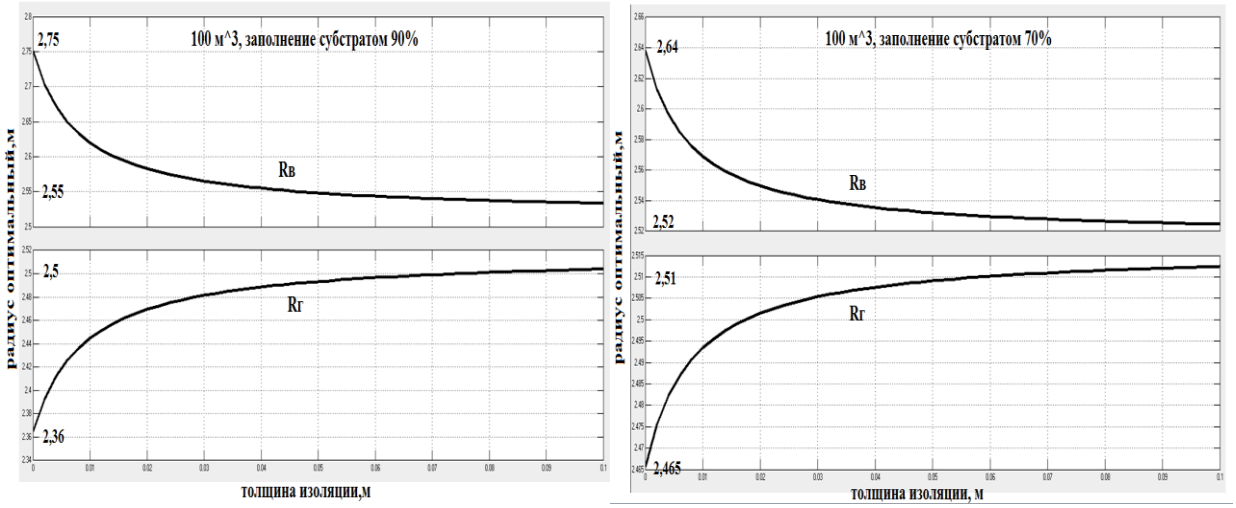


Рисунок 6- Оптимальные радиусы горизонтального и вертикального реакторов объемом в 100м^3 при уровне заполнения 90% и 70%; $R_г$, $R_в$–радиус горизонтального и вертикального реактора соответственно.

Анализ данных показывает, что при росте толщины изоляции до70 мм, наблюдается снижение оптимального радиуса для вертикального реактора, тогда как для горизонтального реактора – растет.

Оптимальный радиус реактора при различных объемах и толщине изоляции также отличаются в зависимости от типа его исполнения. Для исследования этой зависимости рассматривались реакторы на 200 м^3 и 500 м^3 из стеклопластика заполненностью субстратом 90%. Результаты исследования приведены на Рис. 7.

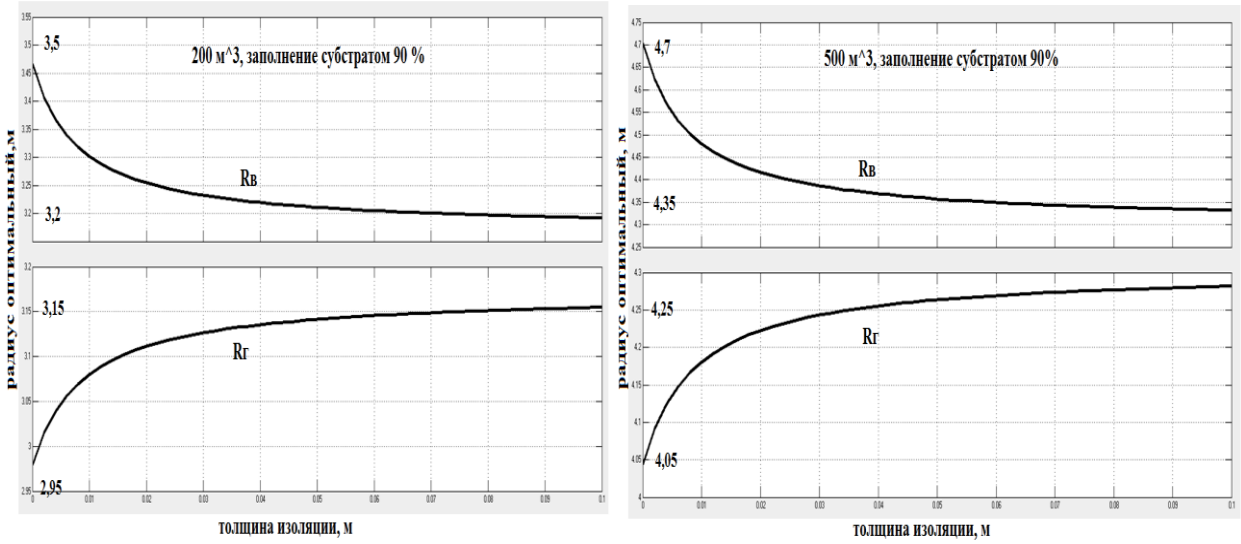


Рисунок 7- Оптимальные радиусы горизонтального и вертикального реакторов объемом на 200м^3 и на 500м^3 при уровне заполнения 90%: $R_г$, $R_в$ - радиус горизонтального и вертикального реактора соответственно.

Полученные данные показывают, что и для реакторов горизонтального и вертикального исполнения требуется свой оптимальный радиус в зависимости от объема, а характер зависимости такой же, как показано ранее (см. рис. 6).

Расчет горизонтального реактора усложняется тем, что в теплопередающей площади имеется $\propto$. В формуле (9) можно рассмотреть два случая: 1) $\propto$=const, 2)d=const исходя из той же $\propto = 2\arccos\frac{d}{R}$, рассмотрим одну из ее составляющих d - расстояние от центра окружности реактора до свободной поверхности субстрата $0 \ll \propto \ll 360°$ (торцевая часть горизонтального реактора биогазовой установки). Находя площадь теплопередающей поверхности, необходимо понимать, что температурное поле вдоль реактора распространяется радиально, то есть от центра по радиусам до внешних стенок, этому условию соответствует $\propto$=const. Торцевую часть в данных расчетах тоже приняли по $\propto$=const.

В формулах (4) и (9) можно рассчитать теплопотери для различных толщин изоляции с соответствующим изменением теплопередающей площади, для этого вместо расчетного радиуса подставляем сумму внутреннего радиуса и половины толщины всей изоляции (толщина самого реактора и толщина изоляции).

Один и тот же объем метантека для брожения биомассы можно получить при разных его параметрах: радиус, длина (высота), степень наполненности

реактора субстратом, толщина изоляции и т.д. Площадь теплопередающей поверхности, тесно взаимосвязанная с радиусом, влияет на тепловой баланс и на капитальные затраты реактора биогазовой установки. Определение оптимального расчетного радиуса обеспечивает минимум тепловых потерь, что влияет на выбор мощности отопительного оборудования данной установки.

Вместе с тем оптимальный радиус позволит поддерживать температурный режим процесса брожения, особенно в случае изменения режима работы системы теплоснабжения. При этом важно определить продолжительность устойчивого процесса брожения биомассы при отключений внешнего источника теплоснабжения, по сути условия охлаждений субстрата в реакторе.

Условия охлаждения можно представить уравнением [19,20]

$$\Theta = \Theta_0 \times e^{-t/T} \tag{13}$$

где Θ - превышение температуры тела над температурой окружающей среды, ^{0}C; Θ_0- начальное превышение температуры, ^{0}C; t- время остывания, сек (мин., часы); T- постоянная охлаждения, сек (мин., часы).

Постоянная охлаждения реактора это время, в течение которого превышение температуры субстрата над температурой окружающей среды, изменяясь по экспоненциальному закону уменьшается в «е» раз. Для однородного тела она имеет следующую зависимость:

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{G} \times \mathrm{c}}{\mathrm{S} \times \mathrm{k}} \tag{14}$$

где G – масса тела, кг; c – удельная теплоемкость, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times \text{К}}$; S – теплопередающая площадь реактора биогазовой установки, м^2; k – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$

Для реактора с учетом его заполнения субстратом постоянную охлаждения можно представить:

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{G} \times \mathrm{c}}{\mathrm{S}_1 \times \mathrm{k}_1 + \mathrm{S}_2 \times \mathrm{k}_2} \tag{15}$$

где G – масса субстрата, кг; плотность субстрата принимается равной плотности воды; c – удельная теплоемкость, принимается равной 4100 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times \text{К}}$; k_1- коэффициент теплопередачи от органической массы через стенку ректора наружному воздуху,$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$; S_1- площадь теплопередающей поверхности для органической массы, м^2; k_2-коэффициент теплопередачи от биогаза через стенку ректора наружному воздуху,$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$; S_2- площадь теплопередающей поверхности для биогаза, м^2.

Брожение биомассы происходит в заданном температурном диапазоне и изменение температуры внутри диапазона не должны превышать допустимых колебаний [10,11]. Требования к допустимым пределам колебания температуры для оптимального газообразования тем жестче, чем выше температура процесса сбраживания: при психрофильном температурном режиме - ±2 °C в час; мезофильном - ±1 °C в час; термофильный - ±0,5 °C в час [10].

Для определения надежности работы реактора биогазовой установки с точки зрения температурной стабильности рассмотрим вертикальный бак на 100 м^3 при заполнений субстратомна 70 и 90%, и при мезофильном и термофильном температурных режимах брожения. Оба варианта рассматриваются при отсутствии изоляции в реакторе.

Согласно ГОСТ Р 52808-2007 «Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Термины и определения» мезофильный режим метанового брожения биоотходов происходит от 20 до 40^{0}С. Выход за этот оптимальный диапазон температур приводит к другим разновидностям температурных процессов брожения биомассы, что можно принять как нарушение нынешнего технологического процесса. Для исследования рассмотрены два реактора на 100 м^3 при 70% и 90% заполнении субстратом при температуре в реакторе +34^{0}С, которая входит в оптимальный диапазон температур брожения. Температуру окружающей среды принимаем -20^{0}С. Исследования производились при отсутствии изоляционного материала реактора.

Исследования процесса охлаждения реактора описываются уравнением (13), а результаты представлены зависимостью Θ (превышение температуры реактора над температурой окружающей среды) от времени охлаждения (рис. 8). Также на этом рисунке представлена зависимость допустимой скорости остывания реактора в оптимальном диапазоне температур мезофильного брожения от времени охлаждения, выраженная в требованиях к допустимым пределам колебания температуры для оптимального газообразования в мезофильном процессе ±1°С в час[10]. На графике представлены временные интервалы в 5 часов, значит, за один временной интервал реактор в этом режиме брожения может остывать не более чем на 5°С. Температурная область ниже (левее) зависимости допустимой скорости остывания реактора является областью его более резкого охлаждения, которое недопустимо для поддержания стабильного технологического процесса. Начальное превышение температуры реактора составляет +54°С.

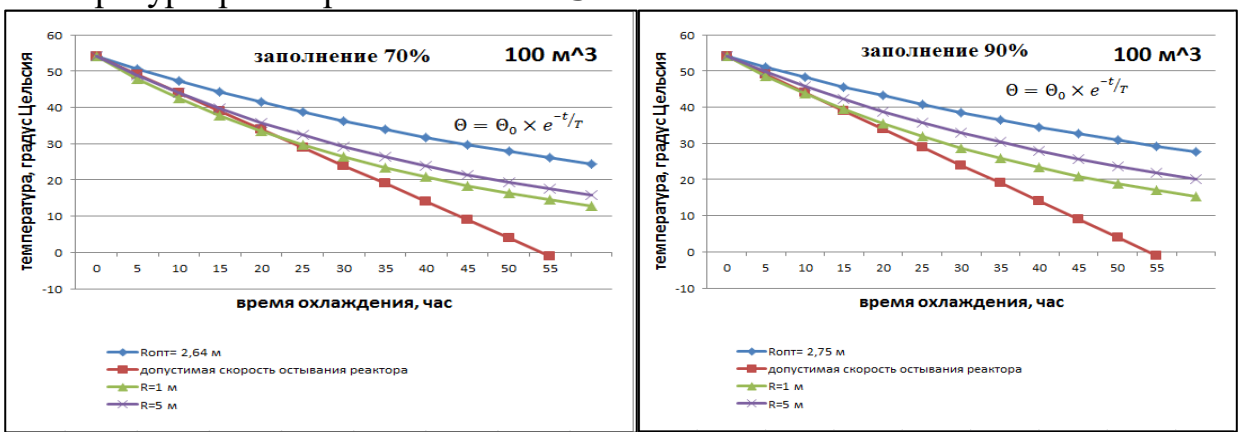


Рисунок 8 - Охлаждение реактора объемом 100 м^{3}при 70% и 90% заполнения реактора субстратом, при температуре брожения +34^{0}С, температура наружного воздуха -20^{0}С.

Анализ данных показывает, что при 70% заполнения реактора объемом 100 м^3 с радиусами 1 м и 5 м превышения температуры реактора над температурой окружающей среды лежат ниже (левее) зависимости допустимой

скорости остывания реактора, следовательно, данный реактор при этих радиусах не обеспечивает допустимую скорость остывания в диапазоне оптимальных температур брожения, чего нельзя сказать для реактора при оптимальном расчетном радиусе 2,64 м. Температура в реакторе +34^{0}С, нижняя граница мезофильного брожения +20^{0}С, которая будет соответствовать температуре на графике +40^{0}С, так как на нем изображается превышение температуры реактора над температурой окружающей среды. Для определения времени выхода реактора за оптимальный диапазон температуры брожения проводим параллельную линию оси абсцисс на уровне температуры +40^{0}С до пересечения с линией охлаждения реактора, далее опускаем перпендикуляр к оси абсцисс и получаем время, которое для данного реактора при оптимальном радиусе составляет 22 часа.

Для реактора в 100 м^3 при 90% заполнения для радиуса 1 м не обеспечивается допустимая скорость остывания реактора, а для радиуса 5 м и оптимального расчетного радиуса 2,75 м - обеспечивается. Однако время выхода реактора из оптимального диапазона температуры брожения для радиуса 5 м составляет 17 часов, для оптимального расчетного радиуса 2,75 м составляет 25 часов. Значит, при оптимальном радиусе проявляется большая устойчивость к охлаждению.

Время выхода реактора из оптимального диапазона температур брожения для реактора 100 м^3 при 90% больше, чем у реактора 100 м^3 при 70%, следовательно реактор 100 м^3 при 90% проявляет большую устойчивость к охлаждению, тепловая инерционность его выше.

Согласно ГОСТ Р 52808-2007 в термофильном режиме метановое брожение биоотходов происходит в диапазоне температур от 40 до 60^0. Для исследования рассмотрели два реактора по 100 м^3 при 70% и 90% заполнении субстратом и при температуре в реакторе +55^{0}С, который входит в оптимальный диапазон температуры брожения. Температуру окружающей среды приняли -20^{0}С.

Исследование охлаждения реактора описывается уравнением (13), и результаты представлены зависимостью Θ (превышение температуры реактора над температурой окружающей среды) от времени охлаждения (рис. 9). Также приведена зависимость допустимой скорости остывания реактора в оптимальном диапазоне температур термофильного брожения от времени охлаждения, согласно требованиям к допустимым пределам колебания температуры для оптимального газообразования в термофильном процессе ±0,5°С в час [10].

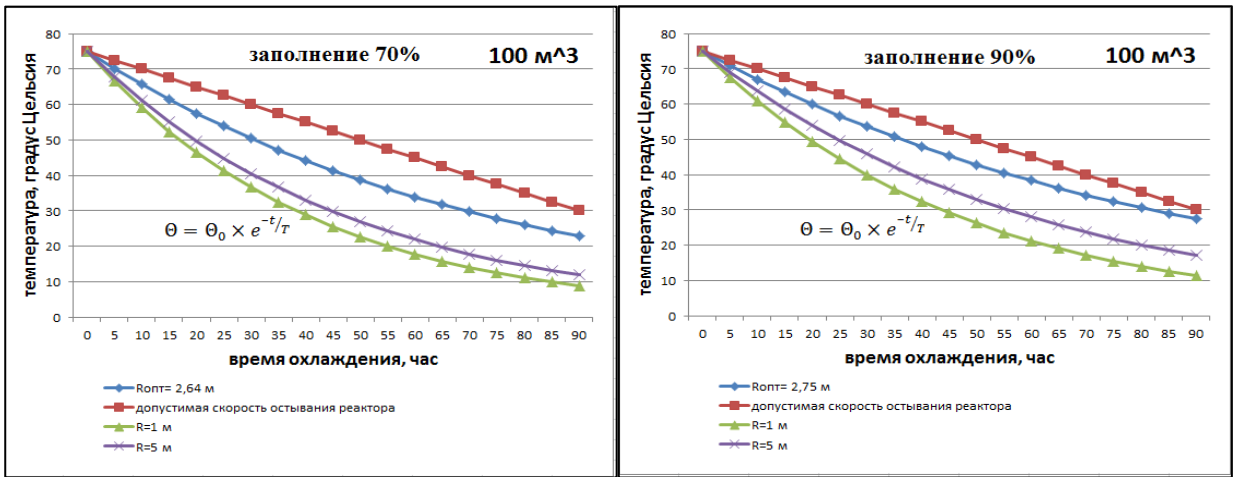


Рисунок 9- Охлаждение реактора объемом 100 м^3 при 70% и 90% заполнений субстратом, при температуре брожения +55^{0}С и наружного воздуха -20^{0}С.

На графике представлены временные интервалы в 5 часов, значит, за один временной интервал реактор в этом режиме брожения может остывать не более чем на 2,5°С. Температурная область ниже (левее) зависимости допустимой скорости остывания реактора является областью более резкого охлаждения, которое недопустимо для поддержания стабильного технологического процесса. Начальное превышение температуры реактора над температурой окружающей среды составляет +75°С.

Анализ данных показывает, что в рассмотренных вариантах температурный режим при оптимальных радиусах реактора более стабильный, по сравнению с другими радиусами. Однако превышение температуры реактора над температурой окружающей среды находится ниже допустимой скорости остывания реактора, что свидетельствует о более резком охлаждении реакторов биогазовой установки, которое приводит к нарушению процесса брожения. Одним из вариантов увеличения тепловой инерционности реактора является увеличение толщины его изоляции.

Выводы:

1.Как показал анализ научно-технической литературы применение биогазовой технологии сдерживается ее недостаточной изученностью.

2.Повышение эффективности работы биогазовой установки возможно путем снижения энергозатрат на основе оптимизации конструктивных и режимных параметров.

3.Разработанная имитационная динамическая модель работы биогазовой установки позволяет исследовать режим работы во взаимосвязи конструктивных и режимных параметров.

4.Выявлено, что для реакторов различных объемов и загрузки имеется одинаковый характер изменения оптимального радиуса от толщины изоляции, так при росте толщины изоляции до 70 мм, наблюдается снижение расчетного оптимального радиуса для вертикального реактора, тогда как для горизонтального реактора – растет.

5.Впервые исследована температурная стабильность процесса брожения, в случае отключения внешнего источника теплоснабжения (охлаждение

субстрата в реакторе). Критериями оценки являлись: допустимая скорость остывания реактора и оптимальный диапазон температур брожения. Выявлено, что при оптимальном радиусе реактора объемом 100 м^3 и заполнений субстратом на 90%, обеспечивается самая большая тепловая инерция в мезофильном процессе брожения. По приведенным графикам охлаждения также можно найти время охлаждения реактора до нижней границы оптимального диапазона температур брожения.

При охлаждении реактора в термофильном режиме не обеспечивается температурная стабильность процесса брожения по требованиям допустимой скорости охлаждения.

Список литературы

1. S.K. Sheryazov, O.S. Ptashkina-Girina. Increasing power supply efficiency by using renewable sources. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. ICIEAM. 2016. DOI:10.1109/ICIEAM.2016.7910986.
2. Sheryazov, S.K., 2013. Methodology of Renewable Sources Efficient Use. In the Proceedings of the VI international research and practice conference "European Science and Technology", Germany: pp: 343-347.
3. Шерьязов С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: Монография. – Челябинск: ЧГАУ, 2008. – 300 с.
4. Шерьязов С. К., Пташкина-Гирина О.С., Телюбаев Ж. Б Переработка отходов животноводства для использования их в качестве удобрения. ВестникИрГСХА, Вып. 80, 2017 – С.184-189.
5. Шерьязов С. К., Васенев В. В., Телюбаев Ж. Б. Методы повышения эффективности переработки биомассы в биогазовой установке. материалы LVмеждунар. науч.- техн. конф «Достижения науки – агропромышленному производству» - Челябинск : ЮУрГАУ, 2016. - С. 230–235.
6. Шерьязов С.К., Васенев В. В. Анализ параметров биогазовых установок // Материалы Международной научно-технической конференции «Научно-техническое обеспечение АПК Сибири» СибИМЭ СФНЦА РАН – Т.2. - Новосибирск, 2017. - pp. 137-141.
7. Васенев В.В. Исследование параметров элементов БГУ горизонтального типа в термофильном режиме анаэробной переработки отходов животноводства. МатериалыLXVI студенческой научной конференции «Идеи молодых – агропромышленному комплексу». – Челябинск: ЧГАА, 2015. С.15-21.
8. В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев. К методике выбора биогазовой установки. Приоритетные направления развития энергетики в АПК: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции (28 сентября 2017 г.) – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2017 .с 118-121.
9. В.В. Васенев, Ж.Б. Телюбаев. Анализ существующих конструкций машин и аппаратов для разделения эффлюента. Приоритетные направления развития энергетики в АПК: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции (28 сентября 2017 г.) – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2017.с 121-124.
10. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф. Оптимизация теплового режима в биогазовых установках. Журнал: фундаментальные исследования, номер 2-1. Пенза, 2016г.,стр. 90-93.
11. Кущев Л.А., Суслов Д.Ю. Параметры и факторы интенсификации процесса плучения биогаза. Журнал: science time, номер 10. Казань, 2014г., стр.252-257.

12. Барков В.И., Токмолдаев А.Б. и другие. Результаты натуральных испытаний модульной биогазовой установки. Журнал: Инновации в сельском хозяйстве, номер 2(12). Москва, 2015г., стр. 206-209.

13. Кравченко С.А. Энергетический баланс комплекса по обеззараживанию отходов сельского хозяйства с получением биогаза и высококачественных органических удобрений. Журнал: Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, номер2(72). Харьков, 2010г., стр. 23-28.

14. Ковалев А.А. Энергонезависимая установка для переработки органических отходов животноводства. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. Москва, номер 4(12), 2013г., стр. 134-139.

15. Биркин С.М. Теоретические исследования коэффициента теплопередачи систем обогрева биогазовых установок. Вестник волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. Том 28, номер 9. Волгоград, 2008г. стр. 119-124.

16. Ананьев А. И., Рымаров А. Г., Латушкин А. П. Анализ теплообменных процессов на внутренней поверхности наружных стен зданий. Журнал: Промышленное и гражданское строительство, номер 12. Москва, 2016 г., стр. 101-105.

17. Теплопроводность пластиков и пластмасс, плотность пластмассы — физические свойства полимеров [сайт]. URL:http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/plastmassa-i-plastik/teploprovodnost-plastikov-i-plastmass-fizicheskie-svojstva-polimerov (дата обращения 16.05.2018).

18. Друзьянова В.П., Петров Н.В., Ушницкий И.Н. Исследование теплопроводности эффлюента биогазовой установки. Вестник ИРГСХА, номер 78. Иркутск, 2017г., стр. 128-133.

19. Носков В.И. Тепловая модель тягового двигателя тепловоза. Вестник национального технического университета харьковский политехнический институт. Серия: информатика и моделирование, номер 62 (968). Харьков, 2012 г., стр. 142-147.

20. Носач Е.В., Черный А.П., Воробейчик О.С. Процессы нагревания обмоток при пуске электрических машин. Журнал: Електромеханічнііенергозберігаючісистеми, номер 1(13). Кременчуг, 2011г., стр. 75-79

References

1. S.K. Sheryazov, O.S. Ptashkina-Girina. Increasing power supply efficiency by using renewable sources. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. ICIEAM. 2016. DOI:10.1109/ICIEAM.2016.7910986.

2. Sheryazov, S.K., 2013. Methodology of Renewable Sources Efficient Use. In the Proceedings of the VI international research and practice conference "European Science and Technology", Germany: pp: 343-347.

3. Sher'yazov S.K. Vozobnovlyaemye istochniki v sisteme ehnergosnabzheniya sel'skohozyajstvennyh potrebitelej: Monografiya. – CHelyabinsk: CHGAU [Renewable sources in the power supply system for agricultural consumers], 2008. – p. 300.

4. SHer'yazov S. K., Ptashkina-Girina O.S., Telyubaev ZH. B Pererabotka othodov zhivotnovodstva dlya ispol'zovaniya ih v kachestve udobreniya. VestnikIrGSKHA, Vyp. [Recycling animal waste for use as fertilizer] 80, 2017. pp.184-189.

5. SHer'yazov S. K., Vasenev V. V., Telyubaev ZH. B. Metody povysheniya ehffektivnosti pererabotki biomassy v biogazovoj ustanovke. [Methods to improve the efficiency of biomass processing in a biogas plant] materialy LVmezhdunar. nauch.- tekhn. konf « Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu» - CHelyabinsk : YUUrGAU, 2016. - pp. 230–235.

6. SHer'yazov S.K., Vasenev V. V. Analiz parametrov biogazovyh ustanovok [Analysis of parameters of biogas plants] // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii

«Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie APK Sibiri» SibIMEH SFNCA RAN – T.2. - Novosibirsk, 2017. - pp. 137-141.

7. Vasenev V.V. Issledovanie parametrov ehlementov BGU gorizontal'nogo tipa v termofil'nom rezhime anaehrobnoj pererabotki othodov zhivotnovodstva. [Investigation of parameters of horizontal-type BSU elements in the thermophilic mode of anaerobic processing of animal waste] MaterialyLXVI studencheskoj nauchnoj konferencii «Idei molodyh – agropromyshlennomu kompleksu». – CHelyabinsk: CHGAA, 2015. pp.15-21.

8. V.V. Vasenev, ZH.B. Telyubaev. K metodike vybora biogazovoj ustanovki. Prioritetnye napravleniya razvitiya ehnergetiki v APK [By the method of choosing a biogas plant. Priority areas of energy development in agriculture]: Materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (28 sentyabrya 2017.) – Kurgan: Izd-vo Kurganskoj GSKHA, 2017 pp. 118-121.

9. V.V. Vasenev, ZH.B. Telyubaev. Analiz sushchestvuyushchih konstrukcij mashin i apparatov dlya razdeleniya ehfflyuenta. Prioritetnye napravleniya razvitiya ehnergetiki v APK [Analysis of existing structures of machines and apparatus for the separation of effluent. Priority areas of energy development in agriculture]: Materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (28 sentyabrya 2017.) – Kurgan: Izd-vo Kurganskoj GSKHA, 2017. pp. 121-124.

10. Sadchikov A.V., Kokarev N.F. Optimizaciya teplovogo rezhima v biogazovyh ustanovkah.[Optimization of thermal conditions in biogas plants.] ZHurnal [Journal]: fundamental'nye issledovaniya, No 2-1. Penza, 2016. pp. 90-93.

11. Kushchev L.A., Suslov D.YU. Parametry i faktory intensifikacii processa plucheniya biogaza. [Parameters and factors of intensification of biogas pulling process] ZHurnal: science time, No 10. Kazan', 2014g., pp.252-257.

12. Barkov V.I., Tokmoldaev A.B. i drugie. Rezul'taty natural'nyh ispytanij modul'noj biogazovoj ustanovki [The results of natural tests of modular biogas plant.]. ZHurnal: Innovacii v sel'skom hozyajstve, No 2(12). Moskva, 2015., pp. 206-209.

13. Kravchenko S.A. EHnergeticheskij balans kompleksa po obezzarazhivaniyu othodov sel'skogo hozyajstva s polucheniem biogaza i vysokokachestvennyh organicheskih udobrenij. [The energy balance of the complex for the disinfection of agricultural waste with the production of biogas and high-quality organic fertilizers.] ZHurnal: EHnergosberezhenie. EHnergetika. EHnergoaudit, No 2(72). Har'kov, 2010., pp. 23-28.

14. Kovalev A.A.EHnergonezavisimaya ustanovka dlya pererabotki organicheskih othodov zhivotnovodstva. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. Moskva [Non-volatile plant for the processing of organic animal waste. Bulletin of the All-Russian Research Institute of livestock mechanization. Moscow], No 4(12), 2013 y., pp. 134-139.

15. Birkin S.M. Teoreticheskie issledovaniya koehfficienta teploperedachi sistem obogreva biogazovyh ustanovok. Vestnik volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arhitektura [Theoretical studies of the heat transfer coefficient of heating systems for biogas plants. Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University. Series: construction and architecture]. Tom 28, No 9. Volgograd, 2008. pp. 119-124.

16. Anan'ev A. I., Rymarov A. G., Latushkin A. P. Analiz teploobmennyh processov na vnutrennej poverhnosti naruzhnyh sten zdanij [Analysis of heat transfer processes on the inner surface of the outer walls of buildings]. Zhurnal: Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, No 12. Moskva, 2016. pp. 101-105.

17. Teploprovodnost' plastikov i plastmass, plotnost' plastmassy — fizicheskie svojstva polimerov [Thermal conductivity of plastics and plastics, plastics density - physical properties of polymers]. URL: http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/plastmassa-i-plastik/teploprovodnost-plastikov-i-plastmass-fizicheskie-svojstva-polimerov (data obrashcheniya 16.05.2018).

18. Druz'yanova V.P., Petrov N.V., Ushnickij I.N. Issledovanie teploprovodnosti ehfflyuenta biogazovoj ustanovki [The study of thermal conductivity of effluent biogas plant.]. Vestnik IRGSKHA, No 78. Irkutsk, 2017., pp. 128-133.

19. Noskov V.I. Teplovaya model' tyagovogo dvigatelya teplovoza [Thermal model of a locomotive traction engine]. Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta har'kovskij politekhnicheskij institut. Seriya: informatika i modelirovanie, No 62 (968). Har'kov, 2012 g., pp. 142-147.

20. Nosach E.V., CHernyj A.P., Vorobejchik O.S. Processy nagrevaniya obmotok pri puske ehlektricheskih mashin [The processes of heating the windings during the start-up of electrical machines]. ZHurnal: Elektromekhanichniienergozberigayuchisistemi, No 1(13). Kremenchug, 2011., pp. 75-79

УДК 51-74: 635.25/26

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ МАШИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

THEORETICAL ASPECTS OF DYNAMIC PROGRAMMING ADAPTIVE MACHINERY TECHNOLOGIES OF AGRICULTURAL CROPS EXTRACTION

А.Г. АКСЕНОВ, *канд. тех. наук,* ***Д.В. ЗУБ,*** *аспирант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

A.G. AKSENOV*, cand. tech. sci.,* ***D.V. ZUB****, a graduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В данной статье рассмотрены теоретические аспекты динамического программирования машинных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с учетом их адаптивности к особенностям используемых сортов и агроценозов. Разработана модель адаптивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Получены зависимости в виде рекуррентных последовательностей для определения количества вариантов технологий и оптимальной технологии по выбранному критерию адаптации.*

Ключевые слова*: возделывание сельскохозяйственных культур, машинные технологии, динамическое программирование, адаптация.*

Abstract*. In this article, theoretical aspects of the dynamic programming of machine technologies for cultivating agricultural crops are considered, taking into account their adaptability to the peculiarities of the varieties and agrocenoses used. A model of adaptive technology for cultivating agricultural crops has been developed. Dependencies are obtained in the form of recurrence sequences for determining the number of technology options and the optimal technology for the chosen adaptation criterion.*

Keywords*: cultivation of crops, machine technology, dynamic programming, adaptation.*

В производстве сельскохозяйственных культур огромное значение имеют методики прогнозирования будущего урожая для принятия оптимальных управленческих решений при выборе технологических операций и их параметров [1]. В настоящий момент сложилась ситуация когда с одной стороны имеется большой массив данных, о потенциальных возможностях сортов и гибридов сельскохозяйственных культур давать тот или иной урожай, о качественных и количественных эксплуатационных показателях машин и оборудования для их производства на различных агреценозах. С другой стороны появились широкие возможности по автоматизированной обработки больших данных и их анализа для использования которых нужны модели оптимального проектирования машинных технологий [2,3,4].

Сорта и гибриды каждой сельскохозяйственной культуры имеет свой потенциал урожайности $У_п$, реализовать который на практике бывает сложно. В зависимости от особенностей агроценозов конкретного хозяйства этот потенциал, как правило, снижается до урожайности $У_{ПК}$. Дальнейшее снижение урожайности обусловлено выбранной технологией возделывания и недостатками в работе применяемых машин и оборудования. Графически такую динамику потери потенциальной урожайности можно представить следующей диаграммой (Рис. 1).

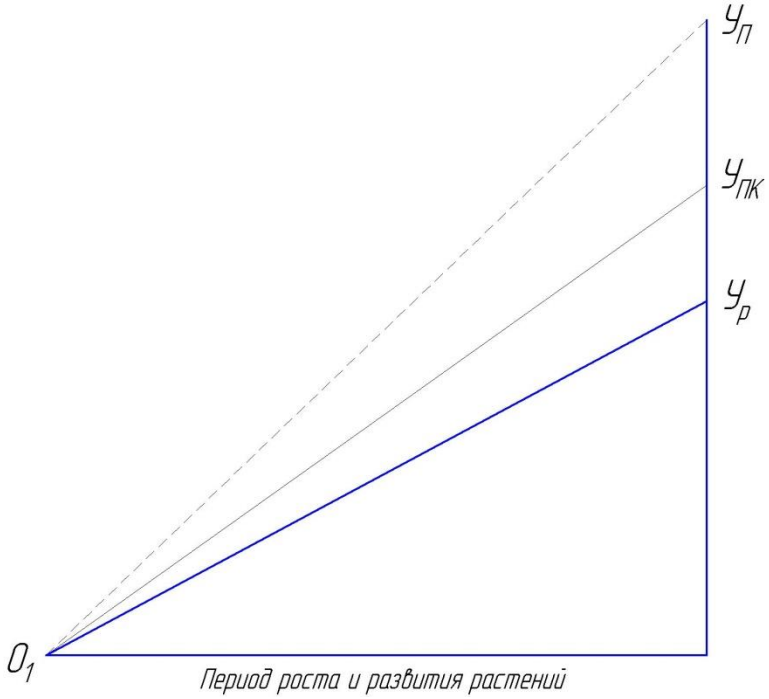


Рисунок 1 – Диаграмма потери потенциальной урожайности в связи с почвенно-климатическими условиями и недостатками технологии возделывания.

На расчетную урожайность $У_р$ оказывает влияние каждая технологическая операция возделывания сельскохозяйственной культуры, если все эти операции последовательно разместить на диаграмме 1 в виде столбцов вариантов, то множество способов достижения расчетной урожайности можно представить в виде диаграммы иллюстрирующей комбинации технологических операций (Рис. 2).

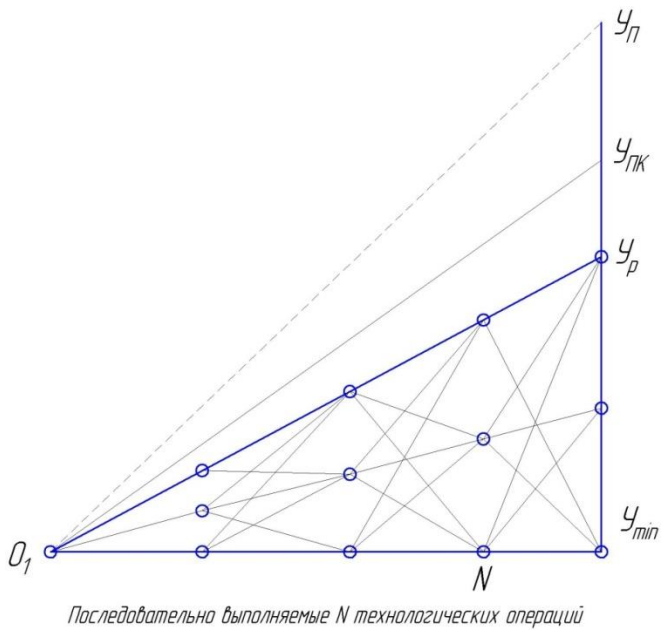


Рисунок 2 – Диаграмма возможных комбинаций технологических операций по возделыванию сельскохозяйственных культур

Подобные диаграммы позволяют проектировать технологии и комплексы машин для возделывания конкретных культур, находить оптимальное сочетание технологических операций для достижения максимальной урожайности при минимальных энергозатратах. Также может быть спланирована урожайность в зависимости от имеющегося набора машин и оборудования и с учетом этого откорректированы нормы внесения семенного материала, удобрений, полива и средств защиты растений.

Принимаем количество учитываемых технологических операций равное *N*, а число вариантов выполнения каждой операции М равное для всех операций, тогда множество способов достижения расчетной урожайности можно представить в виде двумерной таблицы.

В общем виде для прохождения пути из точки O_1 в заданную ячейку таблицы с координатами (i; j) учитывая, что технологические операции выполняются последовательно, перемещаться можно по горизонтали и диагонали с единичным шагом. То есть, из т. O_1 может быть осуществлен переход в ячейку с координатами (1; 1) (1; 2) (1; …) (1;*M*) из чего следует, что количество возможных переходов на первом шаге a_{1j} равно количеству вариантов выполнения операции *M*

$$a_{i1} = M \tag{1}$$

Таблица 1

Табличное представление множества способов достижения расчетной урожайности

M					
…				(i; j)	
3					
2					
1					
O_1	1	2	3	…	N

Тогда количество вариантов достижения заданной ячейки с координатами (i; j) будет определяться формулой, представляющую из себя следующую рекуррентную последовательность

$$a_{ij} = a_{i(j-1)} + a_{(i-1)(j-1)} + \cdots + a_{(i-M-1)(j-1)} \quad (2)$$

С точки зрения технологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур представляет интерес прохождение оптимального пути к заданному значению [5]. Для этого необходимо каждой ячейке назначить ее ценность C_{ij} в достижении конечного результата.

В машинных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур выделяют основные направления оптимизации это повышение урожайности за счет агротехнических мероприятий $У_{ij}$, снижение энергозатрат на выполнение операций $Э_{ij}$ и повышение производительности $П_{ij}$.

Выбор ячейки на первом шаге будет определен ценностью ячеек в 1 столбце и тогда в зависимости от задачи минимизации (или максимизации)

$$c_{i1} = \min(\max)(\mathrm{c}_{(\mathrm{i}+1)1}; \dots; \mathrm{c}_{(\mathrm{i}+\mathrm{M})1}) \quad (3)$$

Тогда стоимость пройденной цепочки из технологических операций в заданной ячейки (i; j) описывается рекуррентной последовательностью

$$c_{ij} = c_{\min(\max)(j-1)} + \min(\max)(\mathrm{c}_{(\mathrm{i}+1)\mathrm{j}}; \dots; \mathrm{c}_{(\mathrm{i}+\mathrm{M})\mathrm{j}}) \quad (4)$$

Таким образом, для практического применения динамического программирования машинных технологий возделывания необходимо разработать критерий оптимизации, отражающий динамику изменения урожайности выбранного сорта в заданных почвенно-климатических условиях в зависимости от применения тех или иных технических средств выполнения технологических операций. По сути, данный критерий будет показывать насколько разрабатываемая технология адаптирована к возделыванию сорта в определенных почвенно-климатических условиях, то есть логично назвать его критерием адаптации, а оптимизированную по данному критерию машинную технология возделывания - адаптивной.

Адаптивность машинной технологии будет определяться адаптивностью машин на заданных технологических операциях [6].

В рассмотренную выше таблицу модели динамического программирования следует включать в первую очередь операции по предпосевной подготовке почвы и семенного материала, посева и посадки, а затем по результатам расчета урожайности корректировать операции по уходу

за посевами, а именно нормы внесения удобрений, полива и средств защиты растений [7,8]. (Рис. 3)

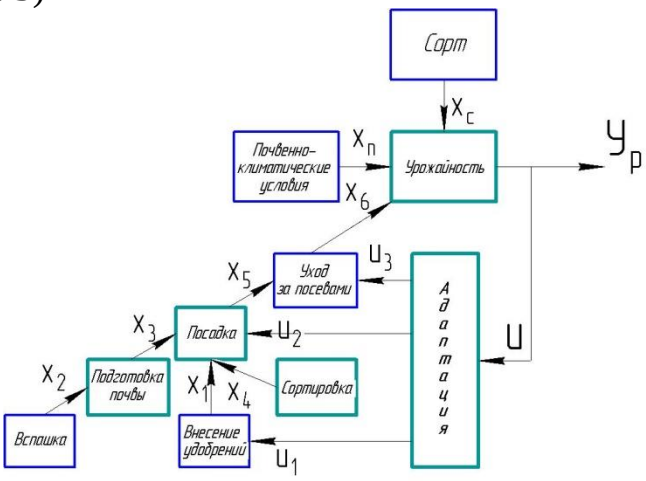


Рисунок 3 – Структурная модель адаптивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур

Для заполнения вариантов столбцов таблицы для каждой машины необходимо определить коэффициент адаптации. Для этого необходимо сформулировать факторы адаптации. К таким факторам следует отнести в первую очередь физико-механические свойства почвы, посевного, посадочного материала, удобрений, средств защиты растений и другие. Далее провести серию экспериментальных исследований или использовать данные протоколов испытаний МИС и внутрихозяйственные сведения о качественных показателях работы машин. Получить зависимости между качественными показателями исследуемых машин и урожайностью.

Разработана модель адаптивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Получены зависимости для определения количества вариантов технологий (2) и определению оптимальной технологии по выбранному критерию адаптации (4).

Список литературы

1. Асалханов П.Г., Иваньо Я.М., Полковская М.Н. Модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в задачах параметрического программирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. N 2 (121). С. 57-66.

2. Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Особенности функционирования системы автоматизированного управления продукционными процессами (асупп) в садоводстве // Инновации в сельском хозяйстве. 2013. № 2 (4). С. 70-74.

3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно--технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 7-10.

4. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. В сборнике: ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО

ГОСУДАРСТВА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства. 2017. С. 333-343.

5. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Сборник научных докладов ВИМ Том 1. М. ВИМ, 2010. С. 47-58.

6. Личман Г.И., Смирнов И.Г. Обоснование критерия адаптации машинной технологии применения удобрений к конкретным условиям // В сборнике: Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2015. С. 167-172.

7. Аксенов А.Г., Сибирёв А.В., Козлова А.И. Методология разработки технологических и технических решений на возделывании овощных культур на примере посадки лука-севка // В сборнике: Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2015. С. 284-288.

8. Емельянов П.А., Овтов В.А., Аксенов А.Г. Ориентированная посадка луковиц // Сельский механизатор 2014. № 4 (62). С. 10

References

1. Asalhanov P.G., Ivan'o YA.M., Polkovskaya M.N. Modeli prognozirovaniya urozhajnosti sel'skohozyajstvennyh kul'tur v zadachah parametricheskogo programmirovaniya [Models for predicting crop yields in parametric programming problems] // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. T. 21. No 2 (121). pp. 57-66.

2. Hort D.O., Filippov R.A. Osobennosti funkcionirovaniya sistemy avtomatizirovannogo upravleniya produkcionnymi processami (asupp) v sadovodstve [Features of the functioning of the automated control system of production processes (asupp) in gardening] // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2013. No 2 (4). pp. 70-74.

3. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii. V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno--tekhnicheskoj konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. [The system of technologies and machines for the innovative development of the agricultural sector of Russia. In the collection: The system of technologies and machines for the innovation development of the agricultural sector of Russia. A collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 145th anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics, academician V.P. Goryachkina. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization.] 2013. pp. 7-10.

4. Lobachevskij YA.P., Dorohov A.S. Perspektivnye nauchno-tekhnicheskie proekty v sfere mekhanizacii i robotizacii sel'skogo hozyajstva[Promising scientific and technical projects in the field of mechanization and robotization of agriculture]. V sbornike: FORMIROVANIE EDINOGO NAUCHNO-TEKHNOLOGICHESKOGO PROSTRANSTVA SOYUZNOGO GOSUDARSTVA: PROBLEMY, PERSPEKTIVY, INNOVACII Materialy postoyanno dejstvuyushchego seminara pri Parlamentskom Sobranii Soyuza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva. 2017. pp. 333-343.

5. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Upravlenie i informacionnoe obespechenie innovacionnymi tekhnologicheskimi processami v rastenievodstve [Management and information

support of innovative technological processes in crop production] // Sbornik nauchnyh dokladov VIM Tom 1. M. VIM, 2010. pp. 47-58.

6. Lichman G.I., Smirnov I.G. Obosnovanie kriteriya adaptacii mashinnoj tekhnologii primeneniya udobrenij k konkretnym usloviyam // V sbornike: Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizacii Gosudarstvennoj programmy razvitiya sel'skogo hozyajstva Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [Justification of the criterion for adapting machine technology to the application of fertilizers to specific conditions // In the collection: Intellectual machine technologies and equipment for the implementation of the State Program for the Development of Agriculture. Collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization]. 2015. pp. 167-172.

7. Aksenov A.G., Sibiryov A.V., Kozlova A.I. Metodologiya razrabotki tekhnologicheskih i tekhnicheskih reshenij na vozdelyvanii ovoshchnyh kul'tur na primere posadki luka-sevka // V sbornike: Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizacii Gosudarstvennoj programmy razvitiya sel'skogo hozyajstva Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [Methodology of development of technological and technical solutions for the cultivation of vegetable crops on the example of planting onion sets // In the collection: Intellectual machine technologies and equipment for the implementation of the State program of agricultural development. Collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization]. 2015. pp. 284-288.

8. Emel'yanov P.A., Ovtov V.A., Aksenov A.G. Orientirovannaya posadka lukovic [Oriented planting bulbs] // Sel'skij mekhanizator 2014. No 4 (62). p. 10

УДК 631.3

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО МОСТА КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА

THEORETICAL Research OF STABILITY OF MOTION OF STEERING AXLE FOR WHEELED TRACTOR

***Д.В. БОРИСЮК**, инженер, Винницкий национальный технический университет, Винница, Украина, **А.В. СПИРИН**, канд. техн. наук, доц., **И.В ГУНЬКО**, канд. техн. наук, доц., Винницкий национальный аграрный університет, Винница, Украина*

***D.V. BORYSIUK**, engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, Ukraine, **A.V. SPIRIN**, cand. tech. sci., Associate Professor, **I.V. GUNKO**, cand. tech. sci., Associate Professor, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsya, Ukraine*

***Аннотация**. В данной статье рассмотрено влияние колебания колес и микропрофиля дорожного покрытия на устойчивость движения управляемого моста колесного трактора. Представлены причины, вызывающие колебания управляемых колес, расчетная схема управляемого моста колесного трактора и последовательность определения частоты колебаний моста трактора.*

Рассмотрено физическая сущность процессов, происходящих при автоколебаниях управляемых колес трактора.

***Ключевые слова**: устойчивость движения, управляемый мост, колесный трактор, дорожное покрытие, колебания, гироскопический момент, скорость движения.*

***Abstract**. In this article it is proposed to consider the influence of wheel oscillations and the micro-profile of the road surface on the stability of the motion of a steering axle for wheeled tractor. The reasons for the oscillations of the steered wheels, the design scheme of the steering axle for wheeled tractor and the frequency determination procedure for the oscillations of the steering axle are presented.*

The physical essence of the processes occurring during self-oscillations of controlled tractor wheels is considered.

***Keywords**: stability of movement, steering axle, wheeled tractor, road surface, oscillations, gyroscopic moment, speed of motion.*

Во время движения по дороге с неровной поверхностью трактор воспринимает удары и испытывает колебаний. Основными узлами, которые защищают трактор от динамического воздействия дороги и сводят колебания и вибрации до приемлемого уровня являются управляемый мост и шины.

Многолетний опыт показывает, что неровности дорожного покрытия и вызванные ими колебания рамы и колес трактора приводят, как правило, к ухудшению всех его эксплуатационно-технических качеств.

Управляемый мост колесного трактора обеспечивает оптимальную управляемость, устойчивость движения, долговечность и надежность работы.

Существует ряд публикаций [1-7], посвященных обзору вопросов, связанных с анализом динамической устойчивости и плавности движения самоходных машин, однако необходимо обратить внимание на разноплановость работ. В зависимости от поставленных задач исследований, принятой

расчетной схемы модели, а также применением того или иного метода исследования, в этих работах принимался ряд предположений, которые требуют обобщения, а методы исследований – дальнейшего развития и анализа.

Целью исследования является повышение динамической устойчивости движения управляемого моста колесного трактора за счет исследования основных причин, влияющих на его устойчивость движения, а также упорядочения конструктивных параметров и эксплуатационных факторов.

Рассмотрим основные причины, которые влияют на устойчивость движения управляемого моста колесного трактора.

Причинами, вызывающими колебания управляемых колес, являются наезды на неровности, дисбаланс колес и наличие двойной связи с остовом трактора через систему рулевого управления и крепления балки управляемого моста.

При наезде колеса на неровность дороги возникает реакция, которая создает момент инерции относительно оси шкворня, что и приводит к повороту или отклонению управляемых колес на некоторый угол. Этому повороту противодействуют силы сцепления колеса с покрытием дороги, упругость и трения в рулевом управлении, гироскопические моменты, которые образуются в процессе изменения положения колес и балки управляемого моста.

Для описания высот неровности дороги под передними и задними колесами трактора, например, h_1 и h_2 (микропрофиля дорожного покрытия) применяют ряд функций, которые достаточно точно описывают различные типы дорожных покрытий. Наиболее распространенными функциями являются математическое ожидание и среднее значение ординат микропрофиля, дисперсия или среднее квадратическое отклонение ординат, корреляционная функция, характеризующая взаимосвязь различных реализаций функций микропрофиля по длине дорожного участка, и спектральная плотность микропрофиля дороги. Если есть m реализаций ординат микропрофиля (зависимости ординат по длине L дорожного участка $r(L)$) дорожного покрытия, то в качестве высоты неровности, например h_1, берут среднее значение ординат: $h_1(L) = \sum_{i=1}^{m} r_i(L)/m$. Соответственно $h_2(L) = h_1(L - L_1 - L_2)$ [8].

Основной источник низкочастотных колебаний трактора при движении - это неровности поверхности дороги, которые носят вероятностный, случайный характер [9].

В процессе измерения характеристик микропрофиля получают функцию высоты неровности от пройденного пути l.

Результаты расчетов показывают, что единичную неровность с достаточной точностью можно выразить в виде волны синусоидальной формы, которая описывается следующим образом

$$q = q_0 \, sin\left(\frac{2\pi l}{l_0}\right); \quad 0 \le l \le l_0, \tag{1}$$

где q_0 – высота неровности; l_0 – длина неровности.

При этом периодические неровности можно представить в виде

непрерывных повторений единичной неровности. Формулы для микропрофиля в виде единичной и периодической неровности целесообразно записать в виде функции времени t, или $l = \vartheta_{тр} t$, где $\vartheta_{тр}$ – скорость движения трактора.

Тогда для единичной неровности $q = q_0 \sin vt$, $0 \le t \le 2\pi / v$; для периодической неровности $q = q_0 \sin vt$, $0 \le t < \infty$, где $v = 2\pi\vartheta_{тр} / l_0$ – частота вынужденных колебаний. Произвольный микропрофиль можно рассматривать как реализацию некоторой случайной функции. Если считать эту случайную функцию эргодической и стационарной, то аналитическое описание такого микропрофиля упрощается.

Для стационарных случайных функций неровности основными характеристиками являются корреляционная функция и спектральная плотность (энергетический спектр). Корреляционную функцию для каждого режима движения определяют по микропрофилю дороги. Эта функция является основной статистической характеристикой во временной области стационарного случайного процесса и отражает все основные свойства воздействия: характер неровности микропрофиля дороги (высоту, форму, длину) и скорость движения трактора.

Корреляционная функция характеризует связь между ординатами случайной функции, смещенными друг относительно друга на время τ. Для непрерывной случайной функции корреляционная функция записывается в таком виде

$$R(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} [H(t) - M(H)][H(t+\tau) - M(H)] dt, \qquad (2)$$

где $2T$ – интервал наблюдения при движении трактора со скоростью $\vartheta_{тр}$ на участке длиной l; $H(t)$ – случайная величина; $M(H)$ – математическое ожидание; τ – разница моментов времени наблюдения ординаты случайной функции; $t = l / \vartheta_{тр}$ – текущее значение времени.

Анализ уравнения (2) показывает, что при нулевом смещении ($\tau = 0$) и для некоторого конечного интервала наблюдения $2T$ значение корреляционной функции равно дисперсии ординат неровности, то есть $R(0) = D(H)$.

При $\tau > 0$, но при малом значении ординат величины $H(t)$ и $H(t + \tau)$ мало отличаются друг от друга. Следовательно, они взаимосвязаны: если величина $H(t)$ приняла какое-то значение, то величина $H(t + \tau)$ с большей вероятностью примет значение, близкое к нему. При $\tau = 0$ эта взаимосвязь самая более вероятная. При увеличении сдвига τ зависимость между ординатами $H(t)$ и $H(t + \tau)$ должна ослабнуть и, следовательно, значение корреляционной функции должно уменьшиться. Поэтому всегда выполняется неравенство $R(0) \ge R(\tau)$.

Корреляционная функция, которую выражено кривой 1 (рис. 1), характеризует случайную функцию без гармонических составляющих, поскольку значение $R(\tau)$ непрерывно уменьшается с увеличением значений τ и отсутствии периодических колебаний или значений $R(\tau)$. Кривая 2 также не имеет гармонических составляющих, но степень случайности процесса здесь существенно выше, так как значения $R(\tau)$ стремительно уменьшаются с

увеличением значений τ. Кривые 3 и 4 характеризуют процесс, в котором присутствуют гармонические составляющие. При этом кривая 3 описывает процесс с малой случайностью и высокой периодичностью, то есть процесс близок к обычному гармоничному процессу, а кривая 4 – процесс со случайными и периодическими составляющими.

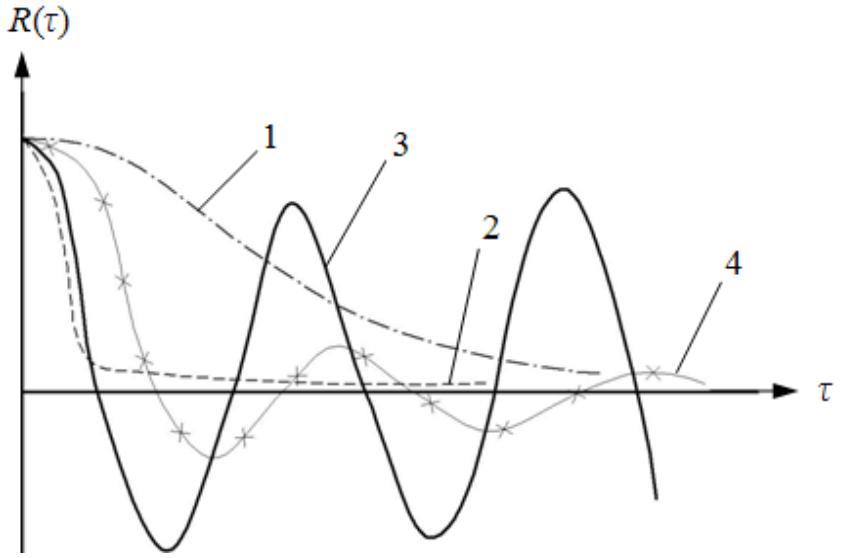


Рисунок 1 - Зависимости корреляционных функций случайного микропрофиля дороги: 1, 2 - кривые корреляционной функции без гармонических составляющих; 3, 4 - кривые корреляционной функции с гармоничными составляющими.

Несмотря на большую универсальность и общность корреляционных функций как характеристик случайных процессов, в практических исследованиях также широко применяют спектральные характеристики, в частности спектральную плотность.

Обратная зависимость корреляционной функции описывается уравнениями:

$$S(\omega) = 2\int_0^\infty R(\tau)\cos\omega\tau d\tau\,; \quad R(\tau) = \frac{1}{\pi}\int_0^\infty S(\omega)\cos\omega\tau d\omega\,, \qquad (3)$$

где первое уравнение характеризует зависимость спектральной плотности $S(\omega)$ от текущей частоты ω процесса, а второе описывает зависимость текущих колебаний от спектральной плотности. При $\tau = 0$ имеем $R(0) = D = \frac{1}{\pi}\int_0^\infty S(\omega)d\omega.$

Если графики корреляционной функции, аналогичные тем, что приведены на рис. 2, тогда можно подобрать аналитическое выражение этой функции в виде

$$R(\tau) = R(0)\left(A_1 e^{-\alpha_1\tau}\cos\beta_1\tau + A_2 e^{-\alpha_2\tau}\right), \qquad (4)$$

где $R(0)$ – дисперсия высоты, которая равна квадрату средней квадратичной высоты; α_1, α_2, β_1, A_1 и A_2 – неопределенные коэффициенты, при этом $A_1+A_2 = 1$.

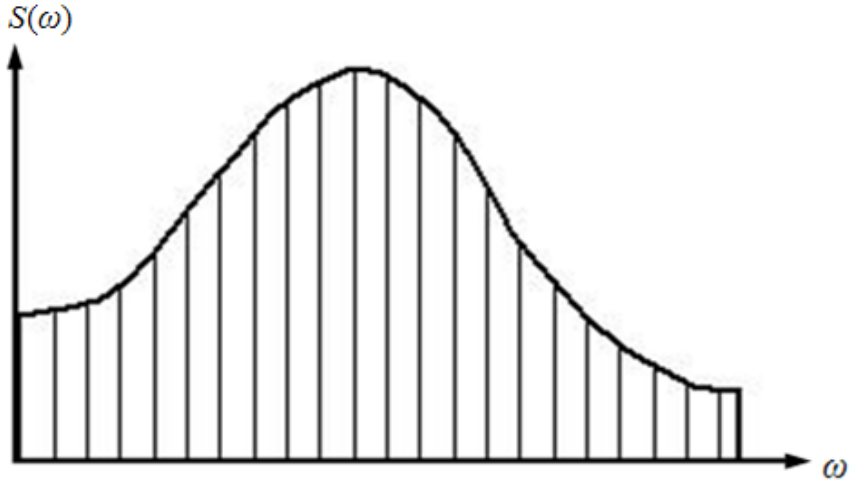


Рисунок 2 - График спектральной плотности случайного микропрофиля дороги.

Для определения коэффициентов можно использовать один из методов теории аппроксимации графических зависимостей, например метод наименьших квадратов.

Для функции, которую задано уравнением (4) можно найти спектральную плотность, которая будет иметь следующий вид

$$S(\omega) = 2R(0)\left[A_1 \frac{\alpha_1\left(\omega^2 + \alpha_1^2 + \beta_1^2\right)}{\omega^4 - 2\left(\beta_1^2 - \alpha_1^2\right)\omega^2 + \left(\alpha_1^2 + \beta_1^2\right)^2} + A_2 \frac{\alpha_2}{\omega^2 - \alpha_2^2}\right]. \qquad (5)$$

Установлено зависимость спектральной плотности поверхности дороги от скорости движения, при этом $S(\omega, \vartheta_2) = (\vartheta_1 / \vartheta_2) S(\omega_{прив}, \vartheta_1)$, где ϑ_1 и ϑ_2 – скорость движения; $\omega_{прив}$ – приведенная частота. Характер спектральной плотности не зависит от скорости движения, а ее значения и приведённая частота $\omega_{прив}$ с изменением скорости меняются в разы в зависимости от отношения $\vartheta_1 / \vartheta_2$.

В уравнениях (4) и (5) коэффициенты α и β, которые определяют корреляционную функцию и спектральную плотность, зависят от скорости движения, а величины A_1, A_2 и $R(0)$, наоборот, не зависят от скорости. Если $\alpha(\vartheta)$ и $\beta(\vartheta)$ – значение α и β при скорости ϑ, то $\alpha(\vartheta_2) = (\vartheta_2 / \vartheta_1)\alpha(\vartheta_1)$, а $\beta(\vartheta_2) = (\vartheta_2 / \vartheta_1)\beta(\vartheta_1)$.

Итак, достаточно иметь спектральную плотность для одной скорости движения, чтобы определить ее значение для любой другой. В технической литературе значения коэффициентов α и β приводятся для скорости $\vartheta = 1$ м/с. Для любых других значений скоростей их определяют по формулам $\alpha(\vartheta) = \vartheta\alpha$; $\beta(\vartheta) = \vartheta\beta$.

Для расчета спектральной плотности среднего статистического фона предположим, что для каждого из n типичных сельскохозяйственных фонов известны следующие величины: γ_n – относительное время работы; ϑ_n – среднее значение скорости движения; S_n – спектральная плотность.

Тогда среднюю скорость при работе на среднем статистическом фоне

можно вычислить по формуле $\vartheta = \sum_{1}^{n} \gamma_n \vartheta_n$. Если исходить из энергетического принципа составления колебаний, то среднее статистическое ускорение при работе на нескольких сельскохозяйственных фонах составляет

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \sqrt{\sum_{1}^{n} \left(\frac{d^2 z_n}{dt^2} \right)^2 \gamma_n}, \tag{6}$$

где $\frac{d^2 z_n}{dt^2}$ – среднее квадратическое ускорение, которое соответствует n-му фону.

Среднее квадратическое ускорение равно интегралу от производной спектральной плотности фона умноженному на квадрат модуля передаточной функции ускорений, то есть

$$\frac{d^2 z_n}{dt^2} = \int S_n(\omega) \left| W_{\frac{d^2 z}{dt^2}}(i\omega) \right|^2 d\omega. \tag{7}$$

Чтобы равенство (6) выполнялась для любых частот, необходимо чтобы $S(\omega) = \sum_{1}^{n} \gamma_n S_n(\omega)$.

Итак, для получения спектральной плотности среднего статистического фона необходимо составить спектральные плотности каждого фона, предварительно умноженные на относительное время работы.

На устойчивость движения трактора побочное влияние оказывают колебания управляемых колес, что приводит к колебаниям управляемого моста, благодаря наличию дополнительной степени свободы (поворот вокруг шкворня) по сравнению с неуправляемыми. Кроме того, управляемые колеса связаны между собой рулевой трапецией, которая имеет демпфирования благодаря наличию зазоров [10].

Вследствие того, что управляемый мост является колебательной динамической системой, при воздействии на него периодических или случайных возмущений возникают колебания масс его узлов. Амплитуда колебаний зависит от амплитуды возмущения, собственных колебаний и характера затухания колебаний в системе. Наибольшая интенсивность колебаний имеет место тогда, когда частота возмущения близка к частоте собственных колебаний, или возникает явление резонанса.

Дисбаланс вращающегося колеса приводит к появлению центробежной силы, которую можно разложить на две составляющие. Первая из них направлена вдоль горизонтальной оси, расположенной в плоскости вращения колеса, и она пытается повернуть колесо относительно оси шкворня, а вторая вертикальная составляющая – пытается наклонить его в поперечно-вертикальной плоскости. В обоих случаях возникают гироскопические моменты, противодействующие поворотам колеса. В процессе качения колеса значение и направление составляющих центробежной силы меняются, поэтому

колесо совершает сложные движения в пространстве. При колебаниях колес вокруг шкворней может оказаться, что силы от неуравновешенных масс будут действовать в одной плоскости с управляемым мостом, но направлены в противоположные стороны. Тогда возникают колебания моста вместе с колесами в вертикальной плоскости и колебания колес вокруг шкворней.

Колебания колес может происходить также вследствие того, что радиальная (нормальная) жесткость шин по кругу оказывается неодинаковой. При качении такой шины колесо начинает колебаться в вертикальной плоскости. Подобные колебания, совершаемые вследствие изменения параметров колебательной системы (в данном случае радиальной жесткости шины), называют параметрическими. Однако амплитуды параметрических колебаний колес небольшие учитывая наличие внутреннего трения и относительно небольшого изменения жесткости шины.

В некоторых условиях могут возникнуть колебательные процессы в системе рулевого управления, которая оборудована гидравлическим усилителем руля. При этом переменные усилия передаются на управляемые колеса, которые возбуждают их колебания. Указанные причины могут приводить к угловым перемещениям колес, которые при хаотичном характере называют вилянием, а при закономерном – колебаниям. При колебаниях колес возникают дополнительные силы, которые могут передаваться на остов и вызвать его колебания.

Однако эти колебания остова осуществляются с малыми амплитудами и практически не сказываются на характеристиках движения трактора. Если при колебаниях колес возникает их проскальзывания по опорной поверхности, тогда может меняться направление движения трактора, то есть ухудшается устойчивость движения и управляемость трактора.

Для построения модели, которая характеризует устойчивость движения управляемого моста колесного трактора для формализации объекта исследования принимаем предположение, что управляемый мост трактора представляет собой сложную динамическую систему в виде динамической массы, которая связана упругими элементами: шинами, рессорами, тягами руля (рис. 3).

Во время движения трактора возможны следующие перемещения масс управляемого моста: вертикальное – в вертикально-поперечной плоскости; угловое перемещение балки управляемого моста в вертикально-поперечной плоскости; угловое перемещение колес относительно шкворня в горизонтальной плоскости. Наибольшее влияние на управляемость и устойчивость трактора осуществляют угловые колебания балки моста с колесами по координате ψ и угловые колебания колес по координате α.

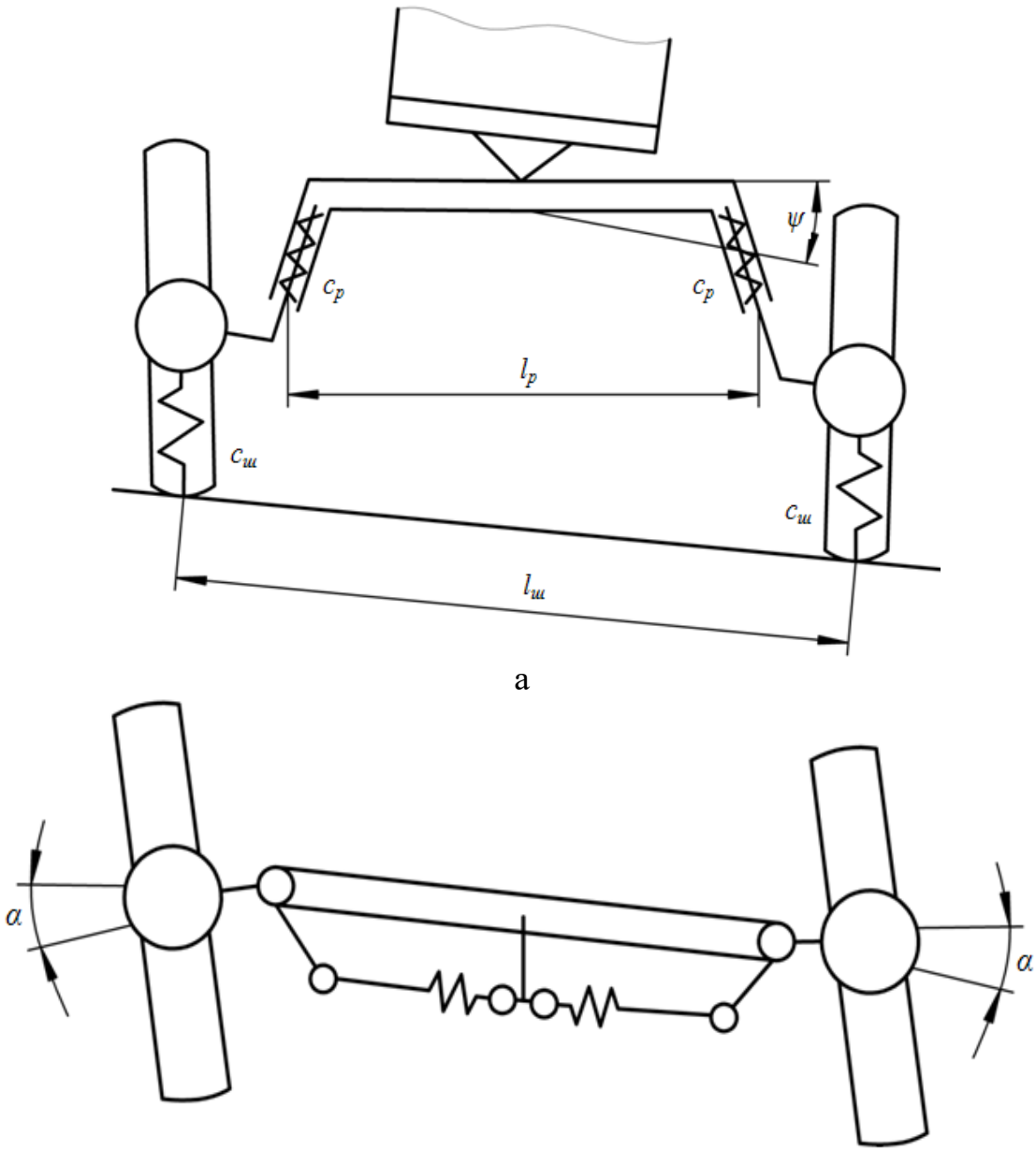


Рисунок 3 - Расчетная схема определения колебаний управляемого моста колесного трактора: а - вид спереди; б - вид сверху.

Одной из характеристик динамических систем являются частоты собственных колебаний. Частота собственных угловых колебаний ν_ψ управляемого моста трактора в вертикально-поперечной плоскости [10, 11]:

$$\nu_\psi = \sqrt{c_\psi / J_\psi} = \sqrt{c_\psi / \int r_o^2 dm_c}\ , \qquad (8)$$

где ν_ψ – частота собственных колебаний, Гц; c_ψ – коэффициент угловой жесткости, кг·м^2/с^2; J_ψ – момент инерции моста относительно оси качания, кг·м^2; r_o - расстояние до оси поворота моста, м; m_c – масса системы, кг.

Коэффициент угловой жесткости c_ψ подвески колес в вертикально-поперечной плоскости согласно [10] будет:

$$c_\psi = \frac{1}{2} \cdot \left(c_p \cdot l_p^2 + c_ш \cdot l_ш^2\right), \qquad (9)$$

где $c_р$, $c_ш$ – соответственно, коэффициенты жесткости пружины и шины, Н/м; $l_р$, $l_ш$ – соответственно, рессорная база и колея моста, м.

Для определения коэффициента жесткости шины $c_ш$ используем формулу, предложенною Бидерманом В.Л. [11, 12], то есть

$$c_ш = \frac{dP}{dz_{отн}} = \frac{P}{f_ш}\left(2 - C\frac{P}{f_ш p_ш}\right), \tag{10}$$

где $z_{отн}$ – перемещение колеса относительно рамы трактора, м; P – нагрузка на шину, Н; $f_ш$ – осадка шины, м; C – коэффициент жесткости, м$^{-1}$; $p_ш$ – давление воздуха в шине, которое зависит от размеров шины, Па.

При этом коэффициент жесткости C определяется по формуле [8, 9]

$$C = (0{,}32...0{,}45)\frac{1}{\sqrt{R_{кш} D_ш}}, \tag{11}$$

где $R_{кш}$ – радиус кривизны протектора шины, м; $D_ш$ – диаметр протектора шины, м.

Тогда согласно (8) - (11) частота собственных угловых колебаний управляемого моста трактора в вертикально-поперечной плоскости определяется зависимостью

$$\omega_\psi = \sqrt{\frac{c_р \cdot l_р^2 + c_ш \cdot l_ш^2}{2 \cdot \int r_o^2 dm_c}}. \tag{12}$$

Следовательно, при снижении жесткости рессор и шин, а также увеличении момента инерции управляемого моста частота его собственных колебаний в вертикально-поперечной плоскости уменьшается. Частота собственных колебаний колес относительно осей шкворней (виляние) может быть найдена по выражению (8).

Автоколебания управляемых колес вызывают значительные динамические нагрузки на детали рулевого управления, интенсивный износ шин и приводят к потере трактором управляемости и устойчивости движения. Одной из основных причин возникновения автоколебаний управляемых колес является наличие гироскопической связи между угловыми колебаниями балки управляемого моста в поперечной плоскости и поворотом колес этого моста относительно шкворней.

Рассмотрим физическую сущность процессов, которые происходят во время автоколебания управляемых колес. При движении трактора его колеса можно рассматривать как вращающиеся гироскопы. При случайном повороте управляемых колес вокруг шкворней на угол α (рис. 3) возникает гироскопический момент $M_{Г1}$ [10]:

$$M_{Г1} = \int r_o^2 dm_к \frac{d\varphi_к}{dt}\alpha, \tag{13}$$

где $\int r_o^2 dm_к = J_к$ – момент инерции колеса, кг·м^2; $m_к$ – масса колеса, кг; $d\varphi_к / dt = \omega_к$ – угловая скорость колеса, рад/с; $\varphi_к$ – угол поворота колеса, град.

Под действием этого момента управляемый мост вернется в вертикальной

плоскости на угол ψ, а в горизонтальной плоскости возникает гироскопический момент $M_{Г2}$, который согласно [10] определяется по формуле:

$$M_{Г2} = \int r_o^2 dm_к \frac{d\varphi_к}{dt}\psi . \qquad (14)$$

При этом гироскопический момент $M_{Г2}$ увеличивает угол поворота управляемых колес. Таким образом, непринужденный поворот управляемых колес вызывает перекосы балки управляемого моста, которые в свою очередь увеличивают поворот управляемых колес [13, 14].

Вследствие поворота моста в вертикальной плоскости динамический радиус одного из колес уменьшится, а другой – увеличится. В первом случае продольная реакция опорной поверхности увеличивается, поскольку растет сила сопротивления качению и уменьшается радиус качения колеса. Увеличение продольной реакции при уменьшении радиуса качения колеса объясняется тем, что при постоянной скорости движения трактора с уменьшением радиуса качения колеса должна увеличиться его угловая скорость, то есть оно должно получить угловое ускорение. Изменение касательных реакций опорной поверхности приводит к появлению дополнительного момента, который возвращает управляемые колеса в горизонтальной плоскости, а в результате гироскопической связи и в вертикальной плоскости на некоторый угол. При этом происходит дополнительная деформация рулевого привода, подвески и шин. Когда момент поворота становится равным моменту сопротивления, угловая скорость поворота моста в вертикальной плоскости равна нулю, и колеса начинают движение в сторону положения равновесия. Поскольку в упругих элементах подвески и рулевом приводе произошло накопление потенциальной энергии, мост проходит положение равновесия и происходит поворот колеса в противоположную сторону при одновременном уменьшении его радиуса. Это в свою очередь приводит к появлению момента сопротивления, который возвращает в ту же сторону управляемый мост. После того как момент сопротивления становится равным моменту упругих сил в подвеске, шинах и рулевом приводе, процесс повторяется.

Таким образом, конструктивные особенности управляемого моста универсально-пропашных тракторов и условия эксплуатации могут вызвать колебания управляемых колес, которые поддерживаются благодаря энергии тракторного двигателя, ухудшая управляемость и устойчивость движения трактора.

При автоколебаниях управляемых колес возникает переменное по значению и направлению сопротивление, которое поддерживает колебания колес на определенном уровне.

Список литературы

1. Шупляков, В. С. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля [Текст] / В. С. Шупляков. – М.: Транспорт, 1974. – 328 с.

2. Барский, И. Б. Динамика трактора [Текст] / И. Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

3. Попов, В. Б. Математическое моделирование мобильного сельскохозяйственного агрегата в режиме транспортного переезда [Текст] / В. Б Попов // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.А. Сухого. – 2005. – № 3 (22). – С. 13–18.

4. Галкин С.Н., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю. Агротехнические и технологические параметры автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 5. С. 3-6.

5. Scarlett, A. J. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors [Text] / A. J. Scarlett, J. S. Price, R. M. Stayner // Journal of Terramechanics. – 2007. – Vol. 44, Issue 1. – P. 65–73.

6. Patil, M. K. A mathematical model of tractor-occupant system with a new seat suspension for minimization of vibration response [Text] / M. K. Patil, M. S. Palanichamy // Applied Mathematical Modelling. – 1988. – Vol. 12, Issue 1. – P. 63–71.

7. Servadio, P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors [Text] / P. Servadio, A. Marsili, N. P. Belfiore // Biosystems Engineering. – 2007. – Vol. 97, Issue 2. – P. 171–180.

8. Умняшкин, В.А. Теория автомобиля / В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин, Р.С. Музафаров. – Ижевск: Изд-во ИжПУ, 2006. - 272 с.

9. Скотников, В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников, А.А. Мащенский, А.С. Солонский; под ред. В.А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.

10. Гуськов, В.В. Тракторы. Теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

11. Мирошниченко, А.Н. Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие / А.Н. Мирошниченко. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2014. – 490 с.

12. Бидерман, В.Л. Автомобильные шины / В.Л. Бидерман. – М.: Госнаучтехиздат химической литературы, 1963. – 384 с.

13. Ильясов, Р.С. Шины. Некоторые проблемы эксплутации и производства / Р.С. Ильясов, В.П. Дорожкин, Г.Я. Власов, А.А. Мухутдинов. – М.: Изд-во НИИШП, 2000. – 576 с.

14. Борисюк, Д. В. Стійкість руху керованих коліс тракторів / Д. В. Борисюк, В. І. Яцковський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця: ВНАУ, 2016. – Випуск 1 (81). – С. 19-22.

References

1. SHuplyakov, V. S. Kolebaniya i nagruzhennost' transmissii avtomobilya [Oscillations and loading of the vehicle's transmission] / V. S. SHuplyakov. – M.: Transport, 1974. – p. 328.

2. Barskij, I. B. Dinamika traktora [Tractor dynamics] / I. B. Barskij, V. YA. Anilovich, G. M. Kut'kov. – M.: Mashinostroenie, 1973. – p. 280.

3. Popov, V. B. Matematicheskoe modelirovanie mobil'nogo sel'skohozyajstvennogo agregata v rezhime transportnogo pereezda [Mathematical modeling of a mobile agricultural unit in the mode of transport crossing] / V. B Popov // Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.A. Suhogo. – 2005. – No 3 (22). – pp. 13–18.

4. Galkin S.N., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Evtyushenkov N.E., Izmajlov A.YU. Agrotekhnicheskie i tekhnologicheskie parametry avtomobilej sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Agrotechnical and technological parameters of agricultural vehicles] // Traktory i sel'hozmashiny. 2011. № 5. S. 3-6.

5. Scarlett, A. J. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors [Text] / A. J. Scarlett, J. S. Price, R. M. Stayner // Journal of Terramechanics. – 2007. – Vol. 44, Issue 1. – P. 65–73.

6. Patil, M. K. A mathematical model of tractor-occupant system with a new seat suspension for minimization of vibration response [Text] / M. K. Patil, M. S. Palanichamy // Applied Mathematical Modelling. – 1988. – Vol. 12, Issue 1. – P. 63–71.

7. Servadio, P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors [Text] / P. Servadio, A. Marsili, N. P. Belfiore // Biosystems Engineering. – 2007. – Vol. 97, Issue 2. – P. 171–180.

8. Umnyashkin, V.A. Teoriya avtomobilya [Theory of the car] / V.A. Umnyashkin, N.M. Fil'kin, R.S. Muzafarov. – Izhevsk: Izd-vo IzhPU, 2006. – p. 272.

9. Skotnikov, V.A. Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya [Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and car] / V.A. Skotnikov, A.A. Mashchenskij, A.S. Solonskij; pod red. V.A. Skotnikova. – M.: Agropromizdat, 1986. – p. 383.

10. Gus'kov, V.V. Traktory. Teoriya [Tractors. Theory] / V.V. Gus'kov, N.N. Velev, YU.E. Atamanov i dr.; pod obshch. red. V.V. Gus'kova. – M.: Mashinostroenie, 1988. – p. 376.

11. Miroshnichenko, A.N. Osnovy teorii avtomobilya i traktora [Fundamentals of the theory of the car and the tractor: a training manual]: uchebnoe posobie / A.N. Miroshnichenko. – Tomsk: Izd-vo TGASU, 2014. – p. 490.

12. Biderman, V.L. Avtomobil'nye shiny / V.L. Biderman. – M.: Gosnauchtekhizdat himicheskoj literatury, pp. 1963. – 384.

13. Il'yasov, R.S. SHiny. Nekotorye problemy ehksplutacii i proizvodstva [Some problems of exploitation and production] / R.S. Il'yasov, V.P. Dorozhkin, G.YA. Vlasov, A.A. Muhutdinov. – M.: Izd-vo NIISHP, 2000. – p. 576.

14. Borisyuk, D. V. Stijkist' ruhu kerovanih kolis traktoriv / D. V. Borisyuk, V. I. YAckovs'kij // Vibraciï v tekhnici ta tekhnologiyah. – Vinnicya: VNAU, 2016. – Vipusk 1 (81). – pp. 19-22.

УДК 636.084.7

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ

THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF DIAGNOSTICS TECHNOLOGICAL FEED PREPARATION EQUIPMENT FOR LIVESTOCK FARMS

***А.В. БРУСЕНКОВ**, доцент, кандидат технических наук, **В.П. КАПУСТИН**, профессор, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия*

***A.V. BRUSENKOV**, associate Professor, candidate of technical Sciences, V. P. KAPUSTIN, Professor, doctor of technical science, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Tambov state technical University», Tambov, Russia*

***Аннотация**. Надёжность и безотказность работы машин и оборудования во многом зависят от соблюдения периодичности и качества их технического и технологического обслуживания. Однако техническое состояние машин и технологического оборудования ферм находится на низком уровне и требует существенного улучшения. С внедрением диагностики появилась возможность устранить необоснованную разборку механизмов, сократить их простои из-за технических неисправностей путем прогнозирования и предупреждения отказов, снизить трудоемкость ремонта, технического и технологического обслуживания машин и оборудования за счет сокращения разборочно-сборочных работ, снизить расход электроэнергии и топлива в связи с своевременным и качественным выполнением регулировочных и других профилактических операций. Осуществляя периодический контроль за техническим состоянием узлов и агрегатов машин и оборудования безразборным методом можно, в зависимости от наработки прогнозировать их остаточный ресурс. Поэтому с ростом уровня механизации работ на животноводческих фермах и комплексах необходимо обеспечить разработку и*

***Abstract**. The reliability and reliability of machines and equipment largely depend on the frequency and quality of their maintenance and technological service. However, the technical condition of machinery and process equipment of farms is low and requires significant improvement. With the introduction of diagnostics, it became possible to eliminate unjustified disassembly of mechanisms, reduce their downtime due to technical malfunctions by forecasting and preventing failures, reduce the complexity of repair, technical and technological maintenance of machines and equipment by reducing disassembly and Assembly works, reduce energy and fuel consumption due to timely and quality performance of adjustment and other preventive operations. By periodically monitoring the technical condition of units and assemblies of machines and equipment by CIP method, depending on the operating time to predict their residual life. Therefore, with the increase in the level of mechanization of works on livestock farms and complexes, it is necessary to ensure the development and implementation of a set of measures to improve the forms and methods of technical and technological maintenance and diagnostics aimed at improving the designs of*

внедрение комплекса мероприятий по совершенствованию форм и методов технического и технологического обслуживания и диагностики, направленных на совершенствование конструкций машин и оборудования, повышение эффективности их использования, снижение трудоемкости и стоимости ремонтных работ. Решение этой проблемы требует от обслуживающего персонала ферм обширных технических знаний, позволяющих правильно эксплуатировать технику.

***Ключевые слова**: животноводство, кормоприготовительное оборудование, надёжность машин и оборудования, техническое и технологическое обслуживание, диагностика.*

machines and equipment, increasing the efficiency of their use, reducing the complexity and cost of repair work. The solution to this problem requires extensive technical knowledge from the farm staff, allowing the correct operation of the equipment.

***Keywords**: animal husbandry, forage preparation equipment, reliability of machines and equipment, technical and technological maintenance, diagnostics.*

Современные животноводческие фермы – это высокотехнологичные специализированные сельскохозяйственные предприятия по производству продукции животноводства. Рост производства продукции животноводства невозможен без создания прочной кормовой базы, а продуктивность животных на 60…65% определяется их кормлением. Как показывают исследования учёных, кормление должно осуществляться сбалансированными по питательным веществам кормосмесями, так как ни один корм не содержит в требуемых количествах и соотношениях все необходимые элементы питания. Известно, что на технологию приготовления и раздачи кормов приходится около 40% всех трудозатрат на ферме, а затраты на корма составляют порядка 50…60% себестоимости продукции. Применение инновационной техники на животноводческих фермах и комплексах, прежде всего для приготовления качественных сбалансированных рационов по питательной ценности, их транспортировки и нормированной выдачи кормовых смесей, в соответствии с зоотехническими требованиями, способствует повышению продуктивности животных, снижению расхода кормов за счёт хорошей их поедаемости и усвояемости. Основными регуляторами повышения продуктивности животных и качества производимой продукции выступают техника и оборудование. Кроме того, используемые на животноводческих фермах и комплексах машины и технологическое оборудование должны обеспечивать непрерывность, ритмичность технологического процесса, не вызывать стрессов у животных [1, 2].

Для приготовления и раздачи кормов на молочных фермах используют как передвижные кормораздатчики различного типа, так и стационарные транспортеры-раздатчики. Следует отметить, что до 1990 г. на животноводческие фермы страны ежегодно поступало более 39 тыс. мобильных раздатчиков грубых и сочных кормов, около 5 тыс. стационарных раздатчиков, 15…20 тыс. измельчителей грубых кормов и около 10…12 тыс. смесителей кормов [3]. В настоящее время для ферм КРС приобретается

порядка 200 мобильных кормораздатчиков, причём большая часть из них поступает по импорту, что позволяет частично восполнить недостаток технических средств. Прогноз структуры применяемых машинных технологий на молочных фермах России к 2020 г. показывает, что при реализации декларируемых Правительством объёмов поддержки отрасли (4 млрд. руб. в год) вполне реально к указанному сроку осуществить техническое переоснащение и замену изношенного и морально устаревшего оборудования на животноводческих фермах с привязным содержанием путем реконструкции и технологической модернизации существующих ферм и строительства новых, а долю прогрессивных беспривязных технологий довести до 37% [3]. Анализ обеспеченности технологий производства свинины машинами и оборудованием для выполнения технологических процессов показывает, что: для производства свинины на при кормлении сухими комбикормами из 13 наименований требуемых машин отечественной промышленностью выпускаются только 4; при кормлении свиней жидкими комбикормами (влажностью 75…78%) и при кормлении свиней влажными кормосмесями из комбикорма и воды влажностью 70…75% – необходимый комплект оборудования поточной линии не выпускается [3].

Такая оснащённость животноводческих ферм машинами и технологическим оборудованием ставит перед инженерно-техническими работниками служб важнейшую задачу – бесперебойно использовать их, что является основным условием эффективного использования техники в животноводстве. Коэффициент готовности всех технологических средств должен быть не ниже 0,9…0,99, что требует высокой организации работ по техническому и технологическому обслуживанию машин и оборудования в животноводстве и невозможно без чётко налаженной службы контроля их технического состояния. Надёжность работы машин и бесперебойное их использование достигается квалифицированным технологическим обслуживанием, рациональной системой технического обслуживания и диагностики, обеспечением запасными частями, а также сбором и анализом эксплуатационной информации (характеристика и учёт отказов).

Проверка технологического оборудования и машин, используемых на фермах и комплексах сельхозпредприятий показала, что почти 80% их них эксплуатируется за пределами амортизационного срока, что требует значительных капитальных затрат на их ремонт. Животноводческое оборудование эксплуатируется более 10 лет, вместо нормированного времени 7 лет. Ежегодно обновляется не более 2% животноводческих машин, вместо установленных нормативами 13…14% [4,5]. В России в настоящее время из-за спада уровня производства продукции животноводства практически отсутствует специализированное сельскохозяйственное машиностроение, а потребность в машинах и оборудовании для животноводства на 90% осуществляется преимущественно за счёт импортной техники (Германия, Беларусь, США, Бельгия и другие), стоимость которой в 2,5…3 раза выше, чем машин отечественного производства [3,6,7]. Проведённые исследования по изучению условий

эксплуатации техники в реальных условиях показали, что большинство сельхозпредприятий не в состоянии обновить устаревшую и изношенную технику вследствие низкой доходности от реализации животноводческой продукции, поэтому основная масса машин и оборудования эксплуатируется свыше нормативных сроков.

В процессе эксплуатации машин и оборудования их работоспособность снижается главным образом из-за износов и разрушений отдельных деталей или их поверхностных слоев, вследствие чего снижается как производительность, так и надежность оборудования. Потери животноводческой продукции из-за некачественного выполнения процессов технического и технологического обслуживания кормоприготовительного оборудования на животноводческих фермах и комплексах или по причине их отказов значительно превышают затраты на техническое обслуживание и ремонт. Так в 2012 году ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии провёл анализ отказов и видов износов отечественного и зарубежного оборудования животноводческих ферм и комплексов [6]. По итогам исследований было выявлено, что в результате отсутствия в большинстве хозяйств соответствующих инженерно-технических служб, восстановлением деталей и ремонтом узлов вышедших из строя на животноводческих фермах и комплексах практически не занимаются (за исключением несложного технологического оборудования), а ремонт более сложного технологического оборудования осуществляется в сервисных центрах производителей путём полной замены деталей, узлов и агрегатов. Предприятиями технического сервиса обслуживаются как правило не более 15…20% парка животноводческих машин и оборудования [8,9]. Фирменное обслуживание осуществляется иностранными фирмами, поэтому затраты на поддержание машин и оборудования в животноводстве в работоспособном состоянии составляют порядка 17…20 млрд. руб. в год [6,7]. Использование машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов сверх амортизационного периода влечёт за собой повышение расхода средств на поддержание их в работоспособном состоянии, в результате чего сельхозпроизводители вынуждены приобретать дополнительное количество запасных частей, ремонтных материалов и самостоятельно выполнять возрастающие объёмы ремонтно-обслуживающих работ. Существующее технологическое оборудование для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота и на свиноводческих комплексах работает в условиях агрессивных сред и абразивного износа. При несоблюдении требований ежедневного и периодического технического обслуживания происходит резкое нарастание количества отказов машин или их преждевременный выход из строя. В современных условиях концентрации поголовья остановка кормоцеха даже на один день снижает продуктивность животных на 15…20%. Вследствие того, что большинство используемых кормоцехов не имеет дублирующего или резервного технологического оборудования, выход из строя одной или нескольких машин оказывает существенное влияние не только на ритмичность технологических процессов, но и на экономические

показатели работы ферм и комплексов.

Чтобы увеличить срок службы составных частей кормоприготовительных агрегатов, необходимо систематически контролировать их технические параметры, выяснять причины возникновения неисправностей и своевременно их устранять. При проведении технических осмотров большое влияние оказывают средства диагностирования, позволяющие без разборки определять состояние машин. Это значительно снижает эксплуатационные издержки за счет своевременного обнаружения неисправностей и предотвращения отказов, сохранения оптимальных регулировок, значительного сокращения простоя машин по причине отказов. Квалифицированная безразборная оценка технического состояния машин и оборудования позволяет свести к минимуму операции по техническому обслуживанию и ремонту, а также по замене отдельных деталей, узлов и агрегатов [10]. Причём обеспечить необходимыми приборами, оборудованием и оснасткой все фермы и комплексы в настоящее время нецелесообразно и экономически невыгодно, поэтому их необходимо концентрировать на специализированных ремонтно-технических предприятиях.

Крупные сельскохозпредприятия и агрохолдинги, как правило, оснащены сложной и дорогостоящей инновационной техникой, обслуживание которой должно осуществляться высококвалифицированными инженерно-техническими службами с применением современного оборудования для проведения технического обслуживания, ремонта и диагностики. Основными причинами непопулярности специализированного технического сервиса в животноводстве являются также дороговизна и низкое качество оказываемых услуг. Поэтому во многих хозяйствах машины и оборудование в животноводстве обслуживаются и ремонтируются собственными силами и, как правило, также некачественно. Наличие необходимой специализированной ремонтно-обслуживающей базы является основным условием поддержания машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов в работоспособном состоянии. Сохранность и эффективность использования техники в животноводстве зависит от уровня развития этой базы. В каждом конкретном случае при выборе формы обслуживания сельхозпроизводитель исходит из соображения минимальных затрат на техническое обслуживание и ремонт. Поэтому в организационном плане инженерно-технические службы должны обеспечить этот минимум затрат [6, 8].

Отрасль животноводства нуждается в создании определённой сервисной инфраструктуры с новыми методическими подходами с обоснованными рациональными формами обслуживания, ремонта и диагностики машин, отвечающей условиям многоукладной экономики, в виде совершенной и доступной информации обо всех видах услуг, создание резервных запасов агрегатов и узлов машин, оперативной доставки их к животноводческим объектам, а также создание мобильных высококвалифицированных ремонтно-обслуживающих бригад с достаточным материально-техническим обеспечением. Такая система позволит снизить затраты на ремонт, техническое и технологическое обслуживание, повысить

уровень технической готовности, продлить срок службы машин и оборудования оборудования животноводческих ферм и комплексов и повысить качество и количество производимой продукции.

Список литературы

1. Морозов, Н.М. Факторы, влияющие на эффективность применения инновационной техники и ресурсосберегающих технологий в животноводстве / Н.М. Морозов, И. Ю. Морозов. – Вестник ВНИИМЖ, 2017 – №1(25). – С. 9-20.

2. Тихомиров, И.А. Ресурсосберегающие технологии производства высококачественного молока / И.А. Тихомиров, О.Л. Андрюхина, А.В. Скоркин. – Вестник ВНИИМЖ, 2017 – №4(28). – С. 92-98.

3. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Том 2. Животноводство (Проект) – М.: ВИМ, 2012.

4. Черноиванов, В.И. Развитие системы технического обслуживания машин в животноводстве / В.И. Черноиванов. – Вестник ВНИИМЖ, 2012. -№1(5). – С.18-26.

5. Морозов, Н.М. Состояние и направления развития материально-технической базы животноводства России / Н. М. Морозов, А.Н. Рассказов. – Вестник ВНИИМЖ, 2016. – №2(22). – С. 14-20.

6. Брусенков, А.В. Эксплуатация машин и оборудования для приготовления и раздачи кормов в животноводстве / А.В. Брусенков, А.С. Пилягин // Теоретические и практические аспекты развития науки и образования в современном мире 16 мая 2017 года (г. София, Болгария). – Научно-издательский центр «Мир науки», 2017. – С.50-58.

7. Скоркин, В.К. Современные требования производства конкурентоспособной молочной продукции / В.К. Скоркин. – Вестник ВНИИМЖ, 2017. – №4(28). – С. 4-9.

8. Цой, Л.М. Исследования по техническому сервису в животноводстве / Л.М. Цой. – Вестник ВНИИМЖ, 2014. – №2(14). – С.94-101.

9. Соловьёв, С.А. Технический сервис машин и оборудования в животноводстве / С.А. Соловьёв, С.А. Горячев. – Вестник ВНИИМЖ, 2016. – №2(22). – С. 49-52.

10. Брусенков, А.В. Техническая диагностика машин и оборудования, применяемых в животноводстве / А.В Брусенков, В.П. Капустин, Е.И. Сычёв // В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов [электронный ресурс]: материалы Международной научно-практической конференции 7-9 июня 2016г., г. Тамбов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – Т.2. – С.12-15.

References

1. Morozov, N.M. Faktory, vliyayushchie na ehffektivnost' primeneniya innovacionnoj tekhniki i resursosberegayushchih tekhnologij v zhivotnovodstve [Factors affecting the effectiveness of innovative technology and resource-saving technologies in animal husbandry] / N.M. Morozov, I. YU. Morozov. – Vestnik VNIIMZH, 2017 – No1(25). – pp. 9-20.

2. Tihomirov, I.A. Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennogo moloka [Resource-saving technologies for the production of high-quality milk] / I.A. Tihomirov, O.L. Andryuhina, A.V. Skorkin. – Vestnik VNIIMZH, 2017 – No 4(28). – pp. 92-98.

3. Sistema mashin i tekhnologij dlya kompleksnoj mekhanizacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva na period do 2020 goda. Tom 2. ZHivotnovodstvo (Proekt) – M.: VIM [The system of machines and technologies for the integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020. Volume 2. Livestock (Project)], 2012.

4. CHernoivanov, V.I. Razvitie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya mashin v

zhivotnovodstve [The development of the maintenance of machinery in livestock] / V.I. CHernoivanov. – Vestnik VNIIMZH, 2012. -No1(5). – pp.18-26.

5. Morozov, N.M. Sostoyanie i napravleniya razvitiya material'no-tekhnicheskoj bazy zhivotnovodstva Rossii [State and directions of development of the material and technical base of animal husbandry in Russia] / N. M. Morozov, A.N. Rasskazov. – Vestnik VNIIMZH, 2016. – No 2(22). – pp. 14-20.

6. Brusenkov, A.V. EHkspluataciya mashin i oborudovaniya dlya prigotovleniya i razdachi kormov v zhivotnovodstve [Operation of machinery and equipment for the preparation and distribution of feed in livestock] / A.V. Brusenkov, A.S. Pilyagin // Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v sovremennom mire 16 maya 2017 goda (g. Sofiya, Bolgariya) [Theoretical and practical aspects of the development of science and education in the modern world May 16, 2017 (Sofia, Bulgaria)]. – Nauchno-izdatel'skij centr «Mir nauki», 2017. – pp.50-58.

7. Skorkin, V.K. Sovremennye trebovaniya proizvodstva konkurentosposobnoj molochnoj produkcii [Modern requirements for the production of competitive dairy products] / V.K. Skorkin. – Vestnik VNIIMZH, 2017. – No 4(28). – pp. 4-9.

8. Coj, L.M. Issledovaniya po tekhnicheskomu servisu v zhivotnovodstve [Research on technical service in animal husbandry] / L.M. Coj. – Vestnik VNIIMZH, 2014. – No 2(14). – pp.94-101.

9. Solov'yov, S.A. Tekhnicheskij servis mashin i oborudovaniya v zhivotnovodstve [Technical service of machinery and equipment in animal husbandry] / S.A. Solov'yov, S.A. Goryachev. – Vestnik VNIIMZH, 2016. – No 2(22). – pp. 49-52.

10. Brusenkov, A.V. Tekhnicheskaya diagnostika mashin i oborudovaniya, primenyaemyh v zhivotnovodstve [Technical diagnostics of machinery and equipment used in animal husbandry] / A.V Brusenkov, V.P. Kapustin, E.I. Sychyov // V.I. Vernadskij: ustojchivoe razvitie regionov [sustainable regional development]: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 7-9 iyunya 2016. Tambov. – Tambov: Izd-vo FGBOU VO «TGTU», 2016. – T.2. – pp.12-15.

УДК 664.723

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

MODELING AND PROCESS OPTIMIZATION OF THE POST-HARVEST GRAIN PROCESSING PROCESS USING A SMALL GRAIN DRYER

***И.В. ГОРБАЧЕВ**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия, **Т.В. ПАНОВА**, к.т.н., **М.В. ПАНОВ**, к.т.н., ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Россия*

***I.V. GORBACHEV**, dr. tech. sci.., Professor, Russian state agrarian University - MTAA named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia, **T.V. PANOVA**, cand. tech. sci., **M.V. PANOV**, cand. tech. sci., Bryansk state agricultural University, S. Kokino, Russia*

***Аннотация**. В настоящее время в целях обеспечения продовольственной безопасности страны большое значение имеют сохранение и рациональное использование всего выращенного урожая, получение наибольшего количества готовой к использованию продукции из сельскохозяйственного сырья. В связи с сезонностью производства в сельском хозяйстве возникает необходимость хранения сельскохозяйственной продукции для их использования в течении года и более. Развитие науки о послеуборочной обработке и хранении зерновых культур делают необходимым разработку и внедрение новых средств механизации, обеспечивающих хорошую сохранность зерновых в период послеуборочной обработки зерна и его хранения. Рассмотрен процесс послеуборочной обработки зерна, представлено моделирование и оптимизация процесса послеуборочной обработки зерна, посредством сетевого ориентированного и сигнального графов послеуборочной обработки зерна, а также представлены технические устройства, применяемые в процессе послеуборочной обработки зерна. Эффективность предлагаемых установок заключается в использовании многоуровневой системы вентиляции при хранении, шнекового транспортера, регулируемого по высоте, малогабаритной зерносушилки для крестьянских (фермерских) хозяйств. Приведена система уравнений, характеризующих процесс движения зерна.*

***Ключевые слова**: зерновые культуры,*

***Abstract**. Currently, in order to ensure food security of the country, it is of great importance to preserve and rationally use the entire harvested crop, to obtain the greatest number of ready-to-use products from agricultural raw materials. In connection with the seasonality of production in agriculture, it becomes necessary to store agricultural products for use for a year or more. The development of the science of post-harvest processing and storage of grain crops makes it necessary to develop and introduce new means of mechanization that ensure a good grain conservation during the post-harvest processing of grain and its storage. The process of post-harvest grain processing is considered, modeling and optimization of the post-harvest grain processing process are presented, through the network oriented and signal graphs of post-harvest grain processing, as well as technical devices used in post-harvest grain processing. The efficiency of the proposed installations is to use a multi-level ventilation system for storage, screw conveyor, height-adjustable, small-sized grain dryer for peasant (farm) farms. A system of equations characterizing the process of grain motion is given.*

***Keywords**: grain crops, post-harvest grain processing, network graph,*

послеуборочная обработка зерна, сетевой граф, зернохранилище, малогабаритная зерносушилка, шнековый транспортер.

granary, small grain dryer, screw conveyor.

Сельхозпредприятия являются основными производителями зерна (79,0%), сахарной свеклы (79,0%) и подсолнечника (74,6%). В Центральном федеральном округе на 1 января 2017 года насчитывалось 19239 крестьянских (фермерских) хозяйств с общим земельным наделом 2583 тыс. га. На долю крестьянских (фермерских) хозяйств в общем объеме валовой сельскохозяйственной продукции составляет 19,1%. За последние годы наблюдается тенденция роста как самих крестьянских (фермерских) хозяйств, так и производства ими сельхозпродукции. Как показывают статистические данные, хозяйствами этой категории было собрано зерна 20,3% от общего сбора [11]. Таким образом, целесообразно предложить средства механизации для крестьянских (фермерских), которые будут более эффективны, но менее энергозатратны.

Целью работы - представить процесс послеуборочной обработки зерна в виде графа и нестандартные установки, применяемые в процессе послеуборочной обработки зерна.

Моделирование и оптимизация процесса послеуборочной обработки зерна основана на представлении данного процесса в виде сетевого ориентированного и сигнального графов.

Для эффективного хранения зерна необходимо следовать технологической схеме зернозаготовки и соблюдением установленных режимов. Схема послеуборочной обработки зерна представлена на Рис. 1. [7, 8]

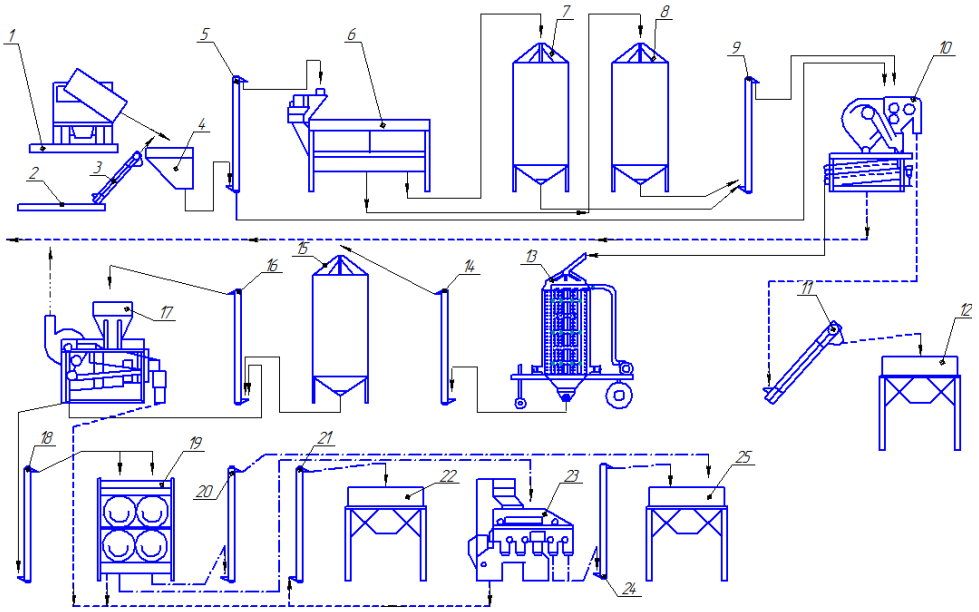
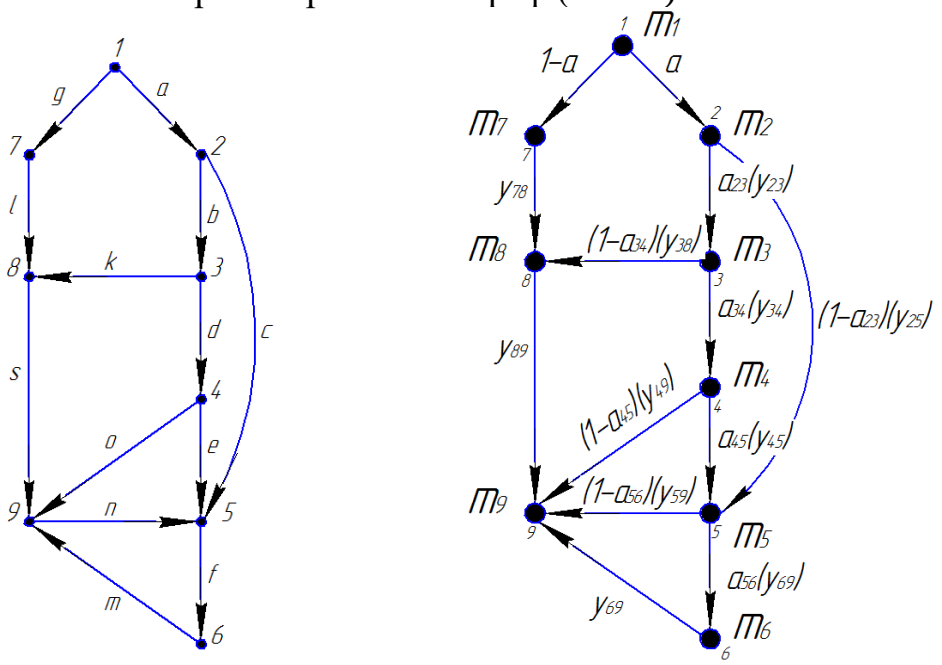


Рисунок 1 - Технологическая схема послеуборочной обработки зерна: 1 – площадка для автотранспорта; 2 – площадка для временного хранения зерна; 3,11 – шнековый транспортер; 4 – завальная яма; 5, 9, 14, 16, 18, 20, 21, 24 – нория; 6 – ворохоочиститель БЦР-6; 7,8,15 - бункер активного вентилирования; 10 – машина предварительной очистки МПР-50; 12,22,25 – бункер, 13 – малогабаритная

зерносушилка; 17 - зерноочистительная машина; 19 - триерный блок ЗАВ; 23 – пневмосортировальный стол

На основании представленной схемы движения зерна после сбора построим сетевой ориентированный граф (Рис. 2)



а б

Рисунок 2 - Графы послеуборочной обработки зерна: а) сетевой ориентированный граф послеуборочной обработки зерна; б) сигнальный граф послеуборочной обработки зерна; 1 - сбор зерна после уборки, 2 - предварительная очистка, 3 - первичная очистка, 4 – сушка, 5 - вторичная очистка, 6 - сортирование и колибрование,7 - плющение, 8 - влажное консервирование, 9 - хранение

На основании построенной модели процесса послеуборочной обработки зерна составляли матрицу инцидентности и матрицу смежности. Данные матрицы позволяют осуществить переход к сигнальному графу

Рассмотрим представленный сигнальный граф. В нашем случае:

m_1 – масса нетравленого зерна, поступившего после уборки,

m_2 – масса нетравленого зерна, поступившего на предварительную очистку,

m_3 – масса нетравленого зерна, поступившего на первичную очистку.

m_4 – масса нетравленого зерна, поступившего на сушку,

m_5 – масса нетравленого зерна, поступившего на вторичную очистку,

m_6 – масса нетравленого зерна, поступившего на сортировку,

m_7 – масса нетравленого зерна, поступившего на плющение,

m_8 – масса нетравленого зерна, поступившего на влажное консервирование,

m_9 – масса нетравленого зерна, поступившего на хранение.

α – вероятностный коэффициент разделения зерна на предварительную очистку

α_{23} – коэффициент разделения зерна, при его движении от предварительной очистки к первичной очистке,

α_{34} – коэффициент разделения зерна, при его движении от первичной очистки к сушке,

α_{45} – коэффициент разделения зерна, при его движении от сушки к вторичной очистке,

α_{56} – коэффициент разделения зерна, при его движении от вторичной очистки к сортировке,

α_{23}, α_{25}, α_{34}, α_{38}, α_{45}, α_{59}, α_{49}, α_{56}, α_{69}, α_{89}, α_{78} – коэффициенты целостности зерновой структуры на этапах технологического движения зерна.

Коэффициент качественной оценки зерна представляется следующим выражением:

$$\gamma_{23} = 1 - \delta_{23}, \tag{1}$$

где δ_{23}, δ_{25}, δ_{34}, δ_{38}, δ_{45}, δ_{59}, δ_{49}, δ_{56}, δ_{69}, δ_{89}, δ_{78} – коэффициенты травмированности зерна на этапах движения зерна.

Последующие коэффициенты качественной оценки зерна определяются соответствующим образом.

Система уравнений, характеризующих процесс движения зерна, имеет вид:

$$\begin{cases} m_2 = \alpha \cdot m \\ m_3 = \alpha_{23} \cdot \gamma_{23} \cdot m_2 \\ m_4 = \alpha_{34} \cdot \gamma_{34} \cdot m_3 \\ m_5 = \alpha_{45} \cdot \gamma_{45} \cdot m_4 + (1-\alpha_{25}) \cdot \gamma_{25} \cdot m_2 \\ m_6 = \gamma_{56} \cdot m_5 \\ m_7 = (1-\alpha) \cdot m \\ m_8 = \gamma_{78} \cdot m_7 + (1-\alpha_{34}) \cdot \gamma_{38} \cdot m_3 \\ m_9 = \gamma_{89} \cdot m_8 + (1-\alpha_{45}) \cdot \gamma_{49} \cdot m_4 + (1-\alpha_{56}) \cdot \gamma_{59} \cdot m_5 + \gamma_{69} \cdot m_6 \end{cases} \tag{2}$$

Выразив массы пришедшего не травмированного зерна на каждом из этапов через массу не травмированного зерна, поступившего на этапе сбора – m, получим систему уравнений, характеризующую сигнальный граф:

$$\begin{cases} m_2 = \alpha \cdot m \\ m_3 = A \cdot m \\ m_4 = B \cdot m \\ m_5 = C \cdot m \\ m_6 = C \cdot m \cdot \gamma_{56} \\ m_7 = (1-\alpha) \cdot m \\ m_8 = E \cdot m \\ m_9 = m(E \cdot \gamma_{89} + B(1-\alpha_{45}) \cdot \gamma_{49} + C((1-\alpha_{56}) \cdot \gamma_{59} + \gamma_{56} \cdot \gamma_{69}) \end{cases} \tag{3}$$

Составляем критериальное уравнение по теории подобия.

При этом математическая модель, определяющая вероятностный коэффициент разделения примет вид:

$$\alpha = Gg_2^{\varphi 2} \cdot g_3^{\varphi 3} \cdot g_4^{\varphi 4} \cdot g_5^{\varphi 5} \cdot g_6^{\varphi 6} \quad (4)$$

где G – поправочный коэффициент.

G = 1, т.к. все единицы измерений приведены в СИ.

$$\alpha = \beta_o^{\varphi 2} \cdot \beta^{\varphi 3} \cdot \left(\frac{T_n}{T_c}\right)^{\varphi 4} \cdot \left(\frac{\tau_n}{\tau_c}\right)^{\varphi 5} \cdot \delta^{\varphi 6} \quad (5)$$

где φ2, φ3, φ4,·φ5,·φ6 – показатели степеней.

Сушка является основной технологической операцией по приведению зерна в стойкое состояние [12, 13]. Практика показывает, что сушка зерна и семян во многих хозяйствах является затратным процессом. Это происходит не только потому что используют менее производительные сушилки, но и вследствие недостаточно четкой организации зерносушения, неправильной эксплуатации зерносушилок, несоблюдения рекомендуемых режимов сушки, отсутствия поточных линий. Поэтому, кроме того, что зерносушилка должна быть компактной, несложной по устройству, приспособленной для работы на местном топливе, безопасной в пожарном отношении, удобной, для осмотра и обслуживания при полной механизации всех процессов сушки и охлаждения зерна, так же она должна обеспечивать высокую эффективность сушки с соблюдением установленных режимов сушки зерна. [8, 9]

Для обеспечения сушки необходимого количества зерна и минимизации стоимости установки, предлагается малогабаритная зерносушилка для фермерских и крестьянских хозяйств, представленная на Рис. 3.

Предлагаемая нами, малогабаритная зерносушилка конструктивно состоит из корпуса, приемного канала и патрубков, равномерно, распределяющих загружаемое сырьё в контейнер, из перфорированных листов, с перфорацией, имеющей форму ромба, системы воздухоподачи, состоящей из горизонтальных и вертикальных перфорированных труб с расположенными на них датчиками влажности и теплогенератора для подачи теплого воздуха, горизонтальных водухоотводов, снабженных обратными клапанами, днища в виде центрального затвора, открывающегося при выгрузки высушенного сырья. Также для выгрузки высушенных зерновых культур имеется выгрузной канал, ограниченный стенками со всех сторон и шнековый транспортер. [2, 3]

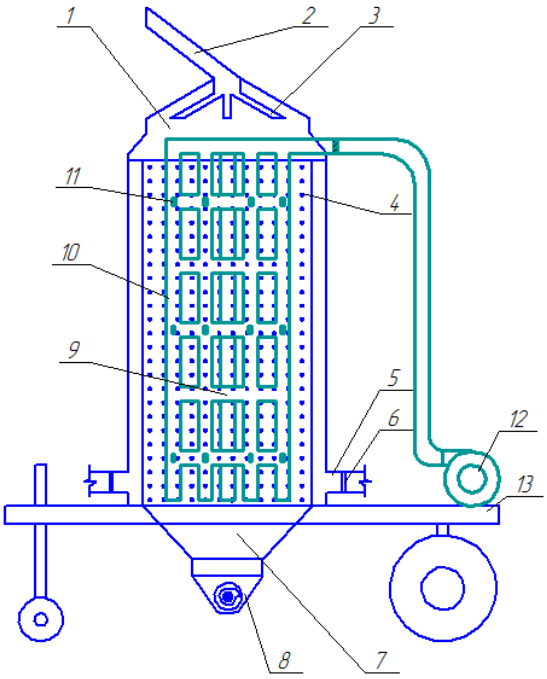


Рисунок 3 - Малогабаритная зерносушилка: 1 – корпус, 2 - приемный канал, 3 – патрубки, 4 – контейнер, 5 - водухоотвод, 6 - обратный клапан, 7 – выгрузной канал, 8 – шнековый транспортер, 9 - горизонтальные перфорированные трубы, 10 – вертикальные перфорированные трубы, 11 – датчик влажности, 12 – теплогенератор, 13 - платформа

Для транспортировки малогабаритная зерносушилка монтируется на платформе, снабженной механизмом сцепления с автомобилем [1].

Работа данной зерносушилки осуществляется по следующей технологической схеме. Контейнер через приёмный канал равномерно заполняют сырьём, нуждающимся в высушивании, и включают теплогенератор. Теплый воздух, проходя по системе воздухоподачи, распределяется равномерно по сырью, благодаря равномерно расположенным горизонтальным и вертикальным перфорированным трубам, затем, проникая сквозь него теплый воздух, поступает в корпус, из которого посредством горизонтальных водухоотводов удаляется в атмосферу или направляется на обогрев или повторное использование. При достижении необходимого значения влажности теплогенератор автоматически выключается, открывается днище, выполненное в виде центрального затвора и по выгрузному каналу сырьё, попадает в шнековый транспортер, по которому происходит перемещение и выгрузка сырья [2, 3, 6]. Малогабаритную зерносушилку предполагается применять в фермерских и крестьянских хозяйствах в виду её малой стоимости и оптимальной производительности, для хозяйств малой форм собственности.

Транспортер – это устройство, предназначенное большей частью к использованию в сельском хозяйстве для быстрой перегрузки зерновых культур. Винтовые транспортеры (шнеки) широко распространены в сельском хозяйстве в виде самостоятельных машин и встроенных узлов. Применение, предлагаемого нами, шнекового транспортера, регулируемого по высоте с двух

сторон, позволит перемещать зерно от одного оборудования к другому, участвующему в процессе заготовки зерна, на различные уровни с минимальными потерями зерна. [4, 10]

Способ хранения зерна в значительной степени определяет конструктивные особенности зернохранилищ.

Нами предложено зернохранилище, представленное на Рис. 4, с многоуровневой системой вентиляции. Применение многоуровневой системы вентиляции зернохранилища с многоуровневой системой перфорированных труб позволит снижать температуру зерна при хранении, что необходимо для предотвращения самосогревания и самовозгорания, а также снизить энергозатраты, за счет включения только необходимых для охлаждения зерна вентиляторов.

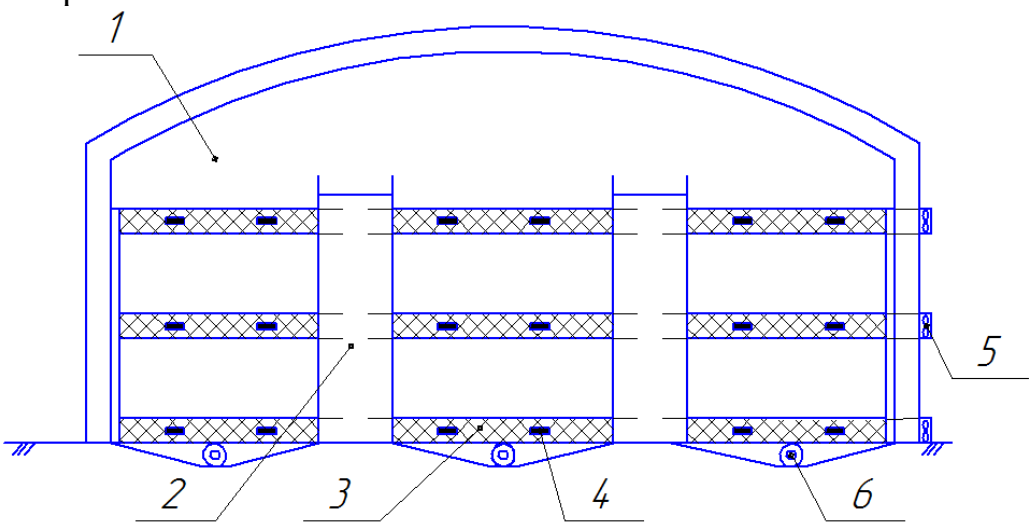


Рисунок 4 - Зернохранилище с многоуровневой системой вентиляции
1 – зернохранилище, 2 – эстакада, 3 – перфорированная труба, 4 – датчик температуры, 5 – вентилятор, 6 - шнековый транспортер

Зернохранилище с многоуровневой системой вентиляции состоит из перфорированных труб 3 с датчиками температуры, осевых вентиляторов, закрепленных на концах каждой из труб. Так же загрузка зерна в зернохранилище производится грузовым транспортом, заезжающим на эстакаду, а выгрузка производиться посредством шнекового транспортера и нории в подъезжающий грузовой транспорт.

Многоуровневая система вентиляции работает следующим образом. Зерно в зернохранилище при длительном хранении может самосогреваться, а затем и самовозгораться, к этому приводит повышение температуры внутри зерновой массы. При повышении температуры до установленного значения автоматически включается осевой вентилятор, расположенный на конце перфорированной трубы, который получил сигнал от датчика температуры и включился. После охлаждения массы зерна до требуемой температуры датчик срабатывает и осевой вентилятор выключается. Если повышение температуры до установленного значения фиксируют несколько датчиков, то и выключаются несколько осевых вентиляторов, расположенных на концах соответствующих труб. Так же и выключаются вентиляторы независимо друг от друга при

охлаждении массы зерна до требуемой температуры. Таким образом, происходит предотвращения самосогревания и самовозгорания зерна. [5].

В ходе послеуборочной обработки зерна обращают внимание на снижение травматизма зерна при перемещении и, как один из вариантов решения этой проблемы, мы предлагаем применение шнекового транспортера.

Сушка является основной технологической операцией по приведению зерна в стойкое состояние, но процесс это дорогостоящий, сложный и энергозатратный, поэтому, для обеспечения сушки необходимого количества зерна с минимизацией экономических и энергетических затрат, предлагается малогабаритная зерносушилка для крестьянских (фермерских) хозяйств.

В процессе хранения зерна идёт систематическое наблюдение за показателями его качества, что позволяет своевременно пресекать появление неблагоприятных процессов в зерне. Поэтому для более эффективной сохранности зерна длительное время, мы предлагаем зернохранилище с многоуровневой системой вентиляции.

Список литературы

1. Панова Т.В., Лумисте Е.Г., Панов М.В. Патент на полезную модель РФ № 131566 Малогабаритная зерносушилка. Опубл. 27.08.2013 Бюл. № 24
2. Панова Т.В., Лумисте Е.Г., Панов М.В. Патент на полезную модель РФ № 141011 Малогабаритная зерносушилка с выгрузным каналом. Опубл. 27.05.2014 Бюл. № 15
3. Панова Т.В., Панов М.В. Патент на полезную модель РФ № 147015 Малогабаритная зерносушилка. Опубл. 27.10.2014 Бюл. № 30
4. Панова Т.В., Панов М.В. Патент на полезную модель РФ № 152985 Шнековый транспортер. Опубл. 27.06.2015 Бюл. № 18.
5. Панова Т.В., Панов М.В. Патент на полезную модель РФ № 170898 Зернохранилище с многоуровневой системой вентиляции. Опубл. 15.05.2017 Бюл. № 14.
6. Панова Т.В., Панов М.В. Малогабаритная зерносушилка. «Сельский механизатор», №10, 2016. С-18-19
7. Панова Т.В., Панов М.В. Оптимизация процесса заготовки зерна с применением малогабаритной зерносушилки на примере зерна яровой пшеницы. «Вестник БГСХА» № 3 – Брянск: БГАУ, 2015, с. 51-55
8. Панова Т.В., Панов М.В. Горбачев И.В. Послеуборочная обработка зерна с применением малогабаритной зерносушилки для крестьянских (фермерских) хозяйств. Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 290. Ч. II. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. 120-122 с.
9. Панова Т.В., Панов М.В. Технологическая схема заготовки зерна с применением малогабаритной зерносушилки на примере зерна яровой пшеницы. «Вестник БГСХА» № 3 – Брянск: БГСХА, 2014, с. 16-20
10. Панова Т.В., Панов М.В. Шнековый транспортер для минимизации потерь зерна. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии № 5 – Брянск: БГАУ, 2016. С. 61-65.
11. http://www.gks.ru/ - Федеральная служба государственной статистики
12. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. № 1. С. 2-9.
13. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Развитие производств техники для селекции и семеноводства - одна из приоритетных задач сельскохозяйственного машиностроения // В

сборнике: Состояние и развитие регионального машиностроения научное издание. Москва, 2010. С. 96-103.

References

1. Panova T.V., Lumiste E.G., Panov M.V. Patent na poleznuyu model' RF No. 131566 Malogabaritnaya zernosushilka [Patent for utility model of the Russian Federation Compact grain dryer]. Opubl. 27.08.2013 Byul. No. 24
2. Panova T.V., Lumiste E.G., Panov M.V. Patent na poleznuyu model' RF No. 141011 Malogabaritnaya zernosushilka s vygruznym kanalom [Patent for utility model of the Russian Federation Small-sized grain dryer with discharge channel]. Opubl. 27.05.2014 Byul. No. 15
3. Panova T.V., Panov M.V. Patent na poleznuyu model' RF No. 147015 Malogabaritnaya zernosushilka [Patent for utility model of the Russian Federation Small-sized grain dryer]. Opubl. 27.10.2014 Byul. No. 30
4. Panova T.V., Panov M.V. Patent na poleznuyu model' RF No. 152985 SHnekovyj transporter [Patent for a useful model of the Russian Federation screw conveyor]. Opubl. 27.06.2015 Byul. No. 18.
5. Panova T.V., Panov M.V. Patent na poleznuyu model' RF No. 170898 Zernohranilishche s mnogourovnevoj sistemoj ventilyacii [Patent for a utility model of the Russian Federation Granary with a multi-level ventilation system]. Opubl. 15.05.2017 Byul. No. 14.
6. Panova T.V., Panov M.V. Malogabaritnaya zernosushilka [Compact grain dryer]. «Sel'skij mekhanizator», No.10, 2016. pp-18-19
7. Panova T.V., Panov M.V. Optimizaciya processa zagotovki zerna s primeneniem malogabaritnoj zernosushilki na primere zerna yarovoj pshenicy [Optimization of the grain harvesting process using a compact grain dryer using the example of spring wheat grain]. «Vestnik BGSKHA» No. 3 – Bryansk: BGAU, 2015, pp. 51-55
8. Panova T.V., Panov M.V. Gorbachev I.V. Posleuborochnaya obrabotka zerna s primeneniem malogabaritnoj zernosushilki dlya krest'yanskih (fermerskih) hozyajstv [Post-harvest processing of grain using small-sized grain dryers for farms]. Doklady TSKHA: Sbornik statej. Vyp. 290. CH. II. M.: Izd-vo RGAU-MSKHA, 2018. pp.120-122.
9. Panova T.V., Panov M.V. Tekhnologicheskaya skhema zagotovki zerna s primeneniem malogabaritnoj zernosushilki na primere zerna yarovoj pshenicy [Technological scheme of grain harvesting using a compact grain dryer using the example of spring wheat grain]. «Vestnik BGSKHA» No. 3 – Bryansk: BGSKHA, 2014, pp. 16-20
10. Panova T.V., Panov M.V. SHnekovyj transporter dlya minimizacii poter' zerna [Screw conveyor to minimize grain losses]. Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii No. 5 – Bryansk: BGAU, 2016. pp. 61-65.
11. http://www.gks.ru/ - Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki
12. Lachuga YU.F., Izmajlov A.YU., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoehffektivnyh, resurso- i ehnergosberegayushchih tekhnologij i tekhnicheskih sredstv posleuborochnoj obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of high-performance, resource- and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2009. № 1. S. 2-9.
13. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Razvitie proizvodstv tekhniki dlya selekcii i semenovodstva - odna iz prioritetnyh zadach sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya [The development of machinery for breeding and seed production is one of the priorities of agricultural engineering] // V sbornike: Sostoyanie i razvitie regional'nogo mashinostroeniya nauchnoe izdanie. Moskva, 2010. S. 96-103.

УДК: 631.171

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАСПОЗНОВАНИЯ СОРНЯКОВ

DEVELOPMENT OF ALGORITHM AND TECHNICAL DEVICE FOR RECOGNITION OF SOMES

А.И. ДЫШЕКОВ, Г.И. ЛИЧМАН, *д-р техн. наук,* ***И.Г. СМИРНОВ****, канд.с.-х. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,* ***М.А. ШЕРЕУЖЕВ****, ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

A.I. DYSHEKOV*,* ***G.I. LICHMAN****, Dr tech. sci.,* ***I.G. SMIRNOV****, CAND. agric. SCI., Federal Scientific Agroengineering Center VIM,* ***M.A. SHEREUZHEV****, assistant, MSTU. N.E. Bauman*

Аннотация*. В данной статье рассмотрены возможные методы для распознавания и борьбы с сорняками. Разработан метод, алгоритм и техническое устройство для идентификации и уничтожения сорняков на ранних стадиях роста свеклы.*

Алгоритм может быть использован для исследования и распознавания с помощью технологии машинного зрения культурных растений и сорняков.

Ключевые слова*: автоматизированная система, машинное зрение, машиной поддержки, сегментации изображений, морфологическая обработка изображений, алгоритм.*

Abstract*. This article explores possible methods for recognizing and combating weeds. A method, an algorithm and a technical device for identification and destruction of weeds in the early stages of beet growth have been developed.*

The algorithm can be used to study and recognize by means of the technology of machine vision of cultivated plants and weeds.

Keywords*: automated system, machine vision, support machine, image segmentation, morphological image processing, algorithm.*

Точное обнаружение сорняков, является необходимым условием для реализации стратегии контроля над сорняками [1, 8]. В этом исследовании была разработана, система машинного зрения для распознавания сорняков, в которой использовались контурные и цветовые свойства сорняков. В систему включен алгоритм сегментации изображений, с помощью библиотеки OpenCV (Phyton) для бинаризации изображений цветных сорняков для последующей обработки изображений и процедур извлечения признаков. Впоследствии будет создан классификатор на основе машинной поддержки (МП) для различения различных видов сорняков с использованием наработанного комплекта данных входящих в библиотеку.

Целью исследований являются разработка метода, алгоритма и технического устройства для идентификации и уничтожения сорняков на ранних стадиях роста свеклы.

Поставленные задачи:

1. Разработать автоматизированную систему для получения изображений;

2. Создания библиотеки изображений растений на ранних стадиях роста на основе системы визуализации культурного растения и сорняков;

3. Разработать встроенный алгоритм машинного зрения на основе морфологии, включающий усовершенствованный метод сегментации изображений для идентификации сорняков;

4. Разработать конструкционную слайдера для системы распознавания;

5. Разработать систему распознавания, состоящую из фотокамеры и специального ПО;

6. Провести лабораторные и полевые эксперименты для проверки осуществимости и эффективности предлагаемого метода и конструкции.

Для улучшения борьбы с сорняками должен быть изучен их жизненный цикл. Большинство видов сорняков, о которых известно, являются однолетними растениями. Жизненный цикл сорняков представлен на рис. 1.

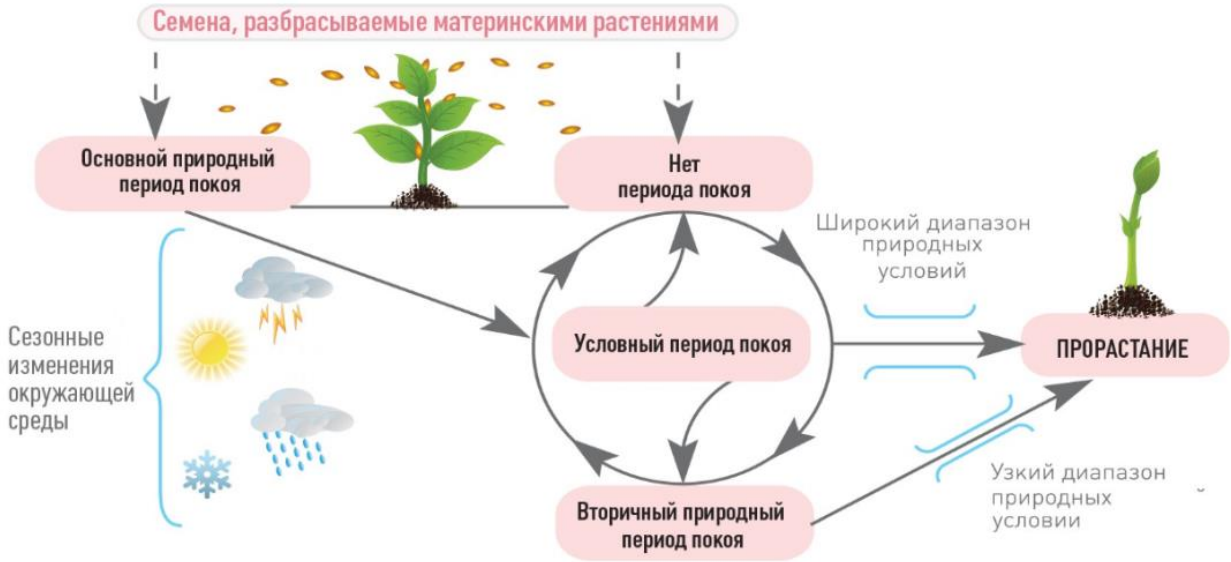


Рисунок 1- Жизненный цикл годового сорняка.

Сорняки в сельскохозяйственном производстве в основном контролируются гербицидами. Как и в органическом сельском хозяйстве, использование гербицидов для борьбы с сорняками является серьезной проблемой. Несмотря на то, что имеется достаточное оборудование для борьбы с сорняками между рядами (межрядная прополка), контроль сорняков в рядах по-прежнему требует большого количества ручного труда. Это особенно характерно для сельскохозяйственных культур, которые медленно растут и мелко посеяны, как сахарная свекла, морковь и лук.

В настоящей работе будет представлена конструкция автономной платформы для исследований борьбы с сорняками с использованием систематического метода проектирования из машиностроения (Рис. 2). При этом дается обзор альтернативных решений для компонентов системы, представленных в литературе, и изучаются преимущества применения систематического метода проектирования [4].

Рисунок 2- Схема автономной части нашей предлагаемой системы.

Предлагаемый способ распознавания.

На начальном этапе работы над системой распознавания средствами библиотеки OpenCV реализован алгоритм идентификации культуры на изображении по шаблону [2].

Алгоритм использует детектор Кани на шаблоне (Рис. 3) и изображении (Рис. 4). Изображение сегментируется на участки по размеру шаблона, и каждый участок сопоставляется с шаблоном. Участки, имеющие более высокие показатели параметров совпадения с шаблоном, запоминаются (Рис. 5). После производится масштабирование изображение и сопоставление с шаблоном в новом цикле (Рис. 6). После прохождения цикла сопоставления участки с наибольшими значениями параметров совпадения выделяются (Рис. 7).

Рисунок 3 - Изображение -шаблон культуры.

Рисунок 4 - Изображение, на котором производится распознавание культуры.

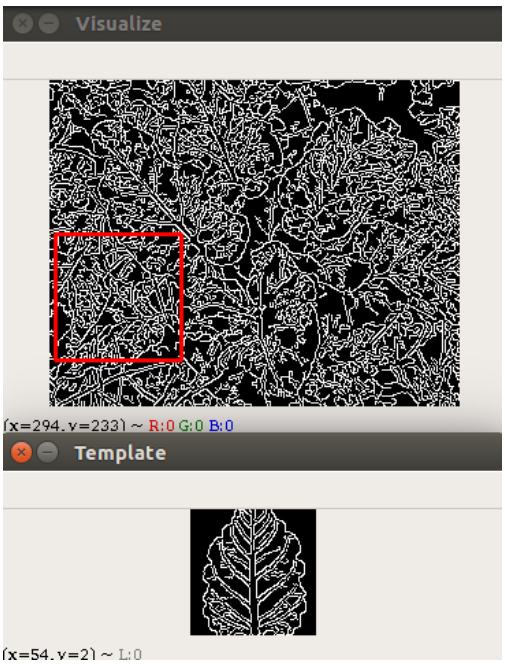


Рисунок 5 - Изображение-шаблон после обработки детектором Кани.

Рисунок 6 - Масштабирование исходного изображения.

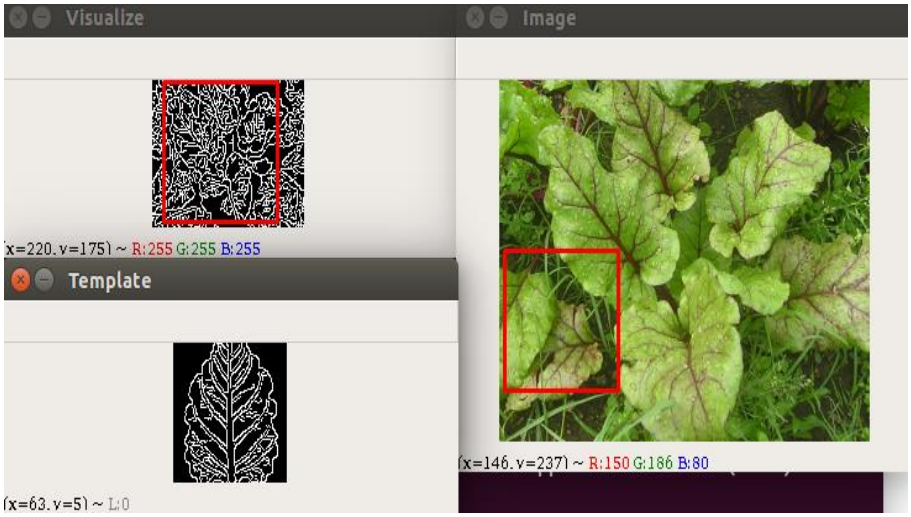


Рисунок 7 - Результат работы алгоритма распознавания.

Так как при поиске растения мы будем распознавать его по цвету, то больше всего нас интересует тон [3]. Преобразуем изображение в палитру HSV и разобьем на составляющие Hue Saturation Value соответственно. Зададим диапазон значений тона. В OpenCV зеленый находится в диапазоне от 30 до 75. Свекла на фотографиях не полностью зеленая. Поэтому опытным путем был подобран диапазон от 20 до 115. Далее рассмотрим наше изображение. Для каждого пикселя получим все вышеуказанные компоненты. Если тон не укладывается в заданный диапазон или яркость слишком низкая – значит это фон, поэтому закрашиваем все белым цветом (Рис. 8-9).

Рисунок 8 - Исходная фотография.

Рисунок 9 - Что должно получиться.

По умолчанию в Opencv цветное изображение хранится палитре BGR. Определять цвет в BGR не очень удобно, поэтому для начала переведем изображение в формат HSV. HSV означает Hue, Saturation, Value (Brightness), где: Hue — цветовой тон, т.е. оттенок цвета. Saturation — насыщенность. Чем выше параметр, тем «чище» будет цвет, а чем ниже, тем ближе он будет к серому. Value (Brightness) — значение (яркость) цвета. Чем выше значение, тем ярче будет цвет (но не белее). А чем ниже, тем темнее (0% — черный).

Для каждого пикселя получим все выше указанные компоненты. Если тон не укладывается в заданный диапазон или яркость слишком низкая – значит это фон, поэтому закрашиваем все белым цветом (Рис. 10).

Рисунок 10 - Исходная фотография.

Рисунок 11 - Что должно получиться.

В целом фон удалился, но остались шумы по контуру растения. Один из способов убрать мелкие несвязные частицы — это морфологическая обработка изображений (Рис. 11).

Дилатация (морфологическое расширение) – свертка изображения или выделенной области изображения с некоторым ядром. Ядро может иметь произвольную форму и размер. При этом выделяется единственная ведущая позиция, которая совмещается с текущим пикселем при вычислении свертки. Во всех случаях в качестве ядра выбирается квадрат или круг с ведущей позицией в центре. Ядро рассматриваем как шаблон или маску. Дилатации сводится к проходу шаблоном по всему изображению и применению оператора поиска локального максимума к интенсивностям пикселей изображения, которые накрываются шаблоном. Такая операция вызывает рост светлых областей на изображении. На рисунке серым цветом отмечены пиксели,

которые в результате применения дилатации будут белыми. Эрозия - обратная операция. Действие эрозии подобно дилатации, разница лишь в том, что используется оператор по поиску локального минимума серым цветом залиты пиксели, которые станут черными в результате эрозии. Применим морфологические операции к нашим картинкам. В качестве структурного элемента возьмем эллипс.

Большинство шумов убрались, но и само изображение размылось, а это не совсем то, что мы хотели. Поэтому мы будем использовать преобразованное изображение как маску, чтобы удалить ненужный шум.

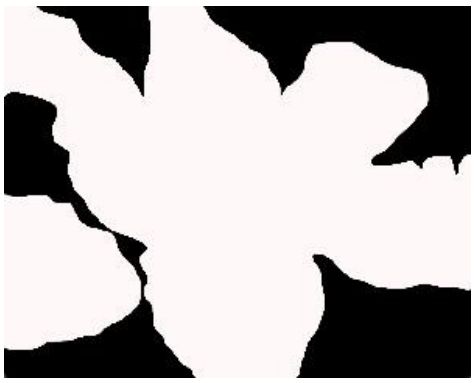


Рисунок 10 - Результат применения маски.

На первоначальном этапе для системы обнаружения сорняков необходимо обеспечить покрытие зоны идентификации системой технического зрения. Обеспечить покрытие всей зоны идентификации можно несколькими способами, например, использовать несколько взаимно юстированных камер. Так же можно использовать одну камеру, расположенную на подвижном основании (например слайдер). Конструкция слайдера для фотосъемки имеет каретку с четырьмя роликами, платформу крепления камеры. В качестве направляющих использую алюминиевые трубки диаметром 20 мм и длиной 1 м. Все корпусные элементы изготовлены из листового алюминия толщиной 5 мм.

На данном этапе исследования устойчивость алгоритма успешно проверена.

Разработан метод, алгоритм и техническое устройство для идентификации и уничтожения сорняков на ранних стадиях роста свеклы.

Предлагаемый подход способен обнаруживать культуру.

Предлагаемый метод устойчив к освещению из-за условий окружающей среды.

Разработан прототип каретки для расположения камеры и ее позиционирования.

Алгоритм может быть использован для исследования и распознавания с помощью технологии машинного зрения культурных растений и сорняков.

Список литературы

1. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М.,

Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. Научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций) Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.

2. Ю.Л. Поморский. Методы биометрических исследований, 1935.
3. Цветовая сегментация (https://itnan.ru/post.php?c=1&p=332464).
4. Марк Лутц. Обучение Python, 5-е издание. 2013.
5. Dive Into Python 3.2017.
6. Spatial quality evaluation of resampled unmanned aerial vehicle-imagery for weed mapping. Sensors,15, 19688–19708.
7. Lopez-Granados, F. (2011). Weed detection for site-specific weed management: Mapping and real-time approaches. Weed Research, 51, 1-11.
8. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированные информационные технологии в производственных процессах растениеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. № 4. С. 3-9.

References

1. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. Nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for the processing of feed, fertilizer, plant waste. Scientifically based parameters of energy-saving combined installations for disinfecting air and surfaces]. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. 2017. p. 115.

2. Prof. YU.L. Pomorskij Metody biometricheskih issledovanij [Biometric research methods], 1935.
3. Cvetovaya segmentaciya [Color segmentation] (https://itnan.ru/post.php?c=1&p=332464).
4. Mark Lutc. Obuchenie Python, 5-e izdanie. 2013.
5. Dive Into Python 3.2017.
6. Spatial quality evaluation of resampled unmanned aerial vehicle-imagery for weed mapping. Sensors,15, 19688–19708.
7. Lopez-Granados, F. (2011). Weed detection for site-specific weed management: Mapping and real-time approaches. Weed Research, 51, 1-11.
8. Izmajlov A.YU., Horoshenkov V.K. Avtomatizirovannye informacionnye tekhnologii v proizvodstvennyh processah rastenievodstva [Automated information technologies in crop production processes] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2010. № 4. S. 3-9.

УДК 621.793:631.3

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕННОГО Fe-Ni-P ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

APPLICATION OF ELECTRO-CONSISTENT FE-Ni-P COATING FOR RESTORING ITEMS OF AGRICULTURAL MACHINES

В.К. АСТАНИН, доктор технических наук, **Е.В. ПУХОВ**, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1», г. Воронеж, Россия, **Ю.А. СТЕКОЛЬНИКОВ**, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец, Россия, **В.В. ЕМЦЕВ**, аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1», г. Воронеж, Россия

V.K. ASTANIN, Doctor of Technical Sciences, **E.V. PUHOV**, Doctor of Technical Sciences, FGBOU VO "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter 1", Voronezh, Russia, **YU.A. STEKOL'NIKOV**, Candidate of Technical Sciences, FGBOU VE "Yelets State University. I.A. Bunin ", Yelets, Russia, **V.V. EMCEV**, graduate student, FGBOU VO "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter 1", Voronezh, Russia

Аннотация. *Покрытия на основе железа широко используются при восстановлении и упрочнении деталей транспортных и технологических машин и оборудования. Добиться улучшения физико-механических свойств покрытий (микротвердости, износостойкости), в том числе коррозионных и фрикционных свойств покрытий железом можно за счет введения легирующих добавок из металлов и неметаллов. Их введение позволяет повысить коррозионную, абразивно-механическую стойкость, микротвердость, жаростойкость за счет улучшения микроструктуры и структуры покрытия. Использование асимметричного переменного тока так же позволит добиться улучшения физико-механических свойств наносимых покрытий. Метод растровой электронной микроскопии позволил исследовать морфологию и микроструктуру гальванического покрытия сплавом железо – никель - фосфор (Fe-Ni-P), полученного из сульфатного электролита на асимметричном переменном токе, для выявления структурных особенностей покрытия. Основными фазами в сплаве в нестационарном режиме электролиза железо – никель – фосфорного покрытия*

Abstract. *Iron-based coatings are widely used in the restoration and strengthening of parts of transport and technological machines and equipment. To improve the physical and mechanical properties of coatings (microhardness, wear resistance), including corrosion and friction properties of iron coatings can be due to the introduction of alloying additives of metals and non-metals. Their introduction allows to increase corrosion, abrasive-mechanical resistance, microhardness, heat resistance by improving the microstructure and structure of the coating. The use of asymmetric alternating current will also improve the physical and mechanical properties of the coatings. The method of scanning electron microscopy allowed to study the morphology and microstructure of galvanic coating with iron – Nickel - phosphorus (Fe-Ni-P) alloy, obtained from sulphate electrolyte on asymmetric alternating current, to identify the structural features of the coating. The main phases in the alloy in non-stationary electrolysis of the iron – Nickel – phosphorus coatings are α-Fe, β-Ni, solid solution of phosphorus in*

являются α-Fe, β-Ni, твердый раствор фосфора в FeαNi, а так же дополнительная фаза FeSO4. Особенностью структуры является наличие аморфно-нанокристаллической структуры. Введение фосфора в состав покрытия оказывает решающее влияние на функциональные свойства гальванических осадков Fe-Ni-P. В этом случае повышаются значения микротвердости в 1,5 - 2 раза, коррозионной стойкости в 3 - 4 раза по сравнению с железо - никелевыми покрытиями, полученными на тех же режимах осаждения. Термообработка железо–никель-фосфорного покрытия увеличивает их микротвердость и коррозионную стойкость за счет образования интерметаллических фаз. Термообработка при 400 0С в защитной атмосфере приводит к увеличению микротвердости.

Ключевые слова: *покрытия Fe-Ni-P, коррозионная стойкость, микротвердость, сульфатный электролит, асимметричный переменный ток.*

FeαNi, as well as additional phase FeSO4. A feature of the structure is the presence of an amorphous nanocrystalline structure. The introduction of phosphorus in the coating has a decisive effect on the functional properties of electroplating precipitation Fe-Ni-P. In this case, the microhardness values are increased by 1.5 - 2 times, corrosion resistance by 3 - 4 times compared with iron - Nickel coatings obtained in the same deposition modes. Heat treatment of iron-Nickel-phosphorus coating increases their microhardness and corrosion resistance due to the formation of intermetallic phases. Heat treatment at 400 0C in a protective atmosphere leads to an increase in microhardness.

Keywords*: coating Fe-Ni-P, corrosion resistance, microhardness, sulfate electrolyte, asymmetric alternating current.*

Осаждение гальванических покрытий железа и сплавов на его основе широко используются для восстановления геометрических размеров изношенных деталей в ремонте машин из-за высоких функциональных свойств поверхностных слоев (твердости, износо- и коррозионной стойкости, антифрикционных характеристик) [2,4-9]. Предлагаемое Fe-Ni-P покрытие позволит улучшить физико-механические свойства отремонтированных деталей.

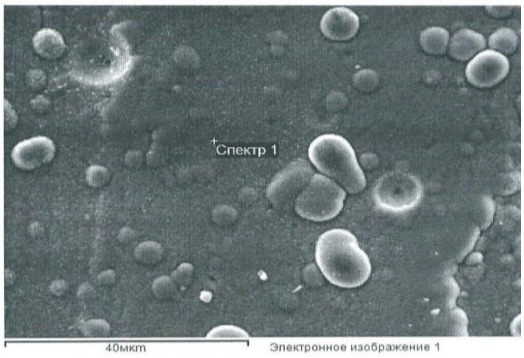
Целью работы является обеспечение высокой износо- и коррозионной стойкости, микротвердости покрытий Fe-Ni-P, полученных осаждением на асимметричном переменном токе.

Осаждение Fe-Ni-P покрытия вели на асимметричном переменном токе плотностью ($Д_к$) от 5 до 30 А/дм^2, коэффициентом асимметрии (β) от 2 до 12 и частотой 60 Гц. Измерение микротвердости осуществлялось на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 100-150 кгс.

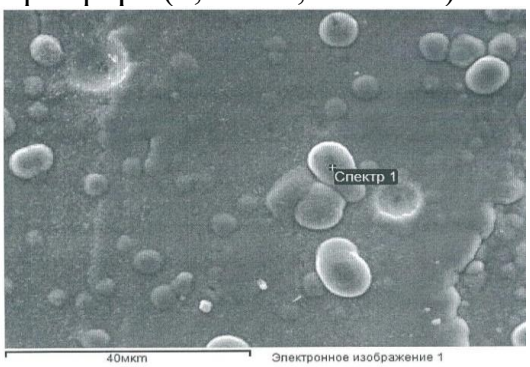
Состав электролита (г/л): серная кислота ((H_2SO_4) с pH=1,0-0,6) – 350-400 г/л: сернокислое железо ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) – 150-350 г/л, никель сернокислый ($NiSO_4$) – 10-75 г/л, гипофосфит натрия ($Na(PH_2O_2)$) – 5-15 г/л, аскорбиновая кислота ($C_6H_8O_6$) – 3-7 г/л. Время электролиза (t) от 1 до 30 минут. Толщина покрытий варьировалась от 10 до 300 мкм.

Морфология поверхности и элементный состав исследовали с помощью микроскопа ЦКПНО ВГУ JEOL-JSM-6380LV с приставкой для энергодисперсионного элементного анализа. В ряде случаев покрытия подвергались термообработке в муфельной печи в течение 0,5-1 часа при 400 ^{0}С с охлаждением в воздушной атмосфере.

Исследование морфологии (микроструктуры) поверхности покрытий сплавами Fe-Ni-P в начальные моменты осаждения (t = 1 мин, $Д_к$ = 10 А/дм^2, β=12) показало образование массива связанных и несвязанных между собой сфероидальных частиц, которые объединяются в агломераты (рис. 1). В покрытии наблюдается углерод, кислород и фосфор. Покрытия Fe-Ni-P отличаются значительным содержанием фосфора (5,25 – 7,11 вес.%).



а)



б)

Рисунок 1 – Морфология поверхности покрытия сплавом Fe-Ni-P при элементном составе: а – на сформировавшейся поверхности, б – в центре кристаллизации.

Из литературных данных известно [3,10], что повышенное содержание фосфора в покрытиях железа способствует уменьшению внутренних напряжений, блокирует образование микротрещин и их развитие. В табл. 1 приведен суммарный спектр элементного состава покрытия Fe-Ni-P, полученного при указанных условиях электролиза в сформировавшейся поверхности (рис. 1а) и центре кристаллизации (рис. 1б). Включение углерода и кислорода в покрытие обусловлено распадом аскорбиновой кислоты. Увеличение времени электролиза от 10 минут до 1 часа приводит к увеличению содержания фосфора в покрытии до 9,5-10,1 %, никеля до 17,5-18%, за счет уменьшения содержания железа.

Табл. 1

Элементный состав покрытия Fe-Ni-P в зависимости от условий осаждения ($Д_к$ = 10 А/дм^2, β=12, t=10 мин)

Элемент	Ni	C	P	Fe	O	Итого
Содержание, вес.% (рисунок 1а)	10,4	8,51	5,25	67,6	8,24	100
Содержание, вес.% (рисунок 1б)	8,24	6,62	7,11	63,83	14,2	100

С возрастанием содержания фосфора в покрытии формируется сплошное равномерное глобулярно-сфероидальное покрытие со слоисто-блочной структурой, которое и влияет на значение микротвердости (рис. 2). После термообработки микротвердость покрытий повышается и достигает значений 950-1090 кгс/мм^2 (рис. 2 кр.5).

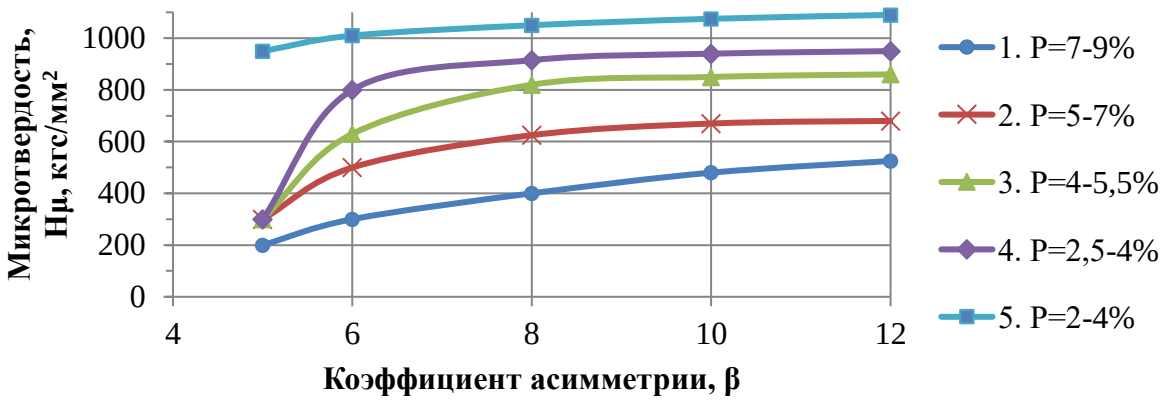


Рисунок 2 – Зависимость микротвердости покрытий Fe-Ni-P от плотности тока и коэффициента асимметрии: 1 – 5 А/дм^2, 2 – 10 А/дм^2, 3 – 20 А/дм^2, 4 – 30 А/дм^2, 5 – 30 А/дм^2 с термообработкой

Включение углерода в покрытие по данным [1,3] служит барьером для предотвращения движения дислокаций, вакансий, дефектов структуры, что сказывается на развитии микротрещин, а в целом влияет на физико-механические свойства (в сторону увеличения): микротвердости, износостойкости, а также коррозионной стойкости.

Осаждение Fe-Ni-P покрытия на асимметричном переменном токе в интервале плотностей от 15 до 30 А/дм^2, с коэффициентом асимметрии 4-12 приводит к формированию на поверхности деталей сплошных сфероидально-глобулярных структур. Наличие в поверхностных слоях повышенного содержания фосфора в покрытии обеспечивает высокую износо- и коррозионную стойкость, микротвердость, которая возрастает после термообработки, что позволяет их рекомендовать для восстановления деталей сельскохозяйственных машин и оборудования, получения покрытий, сравнимых по твердости с хромовыми покрытиями.

Список литературы

1. Гнездилова Ю.П. Исследование микротвердости при электрокристаллизации сплавов на основе железа / Ю.П. Гнездилова, В.В. Серебровский, Н.В. Коняев // Вестник курской с/х академии. – 2009, №1, С. 76-78.

2. Емцев В.В. Анализ износов сельскохозяйственных машин // Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе: материалы международной научно-практической конференции – Ч.I – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - 2017. – С. 266-270.

3. Митухова В.А. Электроосаждение никеля и сплава никель-фосфор из сульфатно-хлоридного электролита, содержащего малоновую кислоту / В.А. Митухова, А.А. Спицина, Т.Е. Цупак // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т.26. - №7, С. 116-120.

4. Попова С.С. Функциональные покрытия на основе железа // Гальваника и обработка поверхности. - 2001. - Т.9. - №1, С. 34-39.

5. Серебровский В.В. Влияние нестационарных режимов электролиза на электроосаждение железных покрытий // Вестник курской с/х академии. – 2008, №1, С. 42-44.

6. Серебровский В.В. Электроосаждение и упрочнение бинарных покрытий на основе железа / В.В. Серебровский, Л.Н. Серебровская, Р.И. Сафонов, Ю.П. Гнездилова // Вестник курской с/х академии. - 2015. - №3. – С. 74-76.

7. Серебровский В.И. Использование электроосажденных сплавов на основе железа для упрочнения и восстановления деталей машин / В.В. Серебровский, В.И. Серебровский, Б.С. Блинков, Е.С. Калуцкий // Региональный вестник. - 2016. - №1. – С. 41-43.

8. Серебровский В.И. Упрочняющее легирование электроосажденного железа / В.В. Серебровский, В.И. Серебровский, Р.И. Сафонов, Ю.П. Гнездилова // Вестник курской с/х академии. - 2015. - №4. – С. 68-71.

9. Стекольников Ю.А. Восстановление изношенных деталей сельскохозяйственной техники гальваническими покрытиями / Н.Ю. Стекольникова, Ю.А. Стекольников, В.К. Астанин, В.В. Емцев, Э.М. Санников // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. - 2017. - № 133. С. 173-185.

10. Шалимов Ю. Н. Образование дефектов структуры при катодном восстановлении металлов. / Ю. Н. Шалимов, И. А. Токарева, Е. П. Евсеев // Технология машиностроения. – 2014. - №2. - С. 5-12.

References

1. Gnezdilova YU.P. Issledovanie mikrotverdosti pri ehlektrokristallizacii splavov na osnove zheleza [Microhardness study during electrocrystallization of iron-based alloys] / YU.P. Gnezdilova, V.V. Serebrovskij, N.V. Konyaev // Vestnik kurskoj s/h akademii. – 2009, No.1, pp. 76-78.

2. Emcev V.V. Analiz iznosov sel'skohozyajstvennyh mashin // Problemy razvitiya tekhnologij sozdaniya, servisnogo obsluzhivaniya i ispol'zovaniya tekhnicheskih sredstv v agropromyshlennom komplekse: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii – CH.I [Analysis of the wear of agricultural machines // Problems of development of technology creation, service and use of technical equipment in the agricultural sector: materials of the international scientific-practical conference] – Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU. - 2017. – pp. 266-270.

3. Mituhova V.A. EHlektroosazhdenie nikelya i splava nikel'-fosfor iz sul'fatno-hloridnogo ehlektrolita, soderzhashchego malonovuyu kislotu [Electrodeposition of nickel and nickel-phosphorus alloy from sulphate-chloride electrolyte containing malonic acid] / V.A. Mituhova, A.A. Spicina, T.E. Cupak // Uspekhi v himii i himicheskoj tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]. – 2012. – T.26. - No.7, pp. 116-120.

4. Popova S.S. Funkcional'nye pokrytiya na osnove zheleza // Gal'vanika i obrabotka poverhnosti [Functional coatings based on iron // Electroplating and surface treatment]. - 2001. - T.9. - No.1, pp. 34-39.

5. Serebrovskij V.V. Vliyanie nestacionarnyh rezhimov ehlektroliza na ehlektroosazhdenie zheleznyh pokrytij // Vestnik kurskoj s/h akademii [Influence of non-stationary modes of electrolysis on the electrodeposition of iron coatings // Bulletin of the Kursk Agricultural Academy]. – 2008, No.1, pp. 42-44.

6. Serebrovskij V.V. EHlektroosazhdenie i uprochnenie binarnyh pokrytij na osnove zheleza [Electrodeposition and Hardening of Iron Based Binary Coatings] / V.V. Serebrovskij, L.N. Serebrovskaya, R.I. Safonov, YU.P. Gnezdilova // Vestnik kurskoj s/h akademii. - 2015. - No.3. – pp. 74-76.

7. Serebrovskij V.I. Ispol'zovanie ehlektroosazhdennyh splavov na osnove zheleza dlya uprochneniya i vosstanovleniya detalej mashin [Use of electrodeposited iron-based alloys for hardening and repairing machine parts] / V.V. Serebrovskij, V.I. Serebrovskij, B.S. Blinkov, E.S. Kaluckij // Regional'nyj vestnik. - 2016. - No.1. – pp. 41-43.

8. Serebrovskij V.I. Uprochnyayushchee legirovanie ehlektroosazhdennogo zheleza [Hardening alloying of electroplated iron] / V.V. Serebrovskij, V.I. Serebrovskij, R.I. Safonov, YU.P. Gnezdilova // Vestnik kurskoj s/h akademii. - 2015. - No.4. – pp. 68-71.

9. Stekol'nikov YU.A. Vosstanovlenie iznoshennyh detalej sel'skohozyajstvennoj tekhniki gal'vanicheskimi pokrytiyami [Restoration of worn parts of agricultural equipment electroplated coatings] / N.YU. Stekol'nikova, YU.A. Stekol'nikov, V.K. Astanin, V.V. Emcev, EH.M. Sannikov // Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. - 2017. - No. 133. pp. 173-185.

10. SHalimov YU. N. Obrazovanie defektov struktury pri katodnom vosstanovlenii metallov [The formation of structural defects in the cathode reduction of metals]. / YU. N. SHalimov, I. A. Tokareva, E. P. Evseev // Tekhnologiya mashinostroeniya. – 2014. - No.2. - pp. 5-12.

УДК 621.793.74: 620.19

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ

ESTIMATION OF PLASMA COATING DURABILITY UNDER ABRASIVE DETERIORATION

***С.Ю. ЖАЧКИН**, доктор технических наук, профессор, **Г.И. ТРИФОНОВ**, соискатель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия*

***S.YU. ZHACHKIN**, doctor of technical Sciences, Professor, **G.I. TRIFONOV**, competitor, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Voronezh state technical University", Voronezh, Russia*

***Аннотация**. из литературных источников известно, что наиболее распространенной причиной эксплуатационных отказов машин и механизмов в подавляющем большинстве случаев является износ и повреждение рабочих поверхностей деталей. В связи с этим, вопрос повышения износостойкости с помощью газотермических воздействий, в частности плазменного напыления с одновременным уменьшением металлоемкости, приобретает все большую актуальность. При плазменном напылении на первом месте стоит изучение явлений износа поверхности, так как в основе данного процесса лежат сложные физические и химические процессы, происходящие в поверхностном слое контактирующих тел. В данной работе изучение приведенных явлений осуществлялось на детале-представителе – шнеке, который используется в машине бурильно-шнековой МБШ 303. Проанализированы эксплуатационные условия работы шнека, а также видов нагрузок, приходящихся на его рабочую поверхность, определены основные виды износа, которому подвергается рабочая поверхность детали. Опираясь на уравнения по расчету винтовых передач, рабочей поверхности шнека, а также на существующие расчетные методики для определения величины абразивного износа детали, были разработаны расчетные методы по определению износа при упругом и пластическом контакте абразивных частиц с рабочей поверхностью шнека и его износа при микрорезании. Также были смоделированы выражения для определения величины абразивного износа плазменных покрытий*

***Abstract**. it is known from literature that the most widespread reason for machinery and mechanism operational failures is a deterioration and damage of part active surfaces. Due to that, durability improvement by means of gas-thermal treatments, particularly a plasma deposition with simultaneous metal fraction decrease, is of high interest. In a plasma deposition process, a research on surface degradation is of the highest priority. The degradation is based on complex physical and chemical processes taking place in surface layers of parts in contact. In this work, discussed phenomena were studied on a prototype part, which is a helical screw used in a boring machine МБШ 303. Operational conditions and types of loads affecting a helical screw active surface were analyzed. Major degradation mechanisms were determined. Based on equations calculating helical gear, screw active surface and part abrasive deterioration estimation methods, computational algorithms for screw active surface degradation estimation were developed. These algorithms include the elastic and inelastic interaction of a screw active surface with abrasive particles, as well as microcutting-induced deterioration. As a result, expressions estimating a degree of abrasive deterioration in boring machine's МБШ 303 plasma*

рабочей поверхности шнека машины бурильно-шнековой МБШ 303. Разработанные системы аналитических выражений можно будет использовать при анализе износа не только плазменных покрытий, но и для всех видов газотермической обработки на автоматических установках при напылении деталей со сложнопрофильной поверхностью.

***Ключевые слова**: износ, абразивные частицы, микрорезание, плазменное напыление, покрытие, оценка.*

deposited screw coating were modeled. Developed analytical expression systems are applicable not only to plasma coating deterioration analysis but also to all kinds of gas-thermal treatments of complex surface parts performed with an automatic equipment.

***Keywords**: plasma spraying, a mathematical model, equation, sprayer, spot spray, surface, detail, auger.*

Проблема трения и изнашивания в настоящее время является одной из наиболее важных при эксплуатации машин. Вместе с тем более 80% всех отказов машин связано с износом их деталей при трении. В России на ремонте изделий вследствие износа их рабочих поверхностей задействовано в несколько раз больше производственных мощностей, чем на их изготовление.

Одним из эффективных направлений решения проблемы повышенного износа поверхностей деталей является нанесение защитных износостойких покрытий газотермическими методами, в т. ч. плазменным напылением [1-4].

Цель данной работы усовершенствовать расчетные методы по определению величины абразивного износа, в частности расчет износа при упругом и пластическом контакте частиц с поверхностями, а также расчет износа при микрорезании абразивных частиц с плазменным покрытием поверхности детали.

В качестве детали-представителя для проведения исследований по усовершенствованию расчетных методов оценки износа был выбран шнек, который используется в машине бурильно-шнековой МБШ 303. Данная машина предназначена для бурения с промывкой и сухим способом, также может быть использована при строительстве для установки столбов и свай [5].

При подробном анализе условий работы шнека, а также видов нагрузок, приходящихся на его рабочую поверхность, были определены основные виды его износа: абразивный, поверхностная усталость, адгезивное изнашивание.

Следует отметить, что абразивный износ обычно составляет доли миллиметров. При этом шнек уже не может обеспечить нормальное протекание технологического процесса и должен быть заменен [6].

Для оценки целесообразности плазменной обработки контактной поверхности шнека проводятся расчеты напряжений, которым подвергается поверхность, в частности напряжение смятия $\sigma_{см}$, расчет на прочность с учетом устойчивости $\sigma_{сж}$, приведенное напряжение $\sigma_{пр}$ [7]:

$$\begin{aligned} &\sigma_{см} \le [\sigma_{см}] \\ &\sigma_{сж} =\le \psi_1 [\sigma_{см}] \\ &\sigma_{пр} =\le [\sigma_р] \end{aligned} \qquad (1)$$

где ψ_1 – коэффициент уменьшения допускаемых напряжений для сжатых стержней, который выбирают в зависимости от гибкости λ из таблицы 1 [7].

Таблица 1

Зависимость коэффициента уменьшения допускаемых напряжений от гибкости

λ	30	50	60	80	100	120	140	160
Ψ_1	0,91	0,86	0,82	0,70	0,51	0,37	0,29	0,24
	0,91	0,83	0,79	0,65	0,43	0,30	0,23	0,19

Для оценки износа рабочей сложнопрофильной поверхности шнека необходимо произвести усовершенствование расчетных уравнении по оценке износа пар трения скольжения, а именно уравнения расчета износа при упругом и пластическом контакте абразивных частиц с поверхностью, а также уравнения расчета износа при микрорезании [8].

Внедрение абразивных частиц в поверхность сопровождается их относительным скольжением. Объем вовлеченного в контактную деформацию материала [9]:

$$\Delta V = \pi h^2 (R - \frac{1}{3} h) n_a \tag{2}$$

где h – глубина внедрения частицы (мкм); R – усредненный объемный радиус частиц (мкм); n_a – число частиц, находящихся в зоне трения.

Удельная интенсивность изнашивания рассчитывается следующим образом [9] $i_h = \frac{\Delta V}{2 A_r a n_p}$, где A_r – фактическая площадь контакта (мкм^2); a – радиус пятна контакта (мкм); n_p – число циклов.

Интенсивность абразивного изнашивания, основанная на усталостной природе разрушения поверхности трения I_1 и интенсивность абразивного изнашивания при микрорезании I_2, в общем виде имеют вид [9]:

$$I_1 = \frac{4 i_h A_r}{\pi A_a}$$
$$I_2 = \frac{h k n_a}{A_a} \times 10^{-6} \tag{3}$$

где A_a – номинальная площадь контакта (мкм^2), k – ширина царапания (мм).

Учтем уравнения, описывающие геликоидную поверхность [10]:

$$x = r \cos\varphi$$
$$y = r \sin\varphi$$
$$z = h_1 \varphi \tag{4}$$

где $0 < r < b$, $0 < \varphi < 2\pi$; r–внешний радиус винтовой поверхности (мм); h_1 – шаг винтовой линии, b – ширина винтовой поверхности (мм), φ – угол подъема винтовой линии (град).

Помимо уравнения площади геликоидной поверхности, стоит учитывать площадь той части поверхности, которая подвергалась обработки плазменного напыления:

$$S_1 = \pi\left[(r-r_1)\sqrt{(r-r_1)^2+h_1^2} + h_1^2 \ln\frac{(r-r_1)+\sqrt{(r-r_1)^2+h_1^2}}{h_1}\right]\times m \quad (5)$$

где r_1 – максимальный радиус рабочей поверхности, которая не подвергалась плазменному напылению (мм), m– количество витков шнека.

В итоге учитывая объем вовлеченного в контактную деформацию материала, удельную интенсивность изнашивания и уравнение по расчету площади (5) выводим систему уравнений для расчета интенсивности абразивного изнашивания рабочей поверхности шнека и интенсивности абразивного изнашивания при микрорезании:

$$I_{h1} = \frac{2h^2(R-\frac{1}{3})n_a}{m\times a\times n_p\times\left[(r-r_1)\sqrt{(r-r_1)^2+h_1^2} + h_1^2 \ln\frac{(r-r_1)+\sqrt{(r-r_1)^2+h_1^2}}{h_1}\right]}$$

$$I_{h2} = \frac{hkn_a}{\pi\left[r\sqrt{r^2+h_1^2} + h_1^2 \ln\frac{r+\sqrt{r^2+h_1^2}}{h_1}\right]\times m}\times 10^{-6} \quad (6)$$

После приведенных преобразований в расчетных методах по оценке изнашивания и износа винтовой поверхности шнека после плазменной обработки можно рассчитать величину износа во всех описанных случаях.

В общем виде величина износа определяется $U = I_h \times L \times 10^{-6}$, где L – путь трения (мм). Есть несколько предположений, что с увеличением скорости скольжения интенсивность изнашивания быстро уменьшается, износ зависит не от скорости скольжения, а лишь от пути трения.

Путь трения можно определить по формуле [11]:

$$L = L_1 \times N_ц \quad (7)$$

где L_1 – путь трения за один оборот геликоида (мм), при этом $L_1 = \frac{\pi d_2}{\cos\psi}$; $N_ц$ – число циклов за время работы.

Угол подъема геликоида ψ определим по схеме, приведенной на рисунке.

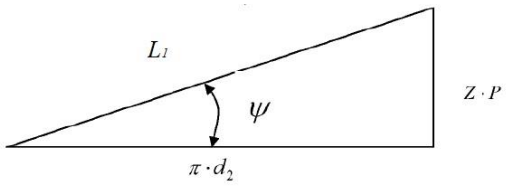


Рисунок 1 – Развертка винтовой линии

Число цикло за время работы определяется [11] $N_ц = 60 \times n \times t_h \times K_E$, где n – частота вращения шнека (об/мин); t_h – время работы (мин); K_E – коэффициент эквивалентности.

В итоге моделируя уравнение для расчета величины износа при упругом и пластическом контакте абразивных частиц с поверхностью, а также износа при микрорезании, получаем:

$$U_1 = \frac{120\pi \times h^2 \times d_2 \times (R - \frac{1}{3}) n_a \times n \times t_h \times K_E}{m \times a \times n_p \times \left[(r - r_1)\sqrt{(r - r_1)^2 + h_1^2} + h_1^2 \, ln \frac{(r - r_1) + \sqrt{(r - r_1)^2 + h_1^2}}{h_1} \right] \times cos\psi} \times 10^{-6}$$

$$U_2 = \frac{60\pi \times h \times k \times n_a \times d_2 \times n \times t_h \times K_E}{\pi \left[r\sqrt{r^2 + h_1^2} + h_1^2 \, ln \frac{r + \sqrt{r^2 + h_1^2}}{h_1} \right] \times m \times cos\psi} \times 10^{-6}$$

где U_1 – величина износа рабочей поверхности шнека, которая основана на усталостной природе разрушения поверхности трения (мм); U_1 – величина износа при микрорезании (мм).

Опираясь на уравнения из теории механизмов и машин, в частности на уравнения по расчету винтовых передач, сложнопрофильной поверхности, а также на существующие расчетные схемы для определения величины абразивного износа детали, были предложены новые методы по прогнозированию износа рабочей поверхности шнека.

Получены выражения для определения величины абразивного износа плазменных покрытий на сложнопрофильной рабочей поверхности шнека машины бурильно-шнековой МБШ 303 [11,12].

Список литературы

1. Жачкин С.Ю. Применение технологии плазменного напыления для повышения эксплуатационной надежности сельхозмашин / С.Ю. Жачкин, Г.И. Трифонов, Н.А. Пеньков // Журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia» ФГБНУ ВНИИТИН. №4 (28), 2017 г. С.131–136.
2. Sidorov S.A., Lobachevskii Y.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob’ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. // Metallurgist. 2018. Т. 61. № 11-12. С. 1023-1028.
3. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 3. С. 5-46
4. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevskii Y.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-layer coatings using plasma surfacing. // Metallurgist. 2017. Т. 60. № 11-12. С. 1290-1294.
5. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под. ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко // М.: Машиностроение, 2008. – 384 с.

6. Трифонов Г.И. Влияние плазменного напыления композиционных порошковых материалов на износостойкость деталей машин / Г.И. Трифонов, С. Ю. Жачкин // Журнал «MASTER'S JOURNAL». ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». 2017 г. С. 30–36.

7. Зотов Б.Н. Расчет характеристик шнеков постоянного и переменного шага /Б. Н. Зотов //Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал, 2015. – № 03. – С. 29 – 40.

8. Пеньков Н.А. Расчет напряжений в дисперсно-упрочненных композитных гальванических покрытиях / Н.А. Пеньков, С.Ю. Жачкин, О.А. Сидоркин, С.В. Нелысов // Журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia» ФГБНУ ВНИИТИН. 2016. № 2. С. 32–37.

9. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа. М.: Машиностроение, 1987 г. – 288 с.

10. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков // М. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов, ун-те, 1986. – 128 с.

11. Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. и др. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) // М.: Машиностроение, 2003. – С. 107–139.

12. Соснин Н.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров /С.А. Ермаков, П.А. Тополянский // СПб: Изд-во Политехи, ун-та, 2013 г. – 406 с.

13. Нелысов С.В. Математическое моделирование нанесения композитных покрытий плазменным напылением / С.В. Нелысов, С.Ю. Жачкин, Г.И. Трифонов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IV Международной научно-практической конференции: в 3 т. / под общ. ред. В. А. Немтинова; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. – С. 63-69.

References

1. ZHachkin S.YU. Primenenie tekhnologii plazmennogo napyleniya dlya povysheniya ehkspluatacionnoj nadezhnosti sel'hozmashin [The use of plasma spraying technology to improve the operational reliability of agricultural machinery] / S.YU. ZHachkin, G.I. Trifonov, N.A. Pen'kov // ZHurnal «Nauka v Central'noj Rossii Science in the central Russia» FGBNU VNIITIN. No.4 (28), 2017. pp.131–136.

2. Sidorov S.A., Lobachevskii Y.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob’ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. // Metallurgist. 2018. T. 61. № 11-12. S. 1023-1028.

3. Izmajlov A.YU., Sidorov S.A., Lobachevskij YA.P., Horoshenkov V.K., Kuznecov P.A., YUrkov M.A., Golosienko S.A. Nauchnye principy povysheniya iznosostojkosti rabochih organov pochvoobrabatyvayushchej tekhniki [Scientific principles of improving the durability of the working bodies of tillage equipment] // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk. 2012. № 3. S. 5-46

4. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevskii Y.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-layer coatings using plasma surfacing. // Metallurgist. 2017. T. 60. № 11-12. S. 1290-1294.

5. Kombalov V.S. Metody i sredstva ispytanij na trenie i iznos konstrukcionnyh i smazochnyh materialov [Methods and means of testing for friction and wear of structural and lubricants]: spravochnik / pod. red. K.V. Frolova, E.A. Marchenko // M.: Mashinostroenie, 2008. – pp. 384.

6. Trifonov G.I. Vliyanie plazmennogo napyleniya kompozicionnyh poroshkovyh materialov na iznosostojkost' detalej mashin [The effect of plasma spraying of composite powder materials on the wear resistance of machine parts] / G.I. Trifonov, S. YU. ZHachkin // ZHurnal «MASTER'S JOURNAL». FGBOU VPO «Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet». 2017. pp. 30–36.

7. Zotov B.N. Raschet harakteristik shnekov postoyannogo i peremennogo shaga [Calculation of the characteristics of constant and variable pitch screws] /B. N. Zotov //Mashiny i ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ehkspluataciya [Machines and installations: design, development and operation]. MGTU im. N.EH. Baumana. EHlektronnyj zhurnal, 2015. – No. 03. – pp. 29 – 40.

8. Pen'kov N.A. Raschet napryazhenij v dispersno-uprochnennyh kompozitnyh gal'vanicheskih pokrytiyah [Calculation of stresses in dispersion-strengthened composite electroplated coatings] / N.A. Pen'kov, S.YU. ZHachkin, O.A. Sidorkin, S.V. Nelysov // ZHurnal «Nauka v Central'noj Rossii Science in the central Russia» FGBNU VNIITIN. 2016. No. 2. pp. 32–37.

9. Ikramov U.A. Raschetnye metody ocenki abrazivnogo iznosa. M.: Mashinostroenie [Calculated methods for assessing abrasive wear. M .: Mechanical Engineering], 1987. – pp. 288.

10. Gevko B.M. Tekhnologiya izgotovleniya spiralej shnekov [Manufacturing technology spirals augers] // M. – L'vov: Vishcha shk. Izd-vo pri L'vov, un-te, 1986. – pp. 128.

11. CHichinadze A.V., Berliner EH.M., Braun EH.D. i dr. Trenie, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika) [Friction, wear and lubrication (tribology and tribotechnology)] // M.: Mashinostroenie, 2003. – pp. 107–139.

12. Sosnin N.A. Plazmennye tekhnologii. Rukovodstvo dlya inzhenerov [Plasma technology. Manual for Engineers] /S.A. Ermakov, P.A. Topolyanskij // SPb: Izd-vo Politekhi, un-ta, 2013. – pp. 406.

13. Nelysov S.V. Matematicheskoe modelirovanie naneseniya kompozitnyh pokrytij plazmennym napyleniem [Mathematical modeling of the deposition of composite coatings by plasma spraying] / S.V. Nelysov, S.YU. ZHachkin, G.I. Trifonov // Virtual'noe modelirovanie, prototipirovanie i promyshlennyj dizajn: materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Virtual modeling, prototyping and industrial design: materials of the IV International Scientific and Practical Conference]: v 3 t. / pod obshch. red. V. A. Nemtinova; FGBOU VO «TGTU». – Tambov: Izd-vo FGBOU VO «TGTU», 2017. – Vyp. 4. – pp. 63-69.

УДК 621.357

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

MODERNIZATION OF THE INSTALLATION FOR POWDER MATERIALS PERFECT FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES

***Р.Н. ЗАДОРОЖНИЙ**, канд. техн. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, **А.А. ЧЕТВЕРТАКОВ**, студент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», **А.Р. ТИХОНЮК**, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет (ВГТУ)», Россия*

***R.N. ZADOROZHNIJ**, cand. tech. sci, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, **A.A. CHETVERTAKOV**, student, FSBEI "Moscow state technical University named after N. Uh. Bauman (national research University)", **A.R. TIHONYUK**, student, FGBOU VO "Voronezh state technical University (Voronezh, Russia)", Moscow, Russia*

***Аннотация**. Проблема изготовления порошковых материалов, пригодных для использования в аддитивных технологиях стоит уже давно, поскольку для данных технологий требуются порошки определенной фракции и чистоты, что при производстве достаточно трудо- и энергозатратно. Применение прогрессивного метода производства порошковых материалов требуемого качества и состава позволит значительно снизить остроту данного вопроса и осуществить большой скачок в развитии аддитивных технологий, как одного из перспективных направлений промышленного производства.*

В работе представлен краткий обзор наиболее распространенных методов получения порошков из токопроводящих материалов и перспективного метода - электроэрозионного диспергирования. Предложена модернизированная электрическая схема установки электроэрозионного диспергирования, в которой используются современные комплектующие элементы, чем достигается высокая стабильность протекания технологического процесса получения порошковых материалов, что позволяет в значительной степени повысить ее надежность и производительность.

***Ключевые слова**: аддитивные технологии, порошковые материалы, электроэрозионное диспергирование, микроконтроллер, генератор импульсов.*

***Abstract**. The problem of manufacturing powder materials suitable for use in additive technologies has been standing for a long time, since for these technologies powders of a certain fraction and purity are required, which in production is labor-intensive and energy-intensive. The use of a progressive method of production of powder materials of the required quality and composition will significantly reduce the severity of this issue and make a big leap in the development of additive technologies as one of the promising areas of industrial production.*

The paper presents a brief overview of the most common methods for obtaining powders from conductive materials and a promising method - electroerosive dispersion. The modernized electric scheme of the electroerosive dispersing unit is proposed, in which modern component parts are used, thus achieving high stability of the technological process for obtaining powder materials, which greatly improves its reliability and productivity.

***Keywords**: additive technologies, modernization, electroerosive dispersion, microcontroller, pulse generator.*

Современное машиностроительное производство не позволяет в полной мере реализовать инновационные конструкторские решения проектируемых механизмов и машин, поскольку классические конструкции обычно являются сборными, а те из них, которые представляют собой изделия сложной формы, зачастую достаточно дороги ввиду их мелкосерийного, а иногда и штучного, производства. Выходом из сложившейся ситуации является изготовление изделий облегченной конструкцией и специальной внутренней структурой из композитных материалов.

Производство таких сложных изделий осуществляется при помощи аддитивных технологий, в которых помимо лазерной системы и защитной среды не малую роль играет материал. Технологические свойства материала, используемого для аддитивных технологий, имеют довольно специфический характер. Частицы порошка должны быть нано- или мелкодисперсного размера, округлой формы и иметь достаточно хорошую сыпучесть, что достигается методом их получения.

Наибольших успехов в области получения порошковых материалов достигли такие компании как ATI Powder Metals, Carpenter, Erasteel, LPW, Raymor Industries. Принципы получения данных порошков различны, однако в общем случае процесс производства можно описать следующим образом. Металлический материал расплавляют в печи, а затем распыляют из резервуара в камеру. Сверхзвуковой поток инертного газа или воды падает на расплавленный металл, вынуждая распадаться жидкий металл на мелкие капли, которые осаждаются на дно распылительной камеры в виде частиц порошка. При другом методе проволока попадает в камеру, где она плавится и распыляется с помощью плазменных горелок. Третий метод использует центробежную силу для разгона жидкого металла в формовочной камере.

Из описанного выше следует, что данные методы обладают высокой производительностью, но в тоже время весьма энергозатратны и не экологичны.

Альтернативным методом получения порошковых материалов, отвечающим экологическим, энергетическим и производственным требованиям является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД), который позволяет получать мелкодисперсные порошки-сплавы высокой чистоты из отходов токопроводящих материалов.

Установки ЭЭД состоят из генератора импульсов, формирующего импульсы заданной амплитуды, длительности и частоты следования, и реактора, в котором осуществляется процесс диспергирования. По принципу работы установки можно выделить несколько основных групп схемного решения, но наиболее эффективной является схема, в которой используются накопители электрической энергии с последующей импульсной отдачей в нагрузку. В такой схеме чаще всего используются индуктивные и ёмкостные накопители энергии, так же возможно применение электрохимических накопителей. В процессе работы установок с ёмкостным накопителем энергии происходит периодическое подключение рабочей батареи конденсаторов к сети, её заряд, отключение от сети и дальнейший разряд на обрабатываемый

материал. Для управления процессом коммутации батареи конденсаторов в большинстве установок ЭЭД используются низкочастотные силовые тиристоры в паре с аналоговым генератором импульсов, обладающие невысокой стабильностью и частотой выходного сигнала. В тоже время, имеющаяся в распоряжении экспериментальная установка (Рис. 1), разработана на морально и физически устаревшей элементной базе и не отвечает современным требованиям производства.

С целью повышения качества и производительности процесса ЭЭД порошковых материалов предложена модернизированная схема установки с учетом использования современных комплектующих (Рис. 2).

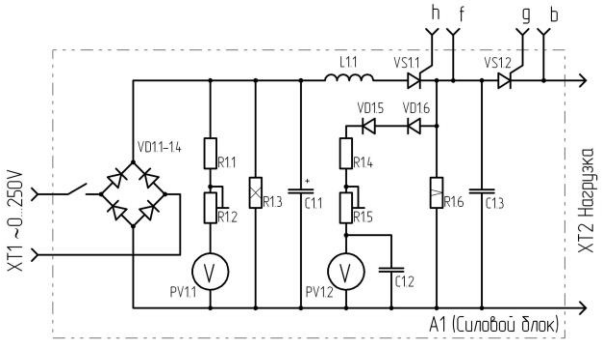


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема силового блока установки ЭЭД

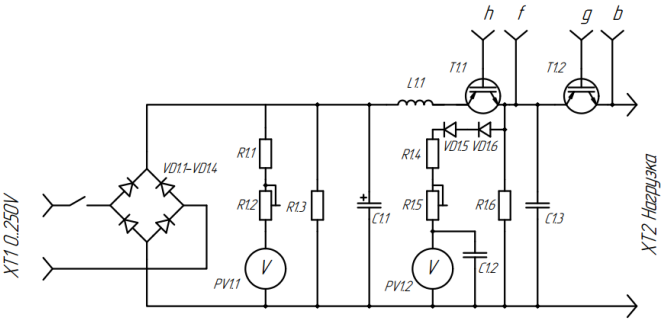


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема модернизированной силовой установки ЭЭД

Замена тиристоров, применяемых в исходной схеме, на современные IGBT-транзисторы позволит увеличить частоту работы установки до 20 КГц. Такой эффект достигается возможностью транзисторов переключаться на достаточно высокой частоте, поскольку установленные тиристоры, в исходной схеме в качестве ключей, способны работать только на небольших частотах, в которых критическое значение нарастания напряжения на аноде тиристора составляет 1000 мкс, а значит выше 1 КГц этот ключ переключаться не может. Дополнительно, рассматривается возможность использования генератора на микропроцессоре (Рис. 3), что позволит решить проблему нестабильной частоты работы генератора на мультивибраторе на частотах выше 3 КГц. В то же время, гибкость микроконтроллера позволит использовать точную индикацию работы, а также увеличить количество рабочих режимов установки.

Использование широтно-импульсного модулятора микропроцессора в комплементарном режиме позволит изменять длительность рабочего импульса без изменения частоты работы установки и емкости разрядной батареи, а это позволит изменять выходную фракцию порошка без остановки процесса диспергирования.

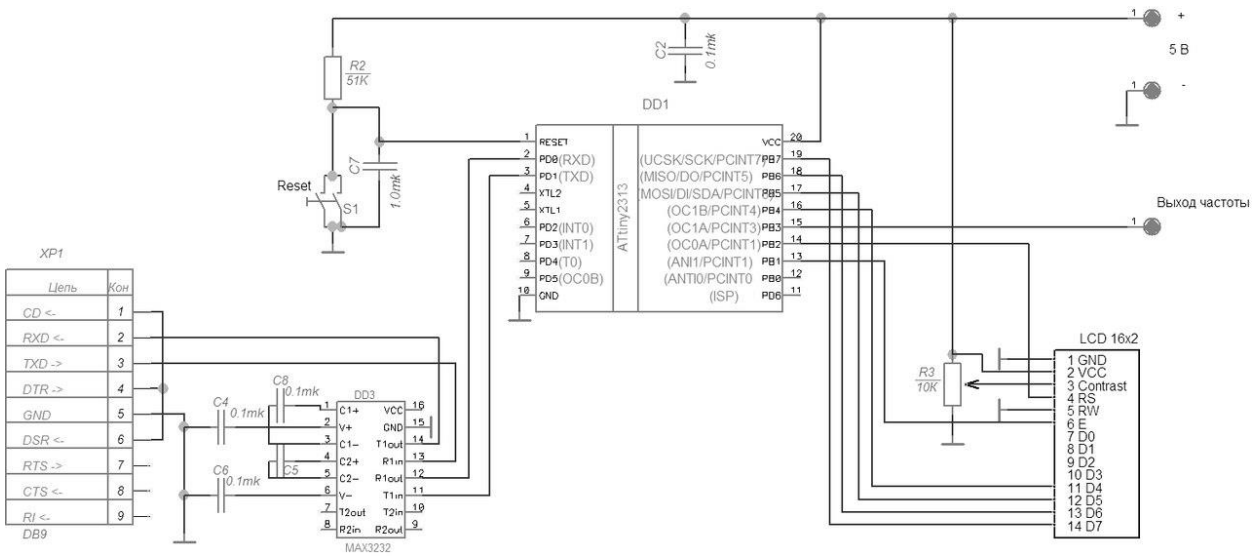


Рисунок 3 – Электрическая схема генератора на микропроцессоре

Модернизация силовой установки для электроэрозионного диспергирования порошковых материалов совершенствованием принципиальной электрической схемы с заменой морально и физически устаревших элементов на принципиально новые с высокими выходными характеристиками, позволит расширить диапазон рабочих режимов и увеличить долю наноразмерной фракции получаемого порошка, обеспечит требуемое качество и формообразование порошка для использования в аддитивных технологиях, увеличить производительность и надежность установки.

Список литературы

1. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов: монография / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, – 2011. 123 с.

2. Латыпов, Р.А., Денисов, В.А., Агеев, Е.В. Исследование и разработка технологии восстановления вала ротора турбокомпрессора электроискровой обработкой электроэрозионными наноматериалами [Текст] // Современные материалы, техника и технологии. №2(5). – 2016. С. 141-146.

3. Агеев, Е.В., Латыпов Р.А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов [Текст] // Известия вузов. Цветная металлургия. № 5 – 2014. С.50-53

4. Агеев, Е.В., Зубарев М.В. Установка для получения порошковых материалов, пригодных для технологических процессов восстановления и упрочнения деталей [Текст] // Тр. ГОСНИТИ. – 2017. – т.129. – С. 169-173.

5. Задорожний, Р.Н., Романов, И.В., Шемберев, И.А Исследование свойств металлических порошков, полученных из отходов твердых сплавов электроэрозионным диспергированием [Текст] // Тр. ГОСНИТИ. – 2018. – т.130. – С. 208-213.

6. Титце, У., Шенк, К. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир. 1983

7. Хоровиц, П., Хилл, У. Искусство схемотехники: В 2-х томах. Пер. с англ. М.:1983.- Т.1.- 598 с., Т.2.- 590 с.

8. Васильев, А.Е. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений / А.Е. Васильев. - СПб.: BHV, 2008. – 304 с.

9. Денисов В.А., Задорожний Р.Н. Оценка эксплуатационной надежности восстановленных деталей по результатам ускоренных стендовых испытаний [Текст] // Тр. ГОСНИТИ. – 2017. – т.127. – С. 160-165.

10. Latypov, R.A., Latypova, G.R., Ageeva, E.V., Kruglyakov, O.V. Electroerosion micro- and nanopowders for the production of hard alloys [Text] // Russian metallurgy (Metally). № 6.– 2016. C. 547-549.

References

1. Sostav i svojstva poroshkov, poluchennyh ehlektroehrozionnym dispergirovaniem othodov tverdyh splavov: monografiya [[Composition and properties of powders obtained by electroerosion dispersion of solid alloys waste] / E.V. Ageev, R.A. Latypov, B.A. Semenihin, E.V. Ageeva; YUgo-Zap. gos. un-t. Kursk, – 2011. 123 p.

2. Latypov, R.A., Denisov, V.A., Ageev, E.V. Issledovanie i razrabotka tekhnologii vosstanovleniya vala rotora turbokompressora ehlektroiskrovoj obrabotkoj ehlektroehrozionnymi nanomaterialami [Research and development of the restoration technology of the rotor shaft of a turbo-compressor by electrospray processing by electroerosive nanomaterials] // Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. No. 2(5). – 2016. pp. 141-146.

3. Ageev, E.V., Latypov R.A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchennyh ehlektroehrozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashchih othodov [Preparation and study of hard alloy blanks from powders obtained by electroerosion dispersion of tungsten-containing waste] // Izvestiya vuzov. Cvetnaya metallurgiya. No. 5 – 2014. pp.50-53

4. Ageev, E.V., Zubarev M.V. Ustanovka dlya polucheniya poroshkovyh materialov, prigodnyh dlya tekhnologicheskih processov vosstanovleniya i uprochneniya detalej [Installation for obtaining powder materials suitable for technological processes of restoration and hardening of parts] // Tr. GOSNITI. – 2017. – t.129. – pp. 169-173.

5. Zadorozhnij, R.N., Romanov, I.V., SHemberev, I.A Issledovanie svojstv metallicheskih poroshkov, poluchennyh iz othodov tverdyh splavov ehlektroehrozionnym dispergirovaniem [Investigation of the properties of metal powders obtained from the waste of hard alloys by electroerosion dispersion] // Tr. GOSNITI. – 2018. – t.130. – pp. 208-213.

6. Titce, U., SHenk, K. Poluprovodnikovaya skhemotekhnika [Semiconductor circuitry]. M.: Mir. 1983.

7. Horovic, P., Hill, U. Iskusstvo skhemotekhniki [Art circuitry]: V 2-h tomah. Per. s angl. M.:1983.- T.1.- 598 s., T.2.- 590 s.

8. Vasil'ev, A.E. Mikrokontrollery. Razrabotka vstraivaemyh prilozhenij [Embedded Application Development] / A.E. Vasil'ev. - SPb.: BHV, 2008. – 304 c.

9. Denisov V.A., Zadorozhnij R.N. Ocenka ehkspluatacionnoj nadezhnosti vosstanovlennyh detalej po rezul'tatam uskorennyh stendovyh ispytanij [Evaluation of the operational reliability of reconditioned parts based on the results of accelerated bench tests] // Tr. GOSNITI. – 2017. – t.127. – S. 160-165.

10. Latypov r a latypova g r ageeva e v kruglyakov o v electroerosion micro- and nanopowders for the production of hard alloys [text] russian metallurgy metally 6, 2016. pp. 547-549.

УДК 632.08:632.935.3:632.51

К ВОПРОСУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИНЫ ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА КОММУНАЛЬНЫХ РАБОТАХ

TO THE QUESTION OF EXPERIMENTAL EFFICIENCY VALUATION OF WEED KILLING MACHINE AT COMMUNAL WORKS

А.Ю. ИЗМАЙЛОВ, *академик РАН, доктор технических наук,* ***А.С. ДОРОХОВ,*** *доктор технических наук, член-корреспондент РАН, ,* ***Р.С. ФЕДОТКИН,*** *кандидат технических наук,* ***В.А. КРЮЧКОВ,*** *кандидат технических наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

A. Y. IZMAILOV*, acad. RAS, Dr. tech. sci.,* ***A. S. DOROKHOV****, Dr. tech. sci., corr. memb. RAS,* ***R. S. FEDOTKIN****, cand. tech. sci.,* ***V. A. KRYUCHKOV****, cand. tech. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia*

Аннотация*. В работе приводится оценка эффективности машины для уничтожения сорной растительности гидравлическим воздействием на коммунальных работах с целью увеличения ее сезонной загрузки. Приведены количественные показатели производительности и возможные критерии оценки эффективности для представленных видов работ. В заключении приведены виды работ, на которых применение машины возможно только в опциональной комплектации.*

Ключевые слова*: Машина для уничтожения сорной растительности, испытания, коммунальные работы, сезонная загрузка*

Abstract*. The paper evaluates the efficiency of the machine for the destruction of weed vegetation by the hydraulic action on municipal works with a view to increasing its seasonal load. The quantitative indicators of productivity and possible criteria of an estimation of efficiency for the presented kinds of works are resulted. In conclusion, the types of work on which the application of the machine is possible only in the optional configuration are given.*

Keywords*: Weed killing machine, testing, communal works, seasonal loading.*

Современные производители сельскохозяйственных машин (СХМ) и оборудования большое внимание уделяют борьбе с сорными растениями без применения отравляющих веществ, что связано с переходом к экологически чистому (органическому) земледелию [7, 8] и способствует появлению соответствующих образцов узкоспециализированной техники [1-6].

Относительно новыми техническими решениями для борьбы с сорными растениями являются использование потока рабочей жидкости (воды) под сверхвысоким давлением [9] или открытого направленного пламени [2].

Машины, основанные на принципе открытого направленного пламени, имеют один очевидный недостаток, связанный с возможностью повреждения культурных растений открытым пламенем и раскаленными деталями устройства подачи пламени и его защитных корпусов.

В связи с этим, как минимум, машины, работающие по принципу создания струй рабочей жидкости сверхвысокого давления, являются более

перспективными. Результатом развития этого принципа являются прицепные СХМ, использующие энергию трактора и размещаемое на них гидравлическое оборудование сверхвысокого давления для проведения гербицидной обработки в рядках виноградников и приствольных зонах садовых фруктовых деревьев [9].

Сезонность использования таких машин сильно ограничена. Существующие результаты исследований показывают, что достаточно всего двух обработок в год для создания устойчивого гербицидного эффекта [9]. Это обстоятельство приводит к длительным простоям машины, что негативно сказывается на сохраняемости и надежности машины в целом.

Учитывая вышесказанное, оценка возможности применения таких машин на смежных технологических операциях, в т.ч. в коммунальном хозяйстве, с целью увеличения ее годовой загрузки является крайне актуальным.

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка функциональности и эффективности машины для уничтожения сорной растительности посредством воздействия на нее струями воды сверхвысокого давления (машины гидравлического воздействия на сорную растительность - МГВС) на коммунальных работах.

Для испытаний в качестве МГВС выбрана машина Caffini GrassKiller 2000 *l*, основные технические характеристики которой представлены в Табл. 1.

Таблица 1

Характеристики машины для уничтожения сорняков Caffini GrassKiller 2000 l

Параметр	**Значение**
Тип машины и агрегатирование	
Тип	Прицепная
Требование к ВОМ	540 мин$^{-1}$
Дополнительное подключение	- гидросистема трактора; - электросистема трактора.
Гидравлика	
Емкость бака, л	2000
Система фильтрации	- фильтр грубой очистки; - фильтр тонкой очистки (220 меш / 60 мкм)
Тип насоса	Поршневой
Штатное рабочее давление, МПа	100
Частота вращения вала насоса, мин$^{-1}$	500-600
Расход насоса, л	13 (при 500 мин$^{-1}$)
Предохранительный клапан, МПа	125
Другие клапаны	Перепускной с электрогидравлическим управлением и возможностью сброса давления в системе до нуля
Управление	
Тип	Дистанционное – проводное
Орган управления	Выносная панель
Возможности управления	- положение рабочей головки; - наклон рабочей головки; - подача питания; - включение/выключение подачи воды; - управление вращением сопел; - экстренное отключение.

Безопасность	
Эксплуатационная	Бесконтактный переключатель с контролем угла наклона головки
Защита растений	Механизм обхода растения рабочей головкой

МГВС относится к прицепным машинам и приводится от вала отбора мощности (ВОМ) трактора. Для энергообеспечения МГВС в процессе испытаний использовался трактор МТЗ 82.1 «Беларус» заводской комплектации. Машинотракторный агрегат в процессе испытаний показан на Рис. 1.

Рисунок 1 - Машинотракторный агрегат с МГВС в процессе испытаний.

Исследования функциональности и эффективности МГВС проводились на территории хозяйственно-имущественного комплекса ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и включали в себя следующие виды коммунальных работ: чистка асфальтовых и бетонных дорог от грязи и пыли; чистка объектов дорожного покрытия со сложным рельефом (люки, формованная плитка) и полостями от грязи и пыли; чистка бордюрного камня и его соединений с асфальтовой или бетонной частью дороги; удаление старой разметки дорог; удаление старой краски с бордюрного камня; рыхление почвы и удаление нежелательной растительности между бордюрным камнем и строениями – работа на дворовых территориях.

При проведении испытаний использовались средства аудио- и видеофиксации. Оценка качества обработки проводилась визуально с применением контрольно-измерительного инструмента для замера площади обработанной зоны, очагов сорной растительности в ней. Расход воды, частота вращения вала ВОМ трактора и давление насоса контролировалось поплавковым индикатором и информационным дисплеем пульта управления МГВС. Скорость движения контролировалась по показаниям спидометра трактора.

Исследование способности очистки дорог проводилось на участках: с асфальтовым мелкозернистым покрытием (ГОСТ 9128-2009) размером 3х2 мм (Рис. 2, *а*); с тяжелым бетонным покрытием (ГОСТ 25192-2012) размером 1,16х1,26 мм (Рис. 2, *б*).

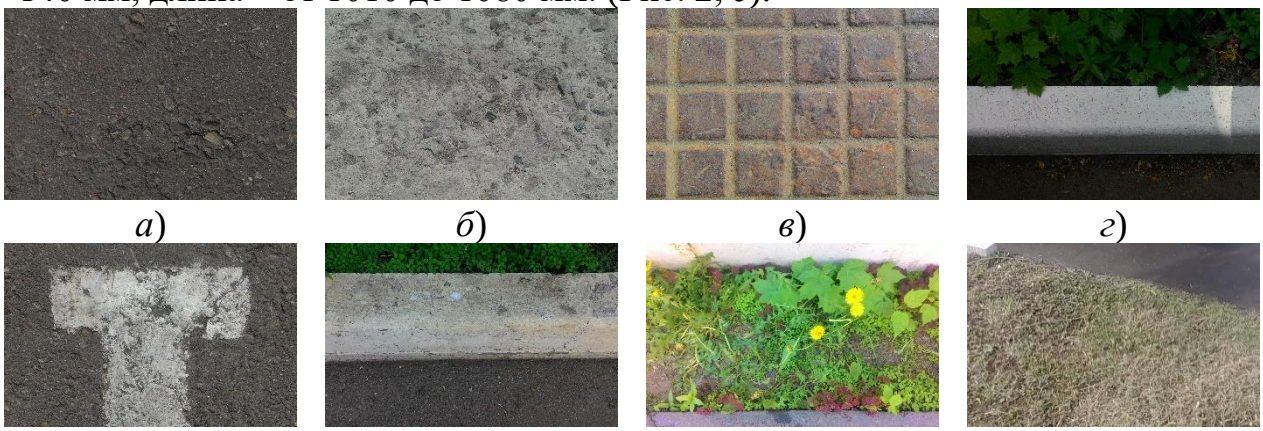
Исследование способности очистки объектов дорожного покрытия со сложным рельефом и полостями от грязи и пыли проводилось на металлическом плиточном основании с вафельной фактурой площадью 0,33 м^2 (Рис. 2, *в*) с характеристиками выпуклостей 42×4×2,6 мм (шаг × промежуток × глубина).

Исследование способности очистки бордюрного камня и его соединения с дорожным покрытием осуществлялось на двух разрозненных участках

асфальтовой и бетонной части дороги. В случае с асфальтовой дорогой высота бордюрного камня составила 250 мм, ширина – 140 мм, длина – от 1010 до 1080 мм. В случае с бетонной частью дороги высота бордюрного камня составила 240 мм, ширина – 140 мм, длина – от 1015 до 1050 мм. В каждом испытании было задействовано по три секции бордюрного камня за один проход (Рис. 2, *г*).

Исследование способности очистки участка дороги от старой разметки осуществлялось на фрагменте парковочной разметки для поперечной автостоянки, примыкающей к пешеходной дороге (СНиП 21-02-99). Материал разметки – эмаль типа АК-511 (ГОСТ Р 52575-2006) (Рис. 2, *д*).

Исследование способности очистки старой краски с бордюрного камня осуществлялось на выделенной секции бордюрных камней со старой частично облупившейся краской, где высота бордюрного камня составила 250 мм, ширина – 140 мм, длина – от 1010 до 1080 мм. (Рис. 2, *е*).



а) *б*) *в*) *г*)

д) *е*) *ж*) *и*)

Рисунок 2 - Выбранные для проведения испытаний объекты:
***а* – асфальтовое мелкозернистое покрытие; *б* – тяжелое бетонное покрытие; *в* – плиточное основание; *г* – бордюрный камень под чистку; *д* – участок дорожной разметки; *е* – бордюрный камень со старым покрытием; *ж* – придорожный участок, граничащий со стеной; *и* – придорожный участок без бордюра**

Исследование способности рыхления и удаления нежелательной растительности между бордюрным камнем и строениями проводилось на участке почвы, граничащем с бордюрным камнем и стеной шириной 382 мм и протяженностью 3 м (рис. 2, *ж*) и участке почвы, граничащем с асфальтовой дорогой шириной более 1 м и протяженностью 3 м (рис. 2, *и*).

Возможность использования МГВС на коммунальных работах по обслуживанию хозяйственно-имущественного комплекса обеспечивается широким диапазоном изменения положения ее рабочей головки (Рис. 3).

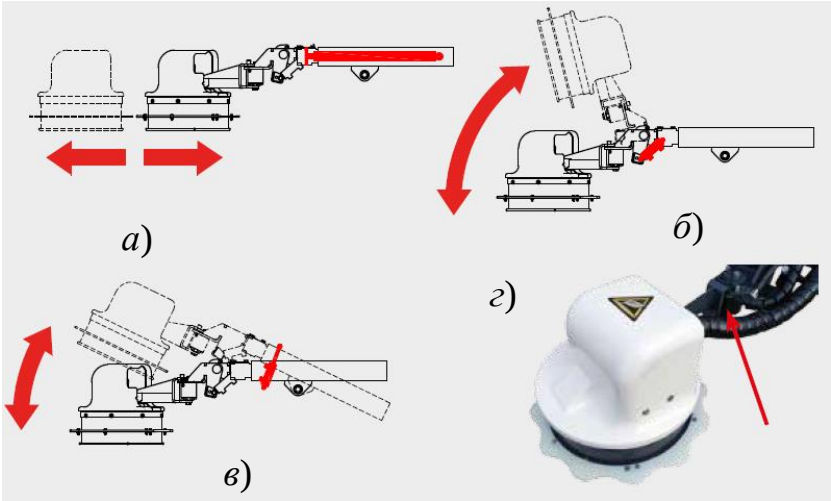


Рисунок 3 - Степени свободы рабочей головки МГВС:
***а* – поперечное перемещение; *б* – угловое перемещение; *в* – наклон относительно продольной оси машины; *г* – вид рабочей головки с шарниром**

Рабочая головка имеет следующие ограничения в перемещении: высота от уровня опорной поверхности – не более 600 мм, вылет за поперечные габариты – не более 700 мм от исходного положения, угол поворота относительно опорной поверхности – до 65 градусов, угол поворота относительно продольной оси – до 20 градусов. Данные характеристики позволяют осуществлять обработку на некотором отдалении от головки или под углом к ней.

Перед проведением исследований была оценена величина давления воды, создаваемого водяным насосом машины, в зависимости от частоты вращения ВОМ трактора. Полученный график представлен на Рис. 4.

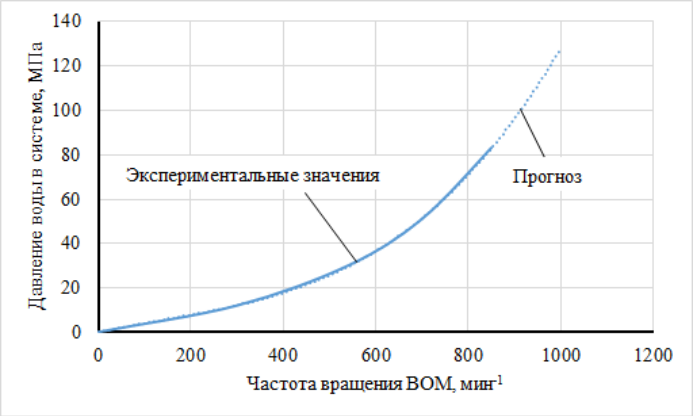


Рисунок 4 - Зависимость давления воды в системе машины от оборотов ВОМ

Полученная величина заметно ниже заявленной (100 МПа при 540-600 мин$^{-1}$), что требует дополнительных оценочных и регулировочных мероприятий.

Перед проведением исследований по возможности очистки асфальтовых и бетонных дорог от грязи и пыли проведена оценка влияния струй воды сверхвысокого давления на дорожное покрытие. Оценка проводилась на асфальтовом мелкозернистом и тяжелым бетонном покрытии при максимальном давлении (83 МПа при 850 мин$^{-1}$). При этом рабочая головка устанавливалась на высоте 150 мм от поверхности, а затем на высоте 15 мм (рабочее положение), после чего поверхность обрабатывалась с экспозицией в 10 и 30 с.

Результаты показали отсутствие видимых повреждений дорожного покрытия во всех случаях – отсутствие выкрашиваний, сколов и трещин.

В процессе чистки дорожного покрытия устанавливалась скорость движения 0,63 км/ч, при которой выдерживается частота вращения ВОМ, обеспечивающая давление воды 83 МПа.

В результате отмечен эффект вымывания пыли из мельчайших неровностей – через неделю с момента обработки фиксировалась явная разница в оттенках покрытия – более насыщенный черный для асфальта и более темно-серый для бетона (Рис. 5, *а*). Ширина линии изменения оттенка составила 346 мм, что сопоставимо с активным диаметром рабочей головки. При этом производительность работы составила 217,39 м^2/ч.

Очистка объектов дорожного покрытия со сложным рельефом проводилась на скоростях 0,63 и 0,42 км/ч, что соответствует давлению в системе в 83 и 32 МПа соответственно (см. Рис. 4). Рабочая головка находилась в рабочем положении на высоте 15 мм от поверхности.

В процессе работы происходило выбивание водой пыли из впадин рисунка, однако большая ее часть оседала обратно. Производительность работ составила 217,39 м^2/ч и 144,93 м^2/ч соответственно.

При чистке бордюрного камня скорость движения составляла 2,3 км/ч. Давление при этом также составляло 83 МПа. Высота головки над очищаемой поверхностью – 190 мм.

При этом происходила очистка от грязи и пыли, однако она оседала и скапливалась в угловом стыке камня и покрытия. При опускании рабочей головки на высоту до 50 мм очищающая способность увеличивалась, однако при этом происходило частичное повреждение покрасочного покрытия бордюрного камня, что говорит о возможности снижения давления в системе (или увеличении расстояния до рабочей головки до начальных 190 мм), а также увеличении скорости подачи во время обработки. За один проход охватывается вся высота и верхняя кромка бордюрного камня, а также 50-100 мм прилегающей поверхности дорожного покрытия. Производительность работ составила 2325,58 м$_п$/ч, где м$_п$ – погонный метр бордюра.

При исследовании возможности очистки дорожного покрытия от старой разметки на выбранных ранее скоростях 0,63 и 0,42 км/ч видимого эффекта получено не было. В связи с этим проведен ряд экспериментов с различной экспозицией при остановленном тракторе. Результат дала работа с экспозицией 15 с. При этом на месте разметки был явно обозначен диаметр обработки с внешними и внутренними границами 358 мм и 322 мм соответственно, очищенный от краски (рис. 5, *б*). Ширина линии обработки в этом случае составила 18 мм. Учитывая частоту вращения головки 62,8 с$^{-1}$, длину окружности, проходимую струями – 1,07 м, количество струй – 4, и время экспозиции, можно сделать вывод, что в общей сложности для очистки старой разметки струями было пройдено 4032 м. Для среднего рабочего диаметра следа в 340 мм скорость движения, обеспечивающей минимальную эффективность обработки на ходу, составит 0,082 км/ч, а производительность работ при этом – 27,78 м^2/ч.

При оценке возможности очистки бордюрного камня от старой краски скорость движения машинно-тракторного агрегата составила 0,63-2,3 км/ч. В каждом случае давление составило 83 МПа. Рабочая головка устанавливалась на расстоянии 100 и 50 мм от ближайшей точи обрабатываемой поверхности. Эффект достигался практически одинаковый. При этом удалялось до 50-60 % старой краски (Рис. 5, *в*).

Оценка рыхления земли в зонах, прилегающих к хозяйственным объектам, проходила в два этапа. Статический режим для оценки глубины проникновения струй с экспозициями 10, 5 и 3 с показал глубину проникновения соответственно 60, 30 и 10 мм (Рис. 5, *г, д, е*). Диаметры следа составили: в первом случае 350 мм внешний и 330 мм внутренний (ширина реза 10 мм); во втором и третьем – 340 мм для внешнего и 328 мм для внутреннего (ширина реза 6 мм). Для рыхления достаточно проникновения в 10 мм, что, с учетом среднего рабочего диаметра в 334 мм обеспечивается на скорости 0,4 км/ч. После прохода при изначально 100 % покрытии поверхности растительностью остается только 20-30% видимой зеленой массы – остальное перемешано с почвой (Рис. 5, *е*). Не поврежденной корневая система сорной растительности осталась на 4-5 % площади. Производительность при этом составляет 133,33 м^2/ч.

Таким образом, в случае очистки дорожных покрытий можно утверждать, что обработка возможна без внесения изменений в конструкцию машины. Однако на данный момент единственный критерий оценки эффективности – это улучшение оттенка покрытия, т.е. визуальный метод.

Очистка объектов со сложным рельефом возможна имеющимся устройством образования струй, однако для достижения высокой степени эффективности очистки наряду с рабочей головкой необходима установка всасывающей головки, убирающей воду вместе с отбитой от поверхности пылью. Здесь эффективность можно оценивать по количеству не прочищенных впадин на единицу площади.

В случае очистки бордюрного камня также необходима дополнительная установка всасывающей головки и щеточного механизма для вычищения пространства в соединении бордюрного камня и дорожного покрытия.

В случае очистки дорожного покрытия от старой разметки круговое вращение сопел малоэффективно. Здесь целесообразно установить рабочую головку усовершенствованной конструкции с линейным расположением сопел с шагом не менее 18 мм, обеспечивающим к тому же наклон струй в 75 градусов по направлению к поверхности для создания водяного клина, отслаивающего покрытие. В данном случае эффективность оценивается в процентном отношении количества уделенного слоя покрытия к обрабатываемой площади.

а)

б)

в)

г) *д*) *е*)

Рисунок 5 - Результаты исследования работы МГВС на коммунальных работах: *а* – чистка дорожного покрытия; *б* – удаление старой дорожной разметки; *в* – удаление старой краски с бордюрного камня; *г* – рыхление, глубина проникновения 60 мм; *д* – рыхление, глубина проникновения 30 мм; *е* – рыхление, глубина проникновения 10 мм

Эффективность использования МГВС при очистке бордюрного камня от старой краски показалась низкоэффективной. Для увеличения эффективности необходимо применять пескоструйную насадку и, также, как и в предыдущем случае, использовать другую рабочую головку с линейным расположением струй. Эффективность такой работы возможно оценить также по проценту удаленного слоя краски.

Рыхление поддерживается штатными средствами машины. Однако выявлено сильное отклонение от заявленных характеристик влияние скорости движения на глубину рыхления. Эффективность в данном случае возможно оценить по процентному отношению видимой зеленой массы и уцелевшей корневой системы. Такую оценку проще всего провести непосредственными измерениями оставшихся растений с корневой системой, или используя графоаналитический метод, представленный на Рис. 6.

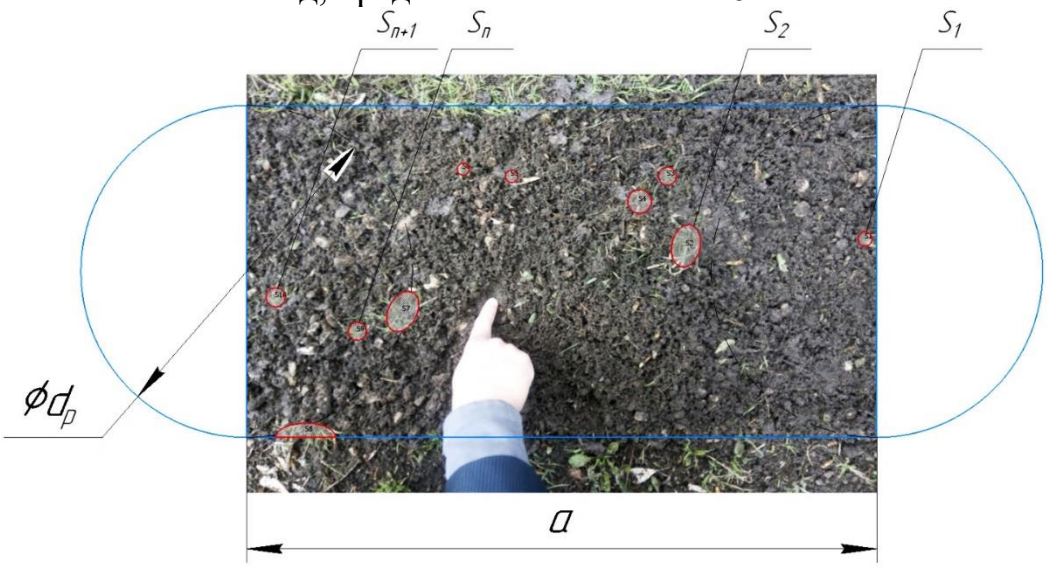


Рисунок 6 - Графоаналитический метод определения эффективности МГВС при рыхлении: *а* – длина выбранного участка; d_p –диаметр рабочей головки МГВС; S_1, S_2… S_n, S_{n+1} – соответственно выделенные площади, занимаемые сорными растениями с сохранившейся корневой системой

Соотношение обозначается коэффициентом эффективности $к_э$, который определяется из выражения:

$$к_э = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{S_{уч}}, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^{n} S_i = S_p$ – суммарная площадь отдельных участков обработанной поверхности с сохранившимися растениями и их корневой системой; $S_{уч} = ad_p$ – общая площадь обработанного участка.

Для расчета желательно выбрать произвольный участок обработанной поверхности, но не менее 1 м длиной (приблизительно три рабочих диаметра).

Для отдельных видов работ и различных относящимся к ним участкам результаты расчета сводятся в таблицу (Табл. 2).

В дальнейшем необходимо провести серию испытаний по оценки влияния величины коэффициента $к_э$ на появление повторной растительности, площади и скорости ее появления.

Таблица 2

Пример составления таблицы для оценки эффективности работы машины

№, п/п	Наименование вида работы	$S_р$, мм^2	$S_{уч}$, м^2	$к_э$
1	Рыхление придорожной почвы	0,0137	0,334	0,041
2	…	…	…	…
…	…	…	…	…
n	…	…	…	…

Проведенные исследования показали возможность увеличения сезонной загрузки машины для уничтожения сорной растительности за счет применения на коммунальных работах. Большая часть работ при этом связана с операциями по очистке различных поверхностей от видимого загрязнения, таких как асфальтовые и бетонные дороги, бордюрный камень и участки дорог со сложным искусственным рельефом. Работы по очистке дорожных объектов от лакокрасочных покрытий показали свою малую эффективность в штатной комплектации. Однако необходимо отметить, что выявлено значительное отклонение в работе машины от заявленных производителем характеристик, что требует их уточнения путем проведения дополнительных исследований.

Тем не менее, необходимо отметить, что любое из указанных применений по производительности ниже, чем у специализированных коммунальных машин, применяемых для аналогичного вида работ [10, 11].

Анализ проведенных исследований позволил сформулировать следующие выводы:

1. Рабочие органы машины не повреждают объекты хозяйственно-имущественного комплекса.
2. Испытания показали, что использование машины в штатной комплектации возможно на работах по очистке дорог (асфальтовых и бетонных) от грязи и пыли, в том числе поверхностей со сложным рельефом, работах по чистке бордюрного камня, работах по удалению старой разметки дорог и на работах по рыхлению придорожного пространства. При этом производительность при чистке дорог составила 217,39 м^2/ч. Наибольшая же производительность была

при чистке бордюрного камня – 2325,58 $м_п$/ч. Наименьшая производительность соответствует очистке дороги от старой разметки – 27,78 $м^2$/ч.

3. Для повышения эффективности работы машины на отдельных видах работ предлагается изготовление комплекта дополнительного оборудования и приспособлений к ней: всасывающей головки, щеточного механизма для работы в стыках, сменной рабочей головки с линейным расположением сопел, пескоструйной насадки на рабочую головку.

4. В качестве критерия эффективности работы машины на отдельных видах работы предлагается использовать коэффициент $к_э$, равный отношению суммарной площади отдельных участков обработанной поверхности к общей площади выбранного для оценки участка.

5. Зачастую необходимо снижение скорости движения машины с сохранением давления в системе подачи воды, что трудновыполнимо из-за жесткой связи оборотов ВОМ и двигателя трактора. В данном случае необходимо рассмотреть возможность комплектации тракторов полностью независимым ВОМ, частота вращения которого поддерживается постоянной на заданном уровне.

6. Требуется разработать технологию применения машины для уничтожения сорной растительности на коммунальных работах и описать рекомендации такого применения.

7. Важно выработать единые критерии эффективности работы узкоспециализированных маши на коммунальных работах и разработать методику оценки такой эффективности, в том числе и с целью дальнейшего совершенствования машин и приспособлений к ним.

8. Целесообразно разработать интеллектуальную систему повышения эффективности выполняемых операций, предоставляющую рекомендации по выбору оптимальных режимов работы и движения в зависимости от вида обрабатываемой поверхности и самой технологической операции.

9. Отдельное внимание следует уделить исследованию режущей способности МГВС применительно к различным видам сельскохозяйственных материалов, в т.ч. растительности, почв различных видов и свойств и пр.

Список литературы

1. Беспилотный робот для уничтожения сорной растительности. Патент на полезную модель № 169593 / А.Ю. Измайлов, И.Г. Смирнов, Д.О. Хорт и др. Опубликовано 23.03.2017. Бюл. № 9.

2. Совершенствование технологии и средств механизации для борьбы с сорной растительностью / М.М. Абдулгалимов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 5. – С. 38-42.

3. Климова Е.В. Результаты воздействия электрокультивации на лук и сорные растения [влияние электрического тока высокого напряжения на развитие растений] / Е.В. Климова // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 2006. – № 1. – С. 173.

4. Баев В.И. Варианты подведения электрической энергии к сорным растениям при электропрополке / В.И. Баев, И.В. Баев, П.В. Прокофьев // Электротехнологии, оптические излучения и электрооборудование в АПК. Материалы международной научно-практической

конференции, посвященной памяти ведущего электротехнолога России академика Ивана Федоровича Бородина (г. Волгоград, 27-29 сентября 2016 г.). - Волгоград, 2016. - С. 33-37.

5. Колинко П.В. Способы борьбы с сорняками при минимизации обработки почвы / П.В. Колинко, В.Е. Синещеков // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2014. – № 1. – С. 11-17.

6. Мамаева Г.Г. Применение огневой культивации, обработки горячим паром и мульчирования для борьбы с сорняками в яблоневых садах. (Словакия) / Г.Г. Мамаева // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 2000. – № 4. – С. 932.

7. Измайлов А.Ю. Перспективы механизации применения органических удобрений / А.Ю. Измайлов, Н.М. Марченко, Г.И. Личман // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 3. – С. 9-11.

8. Лобачевский Я.П. Ресурсосберегающий и экологически эффективный способ сохранения плодородия почвы в ротации севооборота / Я.П. Лобачевский, О.А. Сизов, Б.Х. Ахалая // 6-я международная научно-практическая конференция "Научно-инновационная деятельность в агропромышленном комплексе" (г. Минск, 11-12 июня 2014 г.). – Минск, 2014. – С. 174-179.

9. Functional tests towed weedkilling machine “Grass Killer” : Functional test report : / Consiglio Nazionale delle Ricerche (National Research Council) – Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra; Dr. E. Cavallo; R Delmastro; M. Delmastro – Ferrara, 2016. – 17 p. – No 2123 T.

10. Лепеш Г.В. Теоретические и методические основы повышения эффективности щеточных агрегатов коммунальных уборочных машин : монография / Г.В. Лепеш, А.Г. Лепеш. – СПб.: изд-во СПбГУСЭ, 2013. – 128 с.

11. Лепеш Г.В. К вопросу эффективности щеточных агрегатов коммунальной уборочной техники / Г.В. Лепеш, А.Г. Лепеш // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2013. – № 3 (25). – С. 43-47.

References

1. Bespilotnyj robot dlya unichtozheniya sornoj rastitel'nosti. Patent na poleznuyu model' [A patent for a useful model of an unmanned robot for the destruction of weeds.] No. 169593 / A.YU. Izmajlov, I.G. Smirnov, D.O. Hort i dr. Opublikovano 23.03.2017. Byul. No. 9.

2. Sovershenstvovanie tekhnologii i sredstv mekhanizacii dlya bor'by s sornoj rastitel'nost'yu [Improvement of technology and means of mechanization to combat weeds] / M.M. Abdulgalimov [i dr.] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. – 2017. – No. 5. – pp. 38-42.

3. Klimova E.V. Rezul'taty vozdejstviya ehlektrokul'tivacii na luk i sornye rasteniya [vliyanie ehlektricheskogo toka vysokogo napryazheniya na razvitie rastenij] / [vliyanie ehlektricheskogo toka vysokogo napryazheniya na razvitie rastenij] / E.V. Klimova // EHkologicheskaya bezopasnost' v APK. Referativnyj zhurnal. – 2006. – No. 1. – p. 173.

4. Baev V.I. Varianty podvedeniya ehlektricheskoj ehnergii k sornym rasteniyam pri ehlektropropolke [Variants of supplying electrical energy to weeds with electroplane] / V.I. Baev, I.V. Baev, P.V. Prokof'ev // EHlektrotekhnologii, opticheskie izlucheniya i ehlektrooborudovanie v APK. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati vedushchego ehlektrotekhnologa Rossii akademika Ivana Fedorovicha Borodina (g. Volgograd, 27-29 sentyabrya 2016 g.). - Volgograd, 2016. - pp. 33-37.

5. Kolinko P.V. Sposoby bor'by s sornyakami pri minimizacii obrabotki pochvy [Methods of weed control while minimizing tillage] / P.V. Kolinko, V.E. Sineshchekov // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2014. – No. 1. – pp. 11-17.

6. Mamaeva G.G. Primenenie ognevoj kul'tivacii, obrabotki goryachim parom i mul'chirovaniya dlya bor'by s sornyakami v yablonevyh sadah. (Slovakiya) [The use of fire cultivation, treatment with hot steam and mulching for weed control in apple orchards. (Slovakia)] / G.G. Mamaeva // EHkologicheskaya bezopasnost' v APK. Referativnyj zhurnal. – 2000. – No. 4. – p. 932.

7. Izmajlov A.YU. Perspektivy mekhanizacii primeneniya organicheskih udobrenij [Prospects for the mechanization of the use of organic fertilizers] / A.YU. Izmajlov, N.M. Marchenko, G.I. Lichman // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2010. – No. 3. – pp. 9-11.

8. Lobachevskij YA.P. Resursosberegayushchij i ehkologicheski ehffektivnyj sposob sohraneniya plodorodiya pochvy v rotacii sevooborota [Resource-saving and environmentally efficient way to preserve soil fertility in the rotation of crop rotation] / YA.P. Lobachevskij, O.A. Sizov, B.H. Ahalaya // 6-ya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Nauchno-innovacionnaya deyatel'nost' v agropromyshlennom komplekse" (g. Minsk, 11-12 iyunya 2014.). – Minsk, 2014. – pp. 174-179.

9. Functional tests towed weedkilling machine “Grass Killer” : Functional test report : / Consiglio Nazionale delle Ricerche (National Research Council) – Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra; Dr. E. Cavallo; R Delmastro; M. Delmastro – Ferrara, 2016. – 17 p. – No 2123 T.

10. Lepesh G.V. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy povysheniya ehffektivnosti shchetochnyh agregatov kommunal'nyh uborochnyh mashin : monografiya [Theoretical and methodological foundations of improving the efficiency of brush units of communal cleaning machines: a monograph] / G.V. Lepesh, A.G. Lepesh. – SPb.: izd-vo SPbGUSEH, 2013. – 128 p.

11. Lepesh G.V. K voprosu ehffektivnosti shchetochnyh agregatov kommunal'noj uborochnoj tekhniki [To the question of the effectiveness of the brush units of municipal cleaning equipment] / G.V. Lepesh, A.G. Lepesh // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. – 2013. – No. 3 (25). – pp. 43-47.

УДК 631.365.22

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ВЛАЖНЫХ СЕМЯН В ТОЛСТОМ СТАЦИОНАРНОМ СЛОЕ АКТИВНЫМ ВЕНТИЛИРОВАНИЕМ

THEORETICAL RESEARCH OF THE PROCESS OF COOLING WET SEEDS IN A THICK STATIONARY LAYER BY ACTIVE VENTILATION

***Р.А. КАЛИНИЧЕНКО**, к.т.н., доцент, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина, **С.П. СТЕПАНЕНКО**, к.т.н., старший научный сотрудник, **В.А. ШВИДЯ**, к.т.н., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», пгт. Глеваха, Украина*

***R.A. KALINICHENKO**, cand. tech. sci., Associate Professor, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Kiev, Ukraine, **S.P. STEPANENKO**, cand. tech. sci., Senior Researcher, **V.A. SHVIDYA**, cand. tech. sci., National Science Center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture", village. Glevaha, Ukraine*

***Аннотация**. Послеуборочная обработка зерна является важным этапом в производстве зерна, которая требует значительных энергозатрат, большая часть которых приходится на сушку. Одним из способов снижения энергозатрат при хранении и сушке зерна является активное вентилирование. На основе теории теплопроводности были составлена система дифференциальных уравнений, которая учитывает изменение влажности зерна и воздуха в зерновом слое в процессе активного вентилирования. Численное решение данной системы на примере зерна пшеницы показало убывание температуры зернового слоя по обратно экспоненциальному закону. Температура воздуха в зерновом слое повышается с увеличением его толщины. При малой толщине слоя наблюдаются колебания температуры воздуха в слое, которые убывают с повышением его толщины. Они обусловлены суточными колебаниями окружающего воздуха.*

***Ключевые слова**: зерно, слой, температура, дифференциальное уравнение, стационарный слой, активное вентилирование.*

***Abstract**. Postharvest processing of grain is an important stage in the production of grain, which requires considerable energy consumption, most of which is for drying. One way to reduce energy consumption during storage and drying of grain is active ventilation. On the basis of the theory of heat conductivity, a system of differential equations was compiled that takes into account the change in moisture content of grain and air in the grain layer during active ventilation. Numerical solution of this system on the example of wheat grain showed a decrease in the temperature of the grain layer by inverse exponential law. The air temperature in the grain layer increases with increasing thickness. With a small thickness of the layer, variations in the air temperature in the layer are observed, which decrease with increasing thickness. They are caused by daily fluctuations of the surrounding air.*

***Keywords**: grain, layer, temperature, differential equation, stationary layer, active ventilation.*

Послеуборочная обработка и хранение зерна является важным этапом в общем процессе производства зерна, которая требует значительных

энергозатрат, большая часть которых перепадает на сушку в некоторых случаях, до 50% от всех затрат на производство [1, 13].

Одним из путей решения проблемы энергоэффективности термической сушки и охлаждения зерна является активное вентилирование зерновых масс. Активное вентилирование — это принудительное продувание атмосферным или подогретым воздухом зерновой массы, находящейся в неподвижном, плотном слое, толщина слоя, как правило, от 0,5 до 2 м.

В зависимости от параметров подаваемого воздуха применение активного вентилирования в процессе обработки и хранения зерна позволяет [2]:

- подсушить зерно, ускорить процесс его послеуборочной созревания, повысить энергию прорастания и всхожесть, улучшить хлебопекарные свойства;
- охладить зерно до температуры обеспечивающий длительное количественное и качественное хранение;
- выровнять температуру зерновой насыпи для предотвращения и ликвидации очагов самосогревания;
- удалить застоявшийся воздух в зерновой массе, создать условия неблагоприятны для развития вредителей хлебных запасов и микроорганизмов;
- исключить необходимость перемещения зерновых партий, сводит к минимуму травмирования и потери сухой массы.

Для того, чтобы с учетом заданных условий выбрать эффективную схему проведения процесса термообработки активным вентилированием, необходимо учитывать режимные параметры воздуха, нагнетаемого в зерновую массу (температуру, влагосодержание, удельные расходы).

Известные решения теплообмена в слое дисперсных материалов либо не учитывают влияния влагообмена на теплообмен [3], либо требуют дополнительного решения сложной вспомогательной задачи [4]. Имеющиеся в литературе рекомендации [5-8] по использованию активного вентилирования для различных видов термообработки зерна носят общий характер и для каждого конкретного случая режимные параметры работы установок для активного вентилирования нужно уточнять. Поэтому актуальны теоретические исследования температурных полей толстого слоя влажных семян с учётом изменения влажности при активном вентилировании.

Целью исследований является расчёт температурных полей слоя влажных семян при активном вентилировании с учётом изменения влажности зерна и воздуха в зерновом слое.

Для расчёта температурных полей толстого слоя влажных семян активным вентилированием были использованы уравнения теории теплопроводности [9], которые решались численным методом на основе программной среды Wolfram Mathematica 10.0 [10].

Для расчёта температурных полей слоя влажного зерна использовав теорию теплопроводности, приняли следующую физическую модель процесса. Расположенный на решётке слой зерна толщиной h, характеризующийся начальными значениями температуры θ_0 и влажности w, продувается воздухом температурой t_0 и влагосодержанием d_0 (относительной влажностью φ_0) с постоянной по сечению скоростью υ, неизменными в течении цикла обработки.

Для упрощения анализа приняли, что теплофизические свойства зерна и воздуха не зависят от температуры, перенос тепла за счёт теплопроводности пренебрежительно мал и осуществляется конвективно, существенного изменения влажности зерна не происходит, тепловые потери в окружающую среду, а также градиенты температуры и влаги в отдельных зёрнах отсутствуют.

Принятой физической модели соответствует следующая математическая постановка задачи [11].

В области переменных $0 < x \leq h$ и $0 < \tau < \infty$ найти решение системы:

$$\begin{cases} \frac{\alpha S_v}{c_3 \rho_3}(t-\theta) = \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\beta S_v r}{c_3 \rho_3}(P_3 - P_B) \\ \frac{\partial d}{\partial \tau} + \upsilon \frac{\partial d}{\partial x} = \frac{\beta S_v}{\rho_B \varepsilon}(P_3 - P_B) \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} + \upsilon \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\alpha S_v}{c_B \rho_B \varepsilon}(t-\theta) \end{cases}, \quad (1)$$

при граничных и начальных условиях:

$$t(\tau, 0) = t_0; \qquad d(\tau, 0) = d_0; \qquad \theta(0, x) = \theta_0, \quad (2)$$

где α — коэффициент теплопередачи, Вт/м^2·°С;

S_v — удельная площадь поверхности слоя семян, м$^{-1}$;

$c_З$, $c_В$— удельная теплоёмкость зерна и воздуха, кДж/кг °С;

$\rho_З$ — насыпная плотность зерна, кг/м^3;

$\rho_В$ — плотность воздуха, кг/м^3;

ε — пористость слоя семян;

β — коэффициент испарения влаги, кг/м^2·с·Па;

r — удельная теплота парообразования, кДж/кг;

$P_В$, $P_З$ — парциальное давление водяного пара в воздухе и у поверхности зерна, Па;

d — влагосодержание воздуха, кг/кг,

τ — время охлаждения, ч.

Начальное влагосодержание d_0 воздуха, которым продувают зерновую массу зависит от его температуры t и относительной влажности φ. Величина d_0 может быть рассчитана из соотношения [12]:

$$d_0 = 622 \frac{\varphi \cdot P_n(t)}{755 - \varphi \cdot P_n(t)}, \quad (3)$$

где $P_н(t)$ – упругость водяного пара в состоянии насыщения при температуре t.

Величину $P_н(t)$ можно определить с эмпирического соотношения [12]:

$$P_n(t) = 10^{0.622 + \frac{7.5t}{238+t}}. \quad (4)$$

За сутки температура и относительная влажность атмосферного воздуха изменяется по периодическому закону:

$$t = t_0 + t_m \cdot \cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau + \tau_0)\right], \quad (5)$$

$$\varphi = \varphi_0 - \varphi_m \cdot \cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau + \tau_0)\right], \quad (6)$$

где t_0, φ_0 — средние температура и относительная влажность атмосферного воздуха, °С и % соответственно;

$t_m = \frac{t_{max} - t_{min}}{2}$, $\varphi_m = \frac{\varphi_{max} - \varphi_{min}}{2}$ — амплитуды колебаний температуры и относительной влажности воздуха, °С и % соответственно;

t_{max}, t_{min}, φ_{max}, φ_{min} — максимальные и минимальные значения температур и влажности воздуха за сутки, °С и % соответственно;

τ_0 – сдвиг во времени момента начала вентилирования насыпи с момента суточного максимума температуры воздуха (минимума относительной влажности), ч.

Тогда начальные и граничные условия (2) примут вид с учётом суточных периодических изменений параметров атмосферного воздуха (5) – (6).

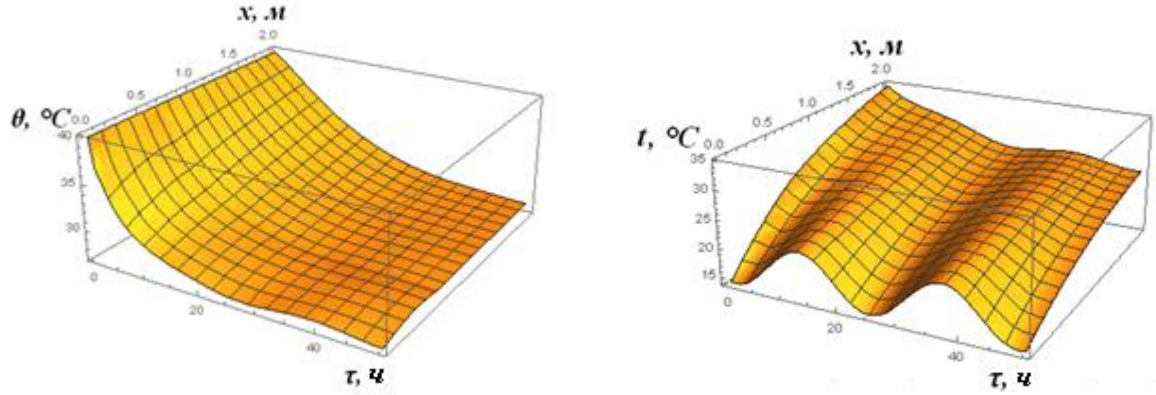
Для численного решения системы (1) - (3), (11) в математическом пакете Mathematica, определим краевые условия с учетом суточных периодических изменений параметров (5) - (8) атмосферного воздуха:

$$\theta(0,x) = \theta_0, t(\tau,0) = t_0 + t_m \cdot \cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau+\tau_0)\right],$$

$$d(\tau,0) = \frac{622\cdot\left(\varphi_0-\varphi_m\cdot\cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau+\tau_0)\right]\right)\cdot 10^{0.622+\frac{7.5\left(t_0+t_m\cdot\cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau+\tau_0)\right]\right)}{238+\left(t_0+t_m\cdot\cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau+\tau_0)\right]\right)}}}{745-\left(\varphi_0-\varphi_m\cdot\cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau+\tau_0)\right]\right)\cdot 10^{0.622+\frac{7.5\left(t_0+t_m\cdot\cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau+\tau_0)\right]\right)}{238+\left(t_0+t_m\cdot\cos\left[\frac{\pi}{12}(\tau+\tau_0)\right]\right)}}}. \quad (7)$$

Для анализа системы дифференциальных уравнений (4) с изменяющимися начальными условиями (7) были получены её решение в виде графических зависимостей температуры зерна кукурузы θ (а) и температуры воздуха в слое t (б) от времени охлаждения τ и толщины слоя x (Рис.1) в программной среде Wolfram Mathematica 10.0 [10].

Интегрирование системы дифференциальных уравнений (4) происходило при таких параметрах (S_υ = 0.807 м$^{-1}$; ρ_3 = 730 кг/м^3; c_3 = 1,75 кДж/кг °С; ω = 0,4) в пределах $0 < x \leq 2$ *м* и $0 < \tau < 50$ *ч*.



а б

Рисунок 1 - Изменение температуры зерна пшеницы θ (а) и температуры воздуха в слое t (б) от времени τ и толщины слоя x

Поверхности, показанные на рис. 1, свидетельствуют о нелинейном убывании температуры зерна со временем, а также повышении температуры воздуха в зерновом слое с увеличением его толщины. При малой толщине слоя наблюдаются колебания температуры воздуха в слое, которые убывают с повышением толщины зернового слоя. Данные колебания температуры воздуха

в зерновом слое связаны с суточными колебаниями температуры окружающего воздуха.

Теоретические исследования процесса охлаждения влажных семян в толстом стационарном слое активным вентилированием на основе дифференциальных уравнений теплопроводности с переменными начальными условиями показали, что температура зернового слоя убывает со временем по обратно экспоненциальному закону, причём скорость охлаждения зерна уменьшается с повышением толщины слоя. Температура воздуха в зерновом слое повышается с увеличением его толщины. При малой толщине слоя наблюдаются колебания температуры воздуха в слое, которые убывают с повышением его толщины, вследствие суточных колебаний температуры окружающего воздуха.

Список литературы

1. Станкевич Г.Н. Проблеми сушіння – проблеми міжнародні / Г.Н. Станкевич // Зернові продукти і комбікорми. №2. 2002. 5-7с.
2. Дринча В. М. Основные концептуальные положения активного вентилирования зерна / В.М.Дринча, Б.Д.Цыдендоржиев // Энергосбережение в АПК. – Вестник ОрелГАУ №1(22), 2010. – С.35–38.
3. Мастрюков Б.С. Теплофизика металлургических процессов / Б.С. Мастрюков, Учебник для вузов. — М.: МИСИС, 1996. — 268 с.: ил.
4. Рабинович Г.Д. Тепло- и массообмен в слое влажного материала. / Г.Д. Рабинович // ИМ, I960, т.З, № II, С.59-63.
5. Курганський О.Д. Аналіз способів охолодження зернового матеріалу / О.Д.Курганський, Б.І.Котов // Техніка, енергетика, транспорт АПК. –Вінниця, 2016. –№2(94). С.32-36.
6. Монографія. / Котов Б.І., Калініченко Р.А., Степаненко С.П., Швидя В.О., Лісецький В.О. Моделювання технологічних процесів в типових об’єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (сепарація, сушіння, активне вентилювання, охолодження) – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М. 2017 — 552 с.: іл.
7. Дёмин А.В. Методические рекомендации по математическому моделированию процесса сушки и охлаждения зерна в установках плотного слоя / А.В.Дёмин, Ю.В.Есаков, И.Э. Мильман и др. - М.: ВИЭСХ, 1977. - 42с.
8. 8. Анискин В.И. Моделирование процесса низкотемпературной сушки зерна в слое с помощью ЭВМ / В.И. Анискин, Г.С. Окунь, И.И. Верцман. - // В сб. науч. тр. -М.: ВИМ, 1988, №115, с. 25-29.
9. Солодов А.П. Электронный курс «Тепломассообмен в энергетических установках: инженерные методы расчета»: учебное пособие по курсам «Тепломассообмен», «Тепломассообмен в оборудовании АЭС». Москва, 2015. 124 с.
10. Морозов А. А. Программирование задач численного анализа в системе Mathematica: Учеб. пособие / А.А. Морозов, Таранчук В.Б.- Мн.: БГПУ, 2005. — 145 с.
11. Поплевин О. П. Обоснование параметров холодильной машины для временной консервации влажных семян зерновых культур: автореф. дисс … канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / Поплевин О. П.; ВИМ. - М., – 1984. – 18 с.
12. Ковбаса В.П. Моделювання тепломасообмінних процесів у товстому шарі дисперсного матеріалу при змінних параметрах повітря / В.П. Ковбаса, Р.А. Калініченко, О.Д. Курганський. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і

природокористування України. Серія: «Техніка та енергетика АПК», – Київ, 2016. – Вип. 252 – С.136-143.

13. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. № 1. С. 2-9.

References

1. Stankevich G.N. Problemi sushinnya – problemi mizhnarodni [Drying problems are international problems] / G.N. Stankevich // Zernovi produkti i kombikormi [Cereal products and feed]. No. 2. 2002. 5-7p.

2. Drincha V. M. Osnovnye konceptual'nye polozheniya aktivnogo ventilirovaniya zerna [Basic conceptual provisions for active grain ventilation] / V.M.Drincha, B.D.Cydendorzhiev // EHnergosberezhenie v APK. – Vestnik OrelGAU No.1(22), 2010. – p.35–38.

3. Mastryukov B.S. Teplofizika metallurgicheskih processov [Thermal physics of metallurgical processes] / B.S. Mastryukov, Uchebnik dlya vuzov. — M.: MISIS, 1996. — 268 p.: il.

4. Rabinovich G.D. Teplo- i massoobmen v sloe vlazhnogo materiala [Heat and mass transfer in a layer of wet material]. / G.D. Rabinovich // IM, I960, t.Z, No. II, pp.59-63.

5. Kurgans'kij O.D. Analiz sposobiv oholodzhennya zernovogo materialu [Analysis of methods for cooling grain material] / O.D.Kurgans'kij, B.I.Kotov // Tekhnika, energetika, transport APK [Engineering, power engineering, transport of agroindustrial complexes]. –Vinnicya, 2016. – No.2(94). pp.32-36.

6. Monografiya. / Kotov B.I., Kalinichenko R.A., Stepanenko S.P., SHvidya V.O., Lisec'kij V.O. Modelyuvannya tekhnologichnih procesiv v tipovih ob’єktah pislyazbiral'noї obrobki i zberigannya zerna (separaciya, sushinnya, aktivne ventilyuvannya, oholodzhennya) [Modeling of technological processes in typical objects of post-harvest processing and storage of grain (separation, drying, active ventilation, cooling)] – Nizhin: Vidavec' PP Lisenko M.M. 2017 — 552 p.: il.

7. Dyomin A.V. Metodicheskie rekomendacii po matematicheskomu modelirovaniyu processa sushki i ohlazhdeniya zerna v ustanovkah plotnogo sloya [Guidelines for mathematical modeling of the process of drying and cooling of grain in installations of a dense layer] / A.V.Dyomin, YU.V.Esakov, I.EH. Mil'man i dr. - M.: VIEHSKH, 1977. – 42 p.

8. 8. Aniskin V.I. Modelirovanie processa nizkotemperaturnoj sushki zerna v sloe s pomoshch'yu EHVM [Simulation of the process of low-temperature drying of grain in a layer using a computer] / V.I. Aniskin, G.S. Okun', I.I. Vercman. - // V sb. nauch. tr. -M.: VIM, 1988, No.115, pp. 25-29.

9. Solodov A.P. EHlektronnyj kurs «Teplomassoobmen v ehnergeticheskih ustanovkah: inzhenernye metody rascheta»: uchebnoe posobie po kursam «Teplomassoobmen», «Teplomassoobmen v oborudovanii AEHS». Moskva, [Electronic course "Heat and Mass Transfer in Power Plants: Engineering Calculation Methods": textbook on the courses "Heat and Mass Transfer", "Heat and Mass Transfer in NPP Equipment". Moscow] 2015. 124 p.

10. Morozov A. A. Programmirovanie zadach chislennogo analiza v sisteme Mathematica: Ucheb. Posobie [Programming of problems of numerical analysis in the system Mathematica: Tutorial] / A.A. Morozov, Taranchuk V.B.- Mn.: BGPU, 2005. — 145 p.

11. Poplevin O. P. Obosnovanie parametrov holodil'noj mashiny dlya vremennoj konservacii vlazhnyh semyan zernovyh kul'tur [Substantiation of the parameters of the refrigeration machine for the temporary preservation of wet seeds of grain crops]: avtoref. diss … kand. tekhn. nauk: spec. 05.20.01 «Mekhanizaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva» / Poplevin O. P.; VIM. - M., – 1984. – 18 p.

12. Kovbasa V.P. Modelyuvannya teplomasoobminnih procesiv u tovstomu shari dispersnogo materialu pri zminnih parametrah povitrya [Modeling of heat and mass transfer processes in a thick layer of disperse material with variable air parameters] / V.P. Kovbasa, R.A. Kalinichenko,

O.D. Kurgans'kij. // Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraïni. Seriya: «Tekhnika ta energetika APK», – Kiïv, 2016. – Vip. 252 – pp.136-143.

13. Lachuga YU.F., Izmajlov A.YU., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoehffektivnyh, resurso- i ehnergosberegayushchih tekhnologij i tekhnicheskih sredstv posleuborochnoj obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of high-performance, resource- and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2009. № 1. S. 2-9.

УДК 636.084.7

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

IMPROVING THE RELIABILITY OF FEED PREPARATION EQUIPMENT IN ANIMAL HUSBANDRY

***А. В. БРУСЕНКОВ**, доцент, кандидат технических наук, **В. П. КАПУСТИН**, профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия*

***A. V. BRUSENKOV**, associate Professor, candidate of technical Sciences, **V. P. KAPUSTIN**, Professor, doctor of technical Sciences, FSBEI "Tambov state technical University", Tambov, Russia*

***Аннотация**. Машины и оборудование для приготовления и раздачи кормов работают в течение суток периодически. Простой машин на фермах – это не только прямые убытки от затрат на их приобретение, но и убытки от снижения производительности труда и продуктивности животных. Поэтому постоянная готовность машин на фермах и бесперебойная их работа являются основным условием эффективного использования техники в животноводстве. В процессе эксплуатации машин и оборудования их работоспособность снижается главным образом из-за износов и разрушений отдельных деталей или их поверхностных слоев, вследствие чего уменьшается как производительность, так и их надёжность. Чтобы повысить надёжность работы машин на фермах, добиться бесперебойного их использования, необходимо через установленное время, в полном объёме и качественно проводить ежедневные, периодические, а для некоторых машин и сезонные технические обслуживания. Поэтому обслуживающий персонал животноводческих ферм и комплексов должен знать возможные причины возникновения неисправностей и способы их устранения.*

***Ключевые слова**: животноводство, кормоприготовительное оборудование, надёжность машин и оборудования, техническое обслуживание, диагностика.*

***Abstract**. Machines and equipment for the preparation and distribution of feed work during the day periodically. Simple machines on farms are not only direct losses from the cost of purchasing them, but also losses from reducing labor productivity and animal productivity. Therefore, the constant readiness of machines on farms and their uninterrupted operation are the main condition for the effective use of technology in animal husbandry. During the operation of machines and equipment, their performance is reduced mainly due to the deterioration and destruction of individual parts or their surface layers, thereby reducing both performance and reliability. In order to improve the reliability of machines on farms, to achieve their uninterrupted use, it is necessary after a set time, to fully and efficiently carry out daily, periodic, and for some machines and seasonal maintenance. Therefore, the operating personnel of livestock farms and complexes should know the possible causes of malfunctions and ways of their elimination.*

***Keywords**: animal husbandry, feed-processing equipment, reliability of machines and equipment, maintenance, diagnostics.*

Цель исследования. Как показывает опыт развитых стран, конкурентоспособность продукции обеспечивается интенсификацией производства за счёт внедрения инновационных технологий, принципиально

новой техники и технико-технологического перевооружения отрасли. В сложившихся условиях одной из важнейших научно-технических проблем является разработка системы и формирование рынка технологий и машин для механизации и автоматизации технологических процессов в животноводстве и их технического диагностирования, что в конечном счёте позволит обеспечить конкурентоспособность отечественного продовольствия на мировом рынке и удовлетворить спрос на продукты питания на внутреннем рынке.

Результаты и обсуждение. Из-за низкой технической оснащённости ферм и комплексов животноводство нашей страны испытывает потребность в новых высокопроизводительных машинах, позволяющих реализовывать на практике передовые технологии производства животноводческой продукции. В связи с низким конструктивно-технологическим качеством отечественных машин и оборудования, отсутствием заводов по их изготовлению, на животноводческих фермах и комплексах России появляется всё большее количество зарубежной техники, которая даёт возможность сократить затраты труда и времени на производство животноводческой продукции, обеспечить высокое качество и организацию труда на предприятиях отрасли.

В структуре издержек производства продукции животноводства удельный вес затрат на поддержание техники в работоспособном состоянии в зависимости от уровня износа составляет 5…12% [1]. Это связано не только со старением используемого парка машин и оборудования, но и усложнением конструкций техники, ужесточением требований к надёжности и работоспособности, увеличением номенклатуры автоматизированной техники. Более 70 % парка техники в животноводстве используется сверх амортизационного срока – в своём большинстве оно оснащено образцами морально устаревшей и физически изношенных машин, и оборудования, что не только приводит к росту затрат на её поддержание в работоспособном состоянии, но и препятствует совершенствованию технологии производства продукции, содержания и кормления животных. В отрасли имеется только 4 % технологического оборудования, которое отвечает современным требованиям, а затраты на поддержание машин в работоспособном состоянии составляют порядка 20 млрд. рублей в год [2, 3, 4]. Основными причинами высоких издержек на проведение фирменного технического обслуживания кормоприготовительных машин и оборудования являются высокий уровень оплаты труда работников дилерских центров; высокие цены на запасные части, ремонтные материалы и моечные средства; отсутствие конкуренции на проведение ремонтно-обслуживающих операций, позволяющих фирмам устанавливать монопольно высокие цены. Кроме того, часть работ по техническому обслуживанию, ремонту и особенно диагностике не выполняется из-за отсутствия специализированного оборудования и инструмента, а также ввиду отсутствия в хозяйствах квалифицированных специалистов и производственной базы [5]. Как показали исследования, не менее 95% работ по техническому обслуживанию и ремонту в настоящее время выполняются специалистами хозяйства, до 2% – силами районного звена и до

3% – гарантийной службой, что объясняется уменьшением численности поголовья животных и цен на сельхозпродукцию и увеличением их на выполнение услуг по обслуживанию машин и оборудования ферм [3,6]. Поэтому первостепенное значение в удешевлении себестоимости продукции имеет снижение затрат труда и ресурсов на техническое обслуживание кормоприготовительных машин в животноводстве на основе повышения их качества и надёжности [1].

Предусмотренные системой машин и технологиями технические средства для животноводства – машины, оборудование, технологическое комплексы, поточные линии, могут эффективно функционировать только при наличии соответствующей инженерно-технической службы, включающей квалифицированные кадры и оборудование, инструмент, запчасти, инфраструктуру пунктов, станций и предприятий для технического сервиса. Для организации эффективной системы сервиса важно знать причины отказа оборудования.

Ежегодно на машиноиспытательных станциях (МИС) страны с целью контроля показателей качества и надежности серийно выпускаемых машин и оборудования для животноводства проводятся их периодические испытания и обследования в реальных условиях эксплуатации [7]. В 2010 г. на всех МИС страны испытано и обследовано 109 единиц техники для животноводства, на основании чего было установлено, что надёжность машин для раздачи кормов отечественного производства ниже, чем импортного. На момент обследования отказы выявлены у 67% машин отечественного производства и только у 3% машин – зарубежного. Кроме того, машины для раздачи кормов отечественного производства, при поступлении в хозяйства, имеют большее количество несоответствий техническим условиям (ТУ) на поставку продукции, чем импортные (67 и 2% соответственно). Все обследованные 12 единиц техники для приготовления кормов отечественного и зарубежного производства имеют высокую надёжность. Исключение составляет измельчитель рулонов ИРК-145 производства «Бобруйск-агромаш» (Республика Беларусь), при наработке 14 часов у которого выявлено 2 отказа [7].

Из 89 испытанных и обследованных в 2011 г. машин для механизации животноводческих ферм у 7 (8%) выявлены нарушения при заполнении технической документации (не заполнены паспорта), 2 машины не укомплектованы запасными частями, инструментами и приспособлениями (ЗИПом), 85 единиц техники соответствуют нормативу наработки на отказ или не имеют отказов при наработке меньше норматива определения показателей надёжности. На момент обследования были выявлены отказы у 5 машин для раздачи кормов (23%) и 3 машин для приготовления кормов (50%) отечественного производства и 2 машин (17%) для приготовления кормов зарубежного производства [7].

Из 107 испытанных и обследованных в 2012 г. машин для механизации животноводческих ферм у 5 (4,7%) выявлены нарушения при заполнении технической документации, 5 машин не укомплектованы ЗИПом, у 9 отечественных машин выявлено некачественное лакокрасочное покрытие, у 10

отсутствуют фирменные таблички. Установлено, что 105 машин соответствуют нормативу наработки на отказ или не имеют отказов при наработке меньше норматива определения показателей надёжности. На момент обследования были выявлены отказы у 10 машин для раздачи кормов (62%) и 5 машин для приготовления кормов отечественного производства [7].

Из 127 испытанных и обследованных в 2013 г. машин для механизации животноводческих ферм при проведении технической экспертизы выявлено, что у 4 машин техническая документация оформлена с нарушениями; 7 – не укомплектованы ЗИПом; 4 – имеют некачественное лакокрасочное покрытие; у 12 – отсутствуют фирменные таблички; у 3 – выявлены отказы [7].

По группам машин при эксплуатации отказы выявлены у 2 машин для приготовления кормов (33%) (одной отечественного производства и одной – зарубежного) и 31 машины для раздачи кормов (46%), из них у 8 единиц техники зарубежного производства. Оборудование отечественного производства и зарубежных фирм при поступлении в хозяйства не имеют замечаний по ТУ на поставку продукции. В целом анализ результатов периодических испытаний и обследований машин в условиях реальной эксплуатации показал, что в последние годы наметилась тенденция на улучшение показателей качества техники для животноводства отечественного производства.

Сотрудниками ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии было проведено исследование животноводческих предприятий России [5,8,9]. Мониторинг отказов и видов износов отечественного и зарубежного оборудования животноводческих ферм проводился на территории 31 субъекта Российской Федерации на 353 сельскохозяйственных, в том числе на 52 свиноводческих и на 301 скотоводческом предприятиях. На момент исследований соотношение отказов по элементам системы кормления составляло для: кормохраниилщ – 9%, линий кормоприготовления и кормораздачи 12% и 79 % соответственно.

По данным анкетирования, в кормоцехах российских сельхозпроизводителей в основном установлено оборудование для производства комбикормов и зернодробилки, у которых, как правило, выходят из строя движущиеся и трущиеся детали и узлы. Это измельчающий аппарат мельниц, ударные роторы, валы шнека и редукторов. Характер износа – механический, чаще всего от интенсивной эксплуатации и попадания посторонних предметов (камней и другие) в рабочие органы оборудования [9].

Большинство крупных скотоводческих предприятий готовят кормовую смесь с использованием миксеров-кормораздатчиков, в том числе с использованием импортного оборудования: SILOKING, Jeantll, Seko, DeLaval, BvL, кормораздатчиков Белорусского производства (серии «Хозяин»). В смесителях-кормораздатчиках большинство отказов приходиться на приводные звездочки, цепи приводных валов, шнеки (в том числе перемешивающие), выгрузные транспортеры-шестерни, ножи, а также редукторы. Характер износа, как правило, механический вследствие интенсивной эксплуатации и попадания в смеситель посторонних предметов (физические деформации). В зависимости от сложности ремонт осуществляется собственными силами либо с привлечением сторонних

специалистов, что характерно для импортного, технически сложного оборудования [8,9].

Вышедшее из строя электрическое оборудование (электродвигатели, мотор-редукторы и другие) ремонтируются либо заменяются на новые. В объём ремонта электродвигателей входит выполнение таких несложных работ, как устранение биения валов, смена подшипников, замена и проточка контактных колец, мелкие слесарные работы и окраска, а более сложные – полная или частичная замена обмоток статора или ротора в результате межвиткового замыкания, замыкание на корпус или между фазами, обрыв проводов, повреждение изоляции, а также незначительные повреждения корпуса, обрыв бандажей, повреждение контактных колец и тому подобное подлежат ремонту на специализированных предприятиях [8,9].

Кроме того, при эксплуатации машин ослабевают крепления сборочных единиц и деталей, изнашиваются поверхности трения и давления различных соединений и рабочие органы, засоряется и вытекает смазка, уменьшается непроницаемость различных уплотнений и другие. Если своевременно не обнаружить и не устранить неисправности, то оборудование преждевременно выходит из строя.

Выводы. Проведённый анализ причин отказов, износов устройств машин и оборудования животноводческих ферм показывает, что в них применяются, как правило, стандартные и унифицированные изделия, являющиеся наиболее ответственными конструктивными элементами машин, оборудования или составными частями технологических линий, от технического состояния которых зависит надежность функционирования применяемых средств механизации в животноводстве. В процессе эксплуатации указанные детали и узлы имеют примерно одинаковые повреждения, износные и регулировочные характеристики, причины отказов, что, в свою очередь, даёт возможность унифицировать технологии выполнения операций технического обслуживания и ремонта, применять однотипные инструменты, приборы и оснастку. Основными причинами износа деталей и узлов животноводческого оборудования являются: влажность; температурные изменения; присутствие в воздухе углекислоты, аммиака; механическое воздействие; запыленность; высокая загрузка оборудования и короткие промежутки технологических перерывов. Как показывают исследования, по причине коррозии изнашивается 65% технологического оборудования в скотоводстве и до 80% – в свиноводстве. В большинстве случаев ремонт технологического оборудования осуществляется собственными силами работников предприятия путем замены деталей или агрегатов, вышедших из строя. Поэтому, чтобы увеличить срок службы составных частей агрегатов, необходимо систематически контролировать их технические параметры, выяснять причины возникновения неисправностей и своевременно их устранять, что невозможно без организации и внедрения системы современного технического сервиса, с помощью которого можно достичь повышения уровня технической готовности, снизить годовые затраты на ремонт и техобслуживание, а также продлить срок службы технологического

оборудования.

Список литературы

1. Цой, Л.М. Современные проблемы технического сервиса в животноводстве. – Вестник ВНИИМЖ, 2015 – №1(17). – С. 21-26.

2. Скоркин, В.К. Инновационные технологии и технические средства для производства конкурентоспособной продукции. – Вестник ВНИИМЖ, 2016. – №2(22). – С. 110-117.

3. Брусенков, А.В. Анализ состояния технического обеспечения животноводческих ферм и комплексов / А.В. Брусенков, В.П. Капустин // Наука в Центральной России, 2017. – №3(27). – С.5-10.

4. Брусенков, А.В. Эксплуатация машин и оборудования для приготовления и раздачи кормов в животноводстве / А.В. Брусенков, А.С. Пилягин // Теоретические и практические аспекты развития науки и образования в современном мире: материалы Международной научно-практической конференции [электронный ресурс]. – Научно-издательский центр «Мир науки», 2017. – С.50-57.

5. Черноиванов, В.И. Технический сервис технологического оборудования животноводческих ферм и комплексов как условие повышения эффективности отраслей животноводства / В.И. Черноиванов, А.Г. Елисеев. – Вестник ВНИИМЖ, 2013 – №2(10). – С. 35-42.

6. Конаков, М.И. Совершенствование сферы услуг для малых предприятий мясомолочного подкомплекса животноводства. – Вестник ТГУ, 2006. – том 11. – выпуск 3 – С.402-407.

7. Мишуров, Н.П. Качество машин для животноводства по результатам периодических испытаний / Н.П. Мишуров, М.Н. Хлепитько // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы VII Международной научно-практической конференции. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – С. 279-283.

8. Елисеев, А.Г. Что и почему ломается на животноводческих фермах / Аграрное обозрение, 2012. – №6(34). – С.44-50

9. Соловьёв, С.А. Технический сервис машин и оборудования в животноводстве / С.А. Соловьёв, С.А. Горячев. – Вестник ВНИИМЖ, 2016 – №2(22). – С. 49-52.

References

1. Coj, L.M. Sovremennye problemy tekhnicheskogo servisa v zhivotnovodstve. [Modern problems of technical service in animal husbandry] – Vestnik VNIIMZH, 2015 – No.1(17). – pp. 21-26.

2. Skorkin, V.K. Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya proizvodstva konkurentosposobnoj produkcii [Innovative technologies and technical means for the production of competitive products]. – Vestnik VNIIMZH, 2016. – No.2(22). – pp. 110-117.

3. Brusenkov, A.V. Analiz sostoyaniya tekhnicheskogo obespecheniya zhivotnovodcheskih ferm i kompleksov [Analysis of the state of technical support of livestock farms and complexes] / A.V. Brusenkov, V.P. Kapustin // Nauka v Central'noj Rossii, 2017. – No.3(27). – pp.5-10.

4. Brusenkov, A.V. EHkspluataciya mashin i oborudovaniya dlya prigotovleniya i razdachi kormov v zhivotnovodstve [Operation of machinery and equipment for the preparation and distribution of feed in livestock] / A.V. Brusenkov, A.S. Pilyagin // Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v sovremennom mire: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Theoretical and practical aspects of the development of science and education in the modern world: materials of the International Scientific and Practical Conference]. – Nauchno-izdatel'skij centr «Mir nauki», 2017. – pp.50-57.

5. CHernoivanov, V.I. Tekhnicheskij servis tekhnologicheskogo oborudovaniya

zhivotnovodcheskih ferm i kompleksov kak uslovie povysheniya ehffektivnosti otraslej zhivotnovodstva [Technical service of technological equipment of livestock farms and complexes as a condition for improving the efficiency of livestock industries] / V.I. CHernoivanov, A.G. Eliseev. – Vestnik VNIIMZH, 2013 – No.2(10). – pp. 35-42.

6. Konakov, M.I. Sovershenstvovanie sfery uslug dlya malyh predpriyatij myasomolochnogo podkompleksa zhivotnovodstva [Improving the service sector for small enterprises in the meat and dairy subcomplex of animal husbandry]. – Vestnik TGU, 2006. – tom 11. – vypusk 3 – pp.402-407.

7. Mishurov, N.P. Kachestvo mashin dlya zhivotnovodstva po rezul'tatam periodicheskih ispytanij [The quality of machinery for animal husbandry according to the results of periodic tests] / N.P. Mishurov, M.N. Hlepit'ko // Nauchno-informacionnoe obespechenie innovacionnogo razvitiya APK: materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Scientific and informational support of innovative development of the agro-industrial sector: materials of the VII International Scientific and Practical Conference]. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2014. – pp. 279-283.

8. Eliseev, A.G. CHto i pochemu lomaetsya na zhivotnovodcheskih fermah [What and why breaks down on livestock farms] / Agrarnoe obozrenie [Agricultural Review], 2012. – No.6(34). – pp.44-50

9. Solov'yov, S.A. Tekhnicheskij servis mashin i oborudovaniya v zhivotnovodstve [Technical service of machinery and equipment in animal husbandry] / S.A. Solov'yov, S.A. Goryachev. – Vestnik VNIIMZH, 2016 – No.2(22). – pp. 49-52.

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМУЛЬГИРОВАННОГО ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА НАГАРООТЛОЖЕНИЯ

EFFECT OF THE PROCESS OF EMULSIFIED FUEL IN DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON CARBON DEPOSITS

А.С. ДОРОХОВ, *д-р техн. наук, чл.-корр. РАН, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва,*
Ю.В. КАТАЕВ, *канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия*

A.S. DOROHOV*, Dr. tech Sciences, cor. member. RAS, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow,* ***YU.V. KATAEV****, cand. tech. sci., associate Professor, RGAU-ICCA them. K. A. Timiryazeva, Moscow, Russia*

Аннотация*. В работе дано описание по применению эмульгированного топлива для безразборного удаления нагароотложений с деталей дизельного двигателя внутреннего сгорания за счет явления «микро-удара».*

Ключевые слова*: водотопливная эмульсия, микро-удар, конвективный теплообмен, термодинамический анализ.*

Abstract*. The paper describes the use of emulsified fuel for the indiscriminate removal of carbon deposits from the details of a diesel engine of internal combustion due to the phenomenon of "micro-impact".*

Keywords*: water-fuel emulsion, micro-impact, convective heat transfer, thermodynamic analysis.*

Для обеспечения эксплуатационно-технических характеристик дизельных двигателей необходимо проводить периодическую очистку деталей двигателей от нагароотложений.

В настоящее время наиболее известные и применяемые методы безразборной очистки это использование водотопливных эмульсий (ВТЭ) и применение присадок. При использовании ВТЭ улучшается смесеобразование и предотвращается коксообразование, но при этом снижается надежность двигателя за счет обводнения масел, ухудшаются показатели эксплуатации, возникает опасность коррозии отдельных деталей. Присадки улучшают процесс сгорания рабочей смеси, не допускают коагуляцию частиц сажи в крупные агломераты. Недостатком данного метода является удаление отложений, скопившихся в топливном баке, следовательно, выход из строя топливного насоса и форсунок [1, 2].

Обобщения по использованию воды в рабочих процессах двигателя при формировании топливно-воздушной смеси показывают, что наибольшее применение нашли способы подачи воды в виде водотопливной эмульсии (ВТЭ). На сегодняшний день в достаточной мере известны результаты многочисленных исследований по использованию ВТЭ в рабочих процессах двигателя в целях улучшения качества процесса смесеобразования, снижения токсичности отработавших газов и удаления нагароотложений.

Установлено, что при работе дизеля на водотопливной эмульсии значительно улучшается процесс смесеобразования за счет явления «микро-удара», так как капли эмульгированного топлива, образовавшиеся после впрыскивания через форсунки, состоят из частиц топлива, внутри которых располагается большое количество хаотически движущихся включений воды. Размеры этих включений колеблются от 1 до 3 мкм [3, 4].

Анализ физики процессов нагрева и испарения воды, происходящих в двигателе, создание моделей, учитывающих влияние теплообмена воды и внутрицилиндровых газов на их термодинамические характеристики и параметры рабочего процесса двигателя, должны учитывать комплексное воздействие впрыскиваемой в цилиндры воды. Оно представлено тремя составляющими: конвективной – теплообмен между цилиндровыми газами и впрыснутой водой; термодинамической – изменение теплоемкости и внутренней энергии смеси цилиндровых газов и водяного пара; термохимической – химические реакции горения топливной смеси с участием воды в парообразном состоянии.

Конвективный теплообмен предопределяет время локального воздействия воды на рабочий процесс, в результате которого резко изменяются термодинамические параметры цилиндровых газов. При этом вода, впрыснутая в цилиндры двигателя в парообразном состоянии, распадается на мелкодисперсные капли, благодаря чему, достижение критического состояния возможно за короткий промежуток времени [4].

При попадании капель воды в среду цилиндровых газов, ее температура в результате теплообмена с газами растет и может стать выше равновесной температуры кипения, соответствующей внутрицилиндровому давлению [5].

Перегрев жидкости приводит к возникновению внутри капель метастабильного состояния и условий для их спонтанного вскипания несмотря на то, что в воде, впрыскиваемой в виде мелкодисперсной фазы, количество искусственных центров парообразования резко снижается, и, следовательно, зародыши пара могут возникать только в результате тепловой флуктуации. Спонтанное вскипание воды, происходящее в виде «микро-ударов» капель, определяет локальное (кратковременное) управляющее воздействие воды на поверхности нагароотложений.

Термодинамический анализ состояния водотопливной смеси в цилиндрах двигателя основывается на предположении, что одновременно с подводом жидкости на каждом бесконечно малом участке термодинамического процесса отводится количество тепла, равное теплоте испаряющейся жидкости. После перехода воды из жидкого состояния в газообразное, происходит дальнейший отбор теплоты от цилиндровых газов. Пар, образовавшийся в результате испарения капель воды в процессе теплообмена с газами, будет нагреваться, что приведет к изменению теплоемкости смеси и ее внутренней энергии, вследствие чего создаются условия возникновения «микро-ударов» [4, 6].

Предположим, что капля ВТЭ с начальной температурой $T_{т0}$ помещена в возмущенную газовую среду. Параметры последней (давление P_1, температура

T_1, частота f и амплитуда A пульсаций скорости движения, а также закономерности изменения этой скорости) будем считать известными. Допустим далее, что $T_1 \gg T_{т0}$. Последнее вызовет интенсивный теплообмен между газом и каплей. При этом будет происходить следующая цепочка процессов:

1. Прогрев частицы эмульсии до температуры $T_п$ перегрева воды. В течение этого периода будет происходить интенсивный процесс испарения легких фракций;
2. Первый «микро-удар»;
3. Прогрев и испарение топлива, испарение воды в капле, перегрев образующихся водяных паров. Данный процесс продолжается до момента, когда объем капли достигнет критического значения;
4. Второй «микро-удар» и т.д.
5. В соответствии с описанной выше физической картиной процесса тепломассообмена капли ВТЭ, разделим последний на j периодов: j = 1 – период от начала прогрева частицы до первого «микро-удара»; j = 2 – период между первым и вторым «микро-ударами»; j = 3 – период между вторым и третьим «микро-ударами» и т.д.

Рассмотрим далее математическое описание процесса возникновения первого «микро-удара», а затем отметим характерные отличия остальных. Будем считать, что первый «микро-удар» происходит мгновенно при температуре $T_п$ перегрева воды. Изменение значений скорости движения газовой среды V, скорости движения капли ω и перемещения капли H при «микро-ударе» не происходит. Остальные величины будем определять в следующей последовательности [7, 8, 9].

Объем i-ой фракции топлива в капле ВТЭ после «микро-удара» [4]:

$$V_{тi} = \frac{M_{тi}}{\rho_{тi}} \quad (1)$$

где $M_{тi}$ – масса i-ой фракции топлива после первого «микро-удара» (в начале второго периода), кг; $\rho_{тi}$ – плотность i-ой фракции топлива, кг/м^3

Рассмотрим особенности следующих (за первым «микро-ударом») периодов. Исходными (начальными) данными для расчета этих периодов являются конечные значения искомых величин предыдущего периода.

В соответствии с принятой физической интерпретацией процессов тепломассообмена капель ВТЭ, второй (j = 2) и последующие (j = 3; 4 и т.д.) периоды имеют одинаковое математическое описание. Физическая картина этих процессов сводится к следующему. Для них характерно интенсивное испарение воды внутри капель ВТЭ. Этот процесс протекает при постоянной температуре влаги, равной $T_Н$. Образующийся пар препятствует теплообмену между топливом и водой. В результате, температура топлива будет повышаться. Это очень сложный процесс, точное математическое описание которого весьма затруднительно. Воспользуемся приближенным методом. Будем полагать, что количество теплоты, идущее на испарение воды, будет пропорционально величине:

$$\left(\frac{M_{\text{Вj}}}{M_{\text{пj}}+M_{\text{Вj}}}\right)^{k_3}, \quad (2)$$

где k_3 – опытный коэффициент, определяющий отток воды в капле ВТЭ за счет ее испарения.

Истинная величина $M_{\text{Вj}}$ определяется по выражению:

$$\frac{\partial M_{\text{Вj}}}{\partial \tau} = \left(\frac{M_{\text{Вj}}}{M_{\text{пj}}+M_{\text{Вj}}}\right)^{k_3} \frac{\partial M^*_{\text{Вj}}}{\partial \tau} \quad (3)$$

Суммарный объем капли ВТЭ находится как сумма:

$$V_{\text{Кj}} = \sum_1^{\text{n}} V_{\text{тij}} + V_{\text{Вj}} + V_{\text{пj}} \quad (4)$$

Плотность капли ВТЭ:

$$\rho_{\text{Эj}} = S^*_{\text{тj}} \sum_1^{\text{n}} (\rho_{\text{тi}}\ S_{\text{тij}}) + \rho_{\text{В}}\, S_{\text{Вj}} + \rho_{\text{п}}\, S_{\text{пj}} \quad (5)$$

Начальными условиями при вычислении будут служить параметры, полученные после предшествующего (j – 1) «микро-удара». Расчет ведется до момента достижения каплей условий, при которых она «взрывается».

Рассмотрим условия возникновения второго и предшествующих «микро-ударов» капель ВТЭ.

Топливная сферическая оболочка радиуса $R_{\text{К}}$ и толщины δ находится под действием внутреннего давления насыщенного водяного пара $P_{\text{Н}}$ (Рис. 1) и внешнего давления среды P_1. Под давлением паров воды, в топливной оболочке возникают напряжения растяжения. Нормальные напряжения растяжения в оболочке определяются по выражению [4]:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{(P_{\text{Н}}-P_1-P_{\alpha})R_{\text{К}}}{2\delta}, \quad (6)$$

где $P_{\text{Н}} = 1264 \cdot 2{,}2 \cdot 10^7 \exp\left(\frac{7{,}2\cdot 647{,}3}{T_{\text{т}}}\right)$ – давление насыщенных паров воды внутри капли ВТЭ; $P_{\alpha} = \frac{4\alpha_{\text{т}}}{d_{\text{К}}}$ – добавочное давление от сил поверхностного натяжения; $\alpha_{\text{т}}$ – коэффициент поверхностного натяжения топлива; $d_{\text{К}} = 2R_{\text{К}}$ – текущее значение диаметра капли ВТЭ.

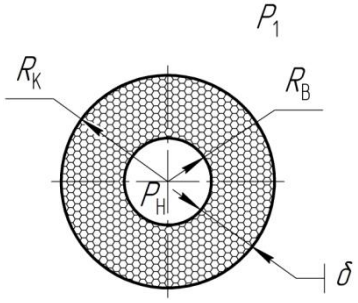


Рисунок 1– Модель капли эмульгированного топлива: P_1 – давление среды, в которой находится капля топлива; $P_{\text{Н}}$ – внутреннее давление насыщенного водяного пара; $R_{\text{К}}$ – радиус капли ВТЭ; $R_{\text{В}}$ – радиус капли воды внутри топлива; δ – толщина топливной оболочки.

От разрыва топливную оболочку удерживают силы поверхностного натяжения топлива $f_{\text{т}}$, создающие на поверхности капли напряжения сжатия σ_{α}:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{f_{\text{т}}}{S_{\text{СФ}}} = \frac{f_{\text{т}}}{\frac{\pi}{4}(d_{\text{К}}^2 - d_{\text{В}}^2)}, \quad (7)$$

где $S_{СФ}$ – площадь поперечного сечения оболочки; $d_В = \sqrt[3]{\frac{6(V_В+V_п)}{\pi}}$ – диаметр капли водной фазы ВТЭ.

Известно, что коэффициент, а равно и сила поверхностного натяжения зависят от температуры. По табличным данным аппроксимируем коэффициент поверхностного натяжения [4, 5] для дизельного топлива: $\alpha_т = 1{,}69\alpha_{т0}\left(1 - \frac{T_т}{T_{кт}}\right)$, где $\alpha_{т0}$ – коэффициент поверхностного натяжения топлива при нормальных условиях; $T_{кт}$ – температура топлива в критической точке.

При расчетах будем использовать средневзвешенное значение коэффициента поверхностного натяжения [4]:

$$\alpha_т = \sum_1^n(\alpha_{тi}S_{тi}) \quad (8)$$

По мере прогрева капли ВТЭ, давление водяных паров будет расти, увеличивая растягивающие напряжения в топливной оболочке. Капля будет увеличиваться в размерах, а силы поверхностного натяжения и, создаваемые ею, напряжения сжатия будут уменьшаться. Очевидно, что разрыв оболочки произойдет, когда $\sigma_{ЭКВ}$ превысят σ_α. Следовательно, условие возникновения второго и последующих «микро-ударов» может быть сформулировано так:

$$\sigma_{ЭКВ} \geq \sigma_\alpha \quad (9)$$

Решая уравнение методом подстановки, можно определить диаметр капли ВТЭ, при которой произойдет «микро-удар».

Список литературы

1. Пат. 153176 Российская Федерация, МПК F02B77/04. Установка для безразборной очистки камеры сгорания дизельного двигателя паром / А.С. Дорохов, В.М. Корнеев, К.А. Краснящих, Ю.В. Катаев, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – № 2014108847/06; заявл. 07.03.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19. – 2 с.
2. Катаев, Ю.В. Безразборная очистка двигателя от нагара / Ю.В. Катаев // Сельский механизатор. – 2011. – № 9. – С. 34-35.
3. Кравченко, И.Н. Ресурсосберегающие технологии ремонта сельскохозяйственной техники: учебное пособие / И.Н. Кравченко, В.М. Корнеев, Д.И. Петровский, Ю.В. Катаев // М.: ФГБНУ «Росинформагротех» – 2018. – 184 с.
4. Дорохов А.С. Кавитационное воздействие воды на нагароотложения в двигателях / А.С. Дорохов, Ю.В. Катаев // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2014. – № 9. – С. 29-33.
5. Дидманидзе, О.Н. Технический сервис в АПК / О.Н. Дидманидзе, В.М. Корнеев. – М.: УМЦ «Триада», 2015. – 110 с.
6. Катаев, Ю.В. Теория безразборного удаления нагароотложений с деталей двигателя / Ю.В. Катаев, В.М. Корнеев // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – т. 121. – С. 104-106.
7. Дорохов, А.С. Безразборная очистка камеры сгорания двигателя / А.С. Дорохов, В.М. Корнеев, Ю.В. Катаев, К.А. Краснящих // Сельский механизатор. – 2014. – № 4. – С. 36-37.
8. Дорохов, А.С. Средства контроля качества сельскохозяйственной техники / А.С. Дорохов, К.А. Краснящих, Д.М. Скороходов // Сельский механизатор. – 2015. – № 10. – С. 34-35.
9. Семейкин, В.А. Предпродажное обслуживание техники в сельском хозяйстве / В.А. Семейкин, В.М. Корнеев, А.С. Дорохов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2005. – №1. – С. 95.

References

1. Pat. No. 153176 Rossijskaya Federaciya, MPK F02B77/04. Ustanovka dlya bezrazbornoj ochistki kamery sgoraniya dizel'nogo dvigatelya parom [Installation for in-place cleaning of the combustion chamber of a diesel engine with steam] / A.S. Dorohov, V.M. Korneev, K.A. Krasnyashchih, YU.V. Kataev, zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva. – No. 2014108847/06; zayavl. 07.03.2014; opubl. 10.07.2015, Byul. No. 19. – 2 p.

2. Kataev, YU.V. Bezrazbornaya ochistka dvigatelya ot nagara [In-place cleaning of the engine from carbon] / YU.V. Kataev // Sel'skij mekhanizator. – 2011. – No. 9. – PP. 34-35.

3. Kravchenko, I.N. Resursosberegayushchie tekhnologii remonta sel'skohozyajstvennoj tekhniki: uchebnoe posobie [Resource-saving technologies for the repair of agricultural machinery: a tutorial] / I.N. Kravchenko, V.M. Korneev, D.I. Petrovskij, YU.V. Kataev // M.: FGBNU «Rosinformagrotekh» – 2018. – 184 p.

4. Dorohov A.S. Kavitacionnoe vozdejstvie vody na nagarootlozheniya v dvigatelyah [Cavitational effects of water on carbon deposits in engines] / A.S. Dorohov, YU.V. Kataev // Remont, vosstanovlenie, modernizaciya. – 2014. – No. 9. – PP. 29-33.

5. Didmanidze, O.N. Tekhnicheskij servis v APK [Technical service in agriculture] / O.N. Didmanidze, V.M. Korneev. – M.: UMC «Triada», 2015. – 110 p.

6. Kataev, YU.V. Teoriya bezrazbornogo udaleniya nagarootlozhenij s detalej dvigatelya [Theory of in-place removal of carbon deposits from engine parts] / YU.V. Kataev, V.M. Korneev // Trudy GOSNITI. – 2015. – t. 121. – PP. 104-106.

7. Dorohov, A.S. Bezrazbornaya ochistka kamery sgoraniya dvigatelya [In-place cleaning of the engine combustion chamber] / A.S. Dorohov, V.M. Korneev, YU.V. Kataev, K.A. Krasnyashchih // Sel'skij mekhanizator. – 2014. – No. 4. – PP. 36-37.

8. Dorohov, A.S. Sredstva kontrolya kachestva sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Means of quality control of agricultural machinery] / A.S. Dorohov, K.A. Krasnyashchih, D.M. Skorohodov // Sel'skij mekhanizator. – 2015. – No. 10. – PP. 34-35.

9. Semejkin, V.A. Predprodazhnoe obsluzhivanie tekhniki v sel'skom hozyajstve [Pre-sale maintenance of equipment in agriculture] / V.A. Semejkin, V.M. Korneev, A.S. Dorohov // Vestnik FGOU VPO MGAU. – 2005. – No.1. – P. 95.

УДК 631.173 (571.1)

К ПОСТРОЕНИЮ АДАПТИРОВАННОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

TO THE CONSTRUCTION OF AN ADAPTED REGIONAL SYSTEM OF SECURITY WORKING CAPACITY OF AGRICULTURAL MACHINERY

***В.В. КОРОТКИХ**, кандидат технических наук, **А.Е. НЕМЦЕВ**, доктор технических наук, **И.В. ДЕМЕНОК**, кандидат технических наук, Сибирский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, р. п. Краснообск Новосибирской области, Россия*

***V.V. KOROTKIH**, candidate of technical Sciences, **A.E. NEMCEV**, doctor of technical Sciences, **I.V. DEMENOK**, candidate of technical Sciences, Siberian Institute of mechanization and electrification of agriculture, Siberian Federal scientific center of agrobiotechnology the Russian Academy of Sciences, R. p. Krasnoobsk Novosibirsk region, Russia*

***Аннотация**. Предложен метод адаптирования системы обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники (СОРТ), влияя на её оперативность через время удовлетворения заявки на услугу технического сервиса. Рассмотрена региональная трёхуровневая СОРТ: хозяйство, район, область. Процесс оперативного восстановления работоспособности техники предусматривает наличие запасных частей на всех уровнях системы. Процесс восстановления работоспособности сельскохозяйственной техники в общем виде может быть представлен в следующей последовательности: определении причины отказа; передачи информации об отказе в сервисное предприятие (СП); обработка заявки на запасную часть и их комплектование в СП; ожидания транспорта для выполнения заявки, доставка запасных частей с СП; устранение последствий отказа (демонтаж, монтаж). Время выполнения заявки будет зависеть от количества необходимых элементов для оказания услуги, количества мобильных транспортных средств и от расстояния между уровнями.*

***Ключевые слова**: адаптирование, сельскохозяйственная техника, процесс, система обеспечения работоспособности, время удовлетворения заявки, техническое обслуживание, отказ, снабжение, запасные части.*

***Abstract**. The method of adaptation of system of ensuring working capacity of agricultural machinery is offered, influencing its efficiency through time of satisfaction of the demand for service of technical service. The regional three-level system of ensuring the efficiency of agricultural machinery is considered: agricultural enterprise, district, region. The process of rapid restoration of the equipment provides for the availability of spare parts at all levels of the system. The process of restoring the efficiency of agricultural machinery in general can be presented in the following sequence: determining the cause of failure; transfer of information about the failure of the service company; processing of the application for spare part and their acquisition in the service company; waiting for transport to fulfill the application, delivery of spare parts with the joint venture; elimination of the consequences of failure (dismantling, installation). The time of execution of the application will depend on the number of necessary elements for the provision of the service, the number of mobile vehicles and the distance between the levels.*

***Keywords**: adaptation, agricultural machinery, process, system of ensuring working capacity, time of satisfaction of the demand, maintenance, failure, supply, spare parts.*

Глагол «адаптировать» происходит от латинского слова adaptere, являющегося суммой «ad + aptare». Здесь ad означает «добавление», а aptare – «соответствие» или «приспособление», что и даёт в итоге «делать нечто приспособленным к новым условиям» (чаще всего – путём модификации) [1].

Когда систему называют адаптивной (adaptive), подразумевается, что она автоматически адаптируется к изменяющимся условиям, другими словами, меняются алгоритмы функционирования, но её состав и структура остаются неизменными. В свою очередь, адаптируемая (adaptable) система может быть изменена с помощью воздействий.

Сложные дорогие системы, как и любые дорогостоящие сооружения и машины, должны иметь длительный жизненный цикл, и, следовательно, быть способными изменяться и приспосабливаться к переменам в окружающей среде. Кроме того, они должны способствовать экономии человеческих ресурсов, а это качество обеспечивается способностью к саморегулированию. Иначе говоря, необходимо, чтобы обеспечение было адаптируемым и адаптивным.

Как правило, адаптивные системы относятся к биологическим объектам, которые могут автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям.

К адаптируемым системам, в настоящее время, можно отнести, в основном, программное обеспечение и роботы, которыми можно управлять путём внешних воздействий.

Применительно к такой сложной системе как система обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники (СОРТ) – адаптирование практически не проводилось.

Имеются отдельные попытки влияния на неё через отдельные свойства надёжности машин, например, через безотказность, ремонтопригодность, через отдельные организационные воздействия, но системного подхода в них не отмечалось. Для потребителей же этот вопрос представляет значительный интерес, поскольку умение управлять системой, позволит улучшить показатели машиноиспользования, их эффективность.

Цель исследований: разработать метод адаптирования системы обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники.

Остановимся на факторах, показателях, которые влияют на систему. Естественно, они носят как объективный, так и субъективный характер. Рассмотрим региональную систему обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе (АПК), которая имеет трёхуровневую структуру технического обслуживания (ТО), устранения последствий отказов и ремонта машин: сельскохозяйственное предприятие (СХП), район, область [2, 3].

По степени сложности, как известно, отказы делятся на три группы. В соответствии с этим проводится организация устранения их последствий. Последствия отказов первой группы сложности устраняются самим механизатором без привлечения специальных средств, оборудования и запасных частей. Продолжительность устранения их – 0,3 – 0,5 ч. Вторую

группу составляют отказы и неисправности с более высокой трудоёмкостью устранения, как правило, не превышающей времени смены. Они встречаются чаще других. Для их устранения требуется специальный инструмент и оборудование, сварочные работы и необходимые запасные части, квалифицированные специалисты.

К третьей группе сложности относятся неисправности, устранение которых связано с разборкой основных узлов и агрегатов. Необходимы специальное оборудование и инструменты, а также квалифицированные рабочие [4, 5]. Такие неисправности устраняются только в центральной мастерской хозяйства или на стационарном пункте технического обслуживания [6], как правило, с привлечением специалистов сервисных предприятий района с необходимым инструментом, оборудованием, запасными частями и материалами или непосредственно на месте работы машины или на стационарных объектах.

Для оперативного восстановления работоспособности машин на складе хозяйства необходимо иметь определённый пополняемый запас наиболее быстро изнашивающихся и часто выходящих из строя деталей, узлов и агрегатов, а также ремонтных материалов.

Как правило, последствия отказов 1-й и 2-й групп сложности устраняются на уровне СХП, а 3-й группы сложности – квалифицированными специалистами более высоких уровней [7]. Номерные ТО также проводятся, как правило, квалифицированными специалистами сервисных центров.

Исследованиями Сибирского института механизации и электрификации сельского хозяйства (СибИМЭ) установлено, что при устранении последствий возникающих отказов в 74,5 % случаев требуются запасные части, поэтому для каждого уровня системы необходимо иметь обоснованный резерв обменного фонда запасных частей: деталей, узлов и агрегатов. Кроме того, на каждом уровне системы должно быть необходимое количество оборудования и приборов как по количеству, так и по номенклатуре, а также мобильные технические средства для проведения ТО и ремонта, и устранения последствий отказов.

Для размещения оборудования необходимы обоснованные площади и обслуживающий персонал, то есть кадры: мастера-наладчики, диагносты, слесари-ремонтники, водители и другие необходимые специалисты.

Объём работ по ТО и ремонту на каждом уровне СОРТ зависит от наличия техники и её марочного состава, от объёма выполняемых механизированных работ, от возраста (сроков службы) используемой техники.

В случае появления любого отказа для восстановления работоспособности машины необходимо провести следующие действия:

Локализовать отказ – установить, что отказало, его сложность. Если отказ не сложный, то это может сделать сам механизатор и по возможности исправить неисправность. Если отказ сложный, то он сообщает диспетчеру, чтобы принимались меры для устранения его последствий. В этом случае для локализации отказа может понадобиться проведение диагностики,

необходимые запасные части. Если всё это имеется в хозяйстве, неисправность устраняется специалистами мобильной службы полевого ремонта хозяйства. В случае если причину отказа силами инженерной службы хозяйства установить не удалось, вызывают специалистов со второго уровня системы – района, сообщив им нужную информацию об отказе.

Специалисты сервисного районного предприятия, как правило, из технического центра приезжают с необходимыми приборами, запасными частями, проводят диагностику, находят причину отказа и устраняют её. В случае, если на этом уровне что-то необходимое для устранений последствий отказа отсутствует, то они обращаются на более высокий уровень и укомплектовываются всем необходимым для удовлетворения заявки потребителя. Естественно, от наличия на этом уровне системы нужных запасных частей, приборов, транспортных средств, удалённости от потребителя будет зависеть время удовлетворения заявки потребителя.

В общем виде время удовлетворения заявки потребителя на требуемую услугу, то есть время устранения последствий отказа, через которое возможно проводить адаптирование системы (управлять ею), можно выразить в виде:

$$T_{\text{УС}} = T_{\text{ПО}} + T_{\text{ОЖ}} + T_{\text{ОТ}} + T_{\text{ДЗ}} + T_{\text{УО}}, \qquad (1)$$

где $T_{\text{УС}}$ - продолжительность удовлетворения заявки потребителя на техническую услугу, ч;

$T_{\text{ПО}}$ – время определения причины отказа с проведением диагностики и передачи информации об отказе, ч;

$T_{\text{ОЖ}}$ – время ожидания обслуживания заявки в зависимости от уровня резерва необходимых запасных частей, ч;

$T_{\text{ОТ}}$ – время ожидания транспорта для выполнения заявки, ч;

$T_{\text{ДЗ}}$ – время доставки запасных частей с СП до обслуживаемого объекта, ч;

$T_{\text{УО}}$ – время непосредственного устранения последствий отказа (демонтаж, монтаж), ч.

На рисунке приведена схема обеспечения работоспособности мобильного энергетического средства (МЭС) потребителей, как основы машинно-тракторного парка любого хозяйства. Эта схема может быть применима не только к МЭС, но и к любой другой сельскохозяйственной технике, включая все машины хозяйства, если в этом возникнет необходимость. Адекватность рассчитанного времени удовлетворения заявки потребителя на техническую услугу по приведённой формуле с применением математического аппарата фактическому времени будет зависеть от достоверности исходной информации для определения значений составляющих формулы.

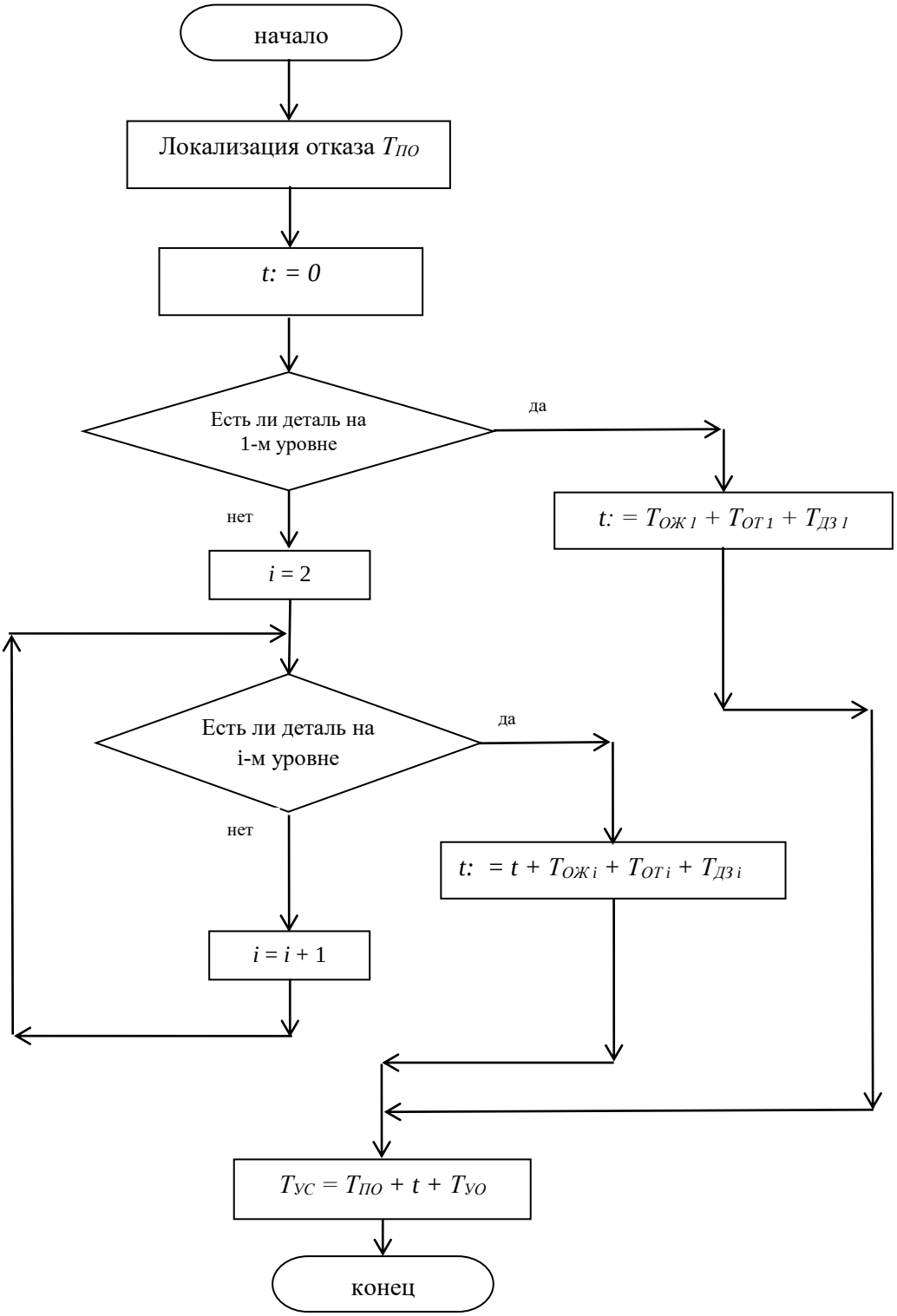


Рисунок 1 - Схема алгоритма обеспечения работоспособности МЭС

Выводы. На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Известны адаптивные системы, которые могут автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям и, как правило, относятся к биологическим объектам. Адаптирование технических систем проводится в основном применительно к программному обеспечению и к работам, которыми можно управлять путём внешних воздействий к такой сложной системе, как система обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники (СОРТ), адаптирование практически не проводилось.

2. Приведены объективные и субъективные факторы, через которые можно влиять на региональную СОРТ. В общем виде, показателем, объединяющим действия всех факторов, через который можно проводить адаптирование СОРТ предложено время удовлетворения заявки потребителя на технические услуги, которое определяется как сумма: времени на локализацию отказа с проведением диагностики и передачей информации на обслуживаемый уровень системы о необходимой услуге, времени ожидания обслуживания, зависящего от уровня резерва запасных частей на обслуживающем уровне системы, времени ожидания мобильного транспортного средства для выполнения заявки, продолжительности доставки запасных частей и необходимых материалов с обслуживающего уровня системы к обслуживаемому объекту и продолжительности непосредственного устранения последствий отказа (демонтажа неисправного элемента и замена его на исправный).

3. По значению времени удовлетворения заявок потребителей на технические услуги можно будет судить об оперативности системы обеспечения работоспособности техники.

Список литературы

1. Растригин Л.А. Адаптация сложных систем. Методы и приложения. – Рига. «Зинатие», 1981. – 375 с.

2. Технический сервис в АПК Сибири [Текст]: рекомендации / Н.М. Иванов [и др.]; под ред. А.Е. Немцева – Новосибирск, 2004. – 172 с.

3. Иванов Н.М. Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в условиях Сибири: уч.- метод. пособие / Н.М. Иванов, А.Е. Немцев, В.В. Коротких и др. – Новосибирск, 2012. – 108 с.

4. Деменок И.В. Пути улучшения ремонтно-эксплуатационной базы АПК / И.В. Деменок, А.Е. Немцев // Вестник ИрГСХА. – 2011. – Вып. 47. – с. 92 – 98.

5. Немцев А.Е. Определение количества предприятий технического сервиса для АПК Новосибирской области / А.Е. Немцев, В.В. Коротких, И.В. Деменок, В.М. Ливщиц // Интеллектуальные машинные технологии и техника в сельском хозяйстве. Междунар. науч.-практ. конф. 12-13 дкеабря 2017. Федеральное агентство научных организаций (ФАНО) Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). Труды ГОСНИТИ, Т. 130 – Москва. – 2018. – С. 63 – 67.

6. Коротких В.В. Основные направления обеспечения работоспособности мобильной сельскохозяйственной техники в регионе Сибири / В.В. Коротких, А.Е. Немцев, А.М. Криков, В.М. Лившиц, В.А. Симонов, И.В. Деменок / Труды ГОСНИТИ. – М, ГОСНИТИ, Т. 109, ч. 1. 2011. — с. 125 – 128.

7. Немцев А.Е. Техника и эффективность растениеводства сельскохозяйственного

предприятия / А.Е. Немцев, В.В. Коротких, И.В. Деменок // Инновации и продовольственная безопасность. – 2015. – № 4 (10). – С. 83-86.

8. Немцев А.Е. Факторы, влияющие на эффективность сельскохозяйственного предприятия. / А.Е. Немцев, В.В. Коротких, И.В. Деменок // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий. VI научно-практическая конференция 8-11 июня 2017. – Горно-Алтайск - 2017. – С 363 – 368.

9. Немцев А.Е. Инновационное развитие – основной резерв повышения эффективности сельскохозяйственного предприятия. / А.Е. Немцев, В.В. Коротких, И.В. Деменок // Инновационное развитие АПК: социально-экономические проблемы и пути решения: матер. междунар. очно-заочной науч.-практ. конф. (Новосибирск, 24–25 мая 2017 г.)/ ФГБУН СФНЦА РАН, СибНИИЭСХ. – Новосибирск, 2017. – С. 185 – 187. (291 с.)

10. Немцев А.Е. Взаимосвязь производственно-технического потенциала с эффективностью сельскохозяйственного предприятия. / А.Е. Немцев, В.В. Коротких, И.В. Коптева, И.В. Деменок // Научно-техническое обеспечение АПК Сибири, Сибирский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (СибИМЭ) СФНЦА РАН 7-9 июня 2017. Новосибирск. – 2017. – С. 348 -354.

References

1. Rastrigin L.A. Adaptaciya slozhnyh sistem. Metody i prilozheniya [Adaptation of complex systems. Methods and Applications]. – Riga. «Zinatie», 1981. – 375 p.

2. Tekhnicheskij servis v APK Sibiri [Technical service in agriculture of Siberia]: rekomendacii [recommendations] / N.M. Ivanov [i dr.]; pod red. A.E. Nemceva – Novosibirsk, 2004. – 172 p.

3. Ivanov N.M. Povyshenie ehffektivnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sel'skohozyajstvennoj tekhniki v usloviyah Sibiri [Improving the efficiency of maintenance and repair of agricultural equipment in Siberia]: uch.- metod. posobie / N.M. Ivanov, A.E. Nemcev, V.V. Korotkih i dr. – Novosibirsk, 2012. – 108 p.

4. Demenok I.V. Puti uluchsheniya remontno-ehkspluatacionnoj bazy APK [Ways to improve the maintenance and operational base of the AIC] / I.V. Demenok, A.E. Nemcev // Vestnik IrGSKHA. – 2011. – Vyp. 47. – p. 92 – 98.

5. Nemcev A.E. Opredelenie kolichestva predpriyatij tekhnicheskogo servisa dlya APK Novosibirskoj oblasti [Determination of the number of technical service enterprises for the agro-industrial complex of the Novosibirsk region] / A.E. Nemcev, V.V. Korotkih, I.V. Demenok, V.M. Livshchic // Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika v sel'skom hozyajstve. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 12-13 dkeabrya 2017. Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij (FANO) [Intelligent machine technology and technology in agriculture. International scientific-practical. Conf. 12-13 December 2017. Federal Agency for Scientific Organizations] Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie «Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM» (FGBNU FNAC VIM). Trudy GOSNITI, T. 130 – Moskva. – 2018. – pp. 63 – 67.

6. Korotkih V.V. Osnovnye napravleniya obespecheniya rabotosposobnosti mobil'noj sel'skohozyajstvennoj tekhniki v regione Sibiri [The main directions of ensuring the health of mobile agricultural equipment in the region of Siberia] / V.V. Korotkih, A.E. Nemcev, A.M. Krikov, V.M. Livshic, V.A. Simonov, I.V. Demenok / Trudy GOSNITI. – M, GOSNITI, T. 109, ch. 1. 2011. — pp. 125 – 128.

7. Nemcev A.E. Tekhnika i ehffektivnost' rastenievodstva sel'skohozyajstvennogo predpriyatiya [Technique and efficiency of crop production of agricultural enterprises] / A.E. Nemcev, V.V. Korotkih, I.V. Demenok // Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost' [Innovation and food security]. – 2015. – No. 4 (10). – pp. 83-86.

8. Nemcev A.E. Faktory, vliyayushchie na ehffektivnost' sel'skohozyajstvennogo predpriyatiya [Factors affecting the efficiency of an agricultural enterprise]. / A.E. Nemcev, V.V. Korotkih, I.V. Demenok // Aktual'nye problemy sel'skogo hozyajstva gornyh territorij. VI nauchno-prakticheskaya konferenciya 8-11 iyunya 2017. – Gorno-Altajsk [Actual problems of agriculture in

mountain areas. VI scientific-practical conference June 8-11, 2017. - Gorno-Altaisk] .- 2017. – pp. 363 – 368.

9. Nemcev A.E. Innovacionnoe razvitie – osnovnoj rezerv povysheniya ehffektivnosti sel'skohozyajstvennogo predpriyatiya. [Innovative development is the main reserve for increasing the efficiency of an agricultural enterprise.] / A.E. Nemcev, V.V. Korotkih, I.V. Demenok // Innovacionnoe razvitie APK: social'no-ehkonomicheskie problemy i puti resheniya [Innovative development of the agro-industrial complex: socio-economic problems and solutions]: mater. mezhdunar. ochno-zaochnoj nauch.-prakt. konf. (Novosibirsk, 24–25 maya 2017.)/ FGBUN SFNCA RAN, SibNIIEHSKH. – Novosibirsk, 2017. – pp. 185 – 187. (291 p.)

10. Nemcev A.E. Vzaimosvyaz' proizvodstvenno-tekhnicheskogo potenciala s ehffektivnost'yu sel'skohozyajstvennogo predpriyatiya. [The relationship of production and technical potential with the efficiency of an agricultural enterprise] / A.E. Nemcev, V.V. Korotkih, I.V. Kopteva, I.V. Demenok // Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie APK Sibiri, Sibirskij institut mekhanizacii i ehlektrifikacii sel'skogo hozyajstva [Scientific and technical support of the agro-industrial complex of Siberia, Siberian Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture] (SibIMEH) SFNCA RAN 7-9 iyunya 2017. Novosibirsk. – 2017. – pp. 348 -354.

УДК 631.173

СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ GPS/ГЛОНАСС

METHOD FOR REMOTE MONITORING OF RELIABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY WITH USE OF SYSTEMS GPS/GLONASS

***М.Н. КОСТОМАХИН**, канд. техн. наук, **А.Н. ВОРОНОВ**, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***M.N. KOSTOMAHIN**, cand. tech. sci., **A.N. VORONOV**, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В статье представлен анализ систем дистанционного мониторинга технического состояния машинно-тракторного парка, рассмотрены возможности наиболее рационального применение этих систем для сбора информации о надежности мобильной сельскохозяйственной техники.*

***Ключевые слова**: сельскохозяйственная техника, мониторинг технического состояния, параметр технического состояния, трекер, ресурс, отказ, показатели надежности.*

***Abstract**. The article presents the analysis of remote monitoring systems of the technical condition of the tractor fleet, the possibilities of the most rational use of these systems to collect information about the reliability of mobile agricultural machinery.*

***Keywords**: agricultural machinery, technical condition monitoring, technical condition parameter, tracker, resource, failure, reliability indicators.*

В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, происходит изменение технического состояния ее узлов и агрегатов, вызванное процессами изнашивания, коррозии, механических напряжений и пр., что приводит к отказу, т.е. событию, связанному с нарушением работоспособности [1]. Одной из основных задач, решаемых при эксплуатации сельскохозяйственных машин, является повышение эффективности их использования и обеспечения сохранности их эксплуатационных свойств на заданном уровне [2]. Для решения данной задачи необходимо, как можно точнее, собирать данные о надежности групп одноименных деталей (срок службы или ресурс, наработка на сложный отказ и т.д.).

Одним из эффективных способов контролирования технического состояния машин и механизмов, на сегодняшний день, являются системы удаленного мониторинга объектов (например, через системы спутниковой навигации). Спутниковый мониторинг транспорта используется для решения задач транспортной логистики, в системах управления перевозками и автоматизированных системах управления автопарком, также системы спутниковой навигации позволяют осуществлять мониторинг технического состояния машин [3-5].

Оснащение сельскохозяйственной техники такими системами удаленного мониторинга, позволяет улучшить качество ее технической эксплуатации, на основе круглосуточного, в режиме реального времени, автоматического

мониторинга. Оценить качество эксплуатируемых современных зарубежных и отечественных машин, представленных на рынке сельскохозяйственной техники можно определив их эксплуатационные характеристики, включая и показатели надежности.

Как известно, наиболее достоверные данные о надежности техники можно получить статистической обработкой массовой информации с мест эксплуатации, когда для определения основных показателей надежности (безотказности и долговечности) проводят испытаний до отказа всех элементов машины (деталей, узлов, агрегатов) испытуемой партии [6]. Однако проведение таких испытаний требует значительных затрат, что экономически нецелесообразно.

Наиболее достоверным и менее затратным является способ получения информации о надежности при наблюдении в рядовой эксплуатации, когда наблюдения в силу рассеивания наработок до отказов машин должны быть значительной продолжительности, при этом техника используется по назначению совершая полезную работу.

Таким образом, проанализировав существующие способы сбора информации о надежности, целесообразно проводить сбор данных используя информацию об изменении ее текущего технического состояния, посредством мониторинга ресурсных параметров. Данный способ реализуется при известных предельных и допускаемых отклонениях контролируемых ресурсных параметров, характеризующих износ деталей и соединений (Рис. 1).

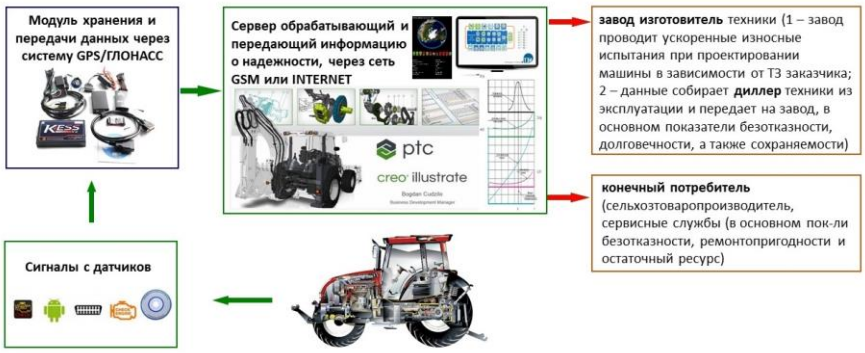
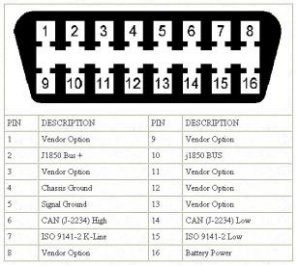


Рисунок 1 - Схема дистанционного сбора информации о надежности сельскохозяйственной техники.

Опыт эксплуатации машинно-тракторного парка показывает, что при разработке систем мониторинга технического состояния техники целесообразен вариант, когда мониторинг контролируемых параметров осуществляется дистанционно, например, с использованием систем спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS). Задача по сбору информации о надежности также может быть частично решена с использованием технологий беспроводной передачи данных, как в режиме online, так и в режиме offline, где передача данных осуществляется по проводным каналам (например, USB), либо через беспроводные каналы (например, Bluetooth/Wi-Fi), а далее через сеть Internet.

Современные высокотехнологичные автомобили, дорожно – строительная, сельскохозяйственная и пр. техника содержат CAN – шину, которая представляет собой витую пару [7]. По ней передается огромное количество параметров, таких как: температура двигателя; давление турбины; давление в тормозной системе; наработка; нагрузка на ось и др. характеристики.

Одним из трендов развития систем мониторинга машинно – тракторного парка является оснащение транспорта современным оборудованием (ГЛОНАСС/GPS – трекерами) позволяющим считывать данные бортовой системы машины с CAN – шины (например, с помощью модуля CAN – LOG) (Рис. 2, а), через диагностический разъем OBD - Ⅱ бортовой системы машины (Рис. 2, б).



PIN	DESCRIPTION	PIN	DESCRIPTION
1	Vendor Option	9	Vendor Option
2	J1850 Bus +	10	j1850 BUS
3	Vendor Option	11	Vendor Option
4	Chassis Ground	12	Vendor Option
5	Signal Ground	13	Vendor Option
6	CAN (J-2234) High	14	CAN (J-2234) Low
7	ISO 9141-2 K-Line	15	ISO 9141-2 Low
8	Vendor Option	16	Battery Power

а) **б)**

Рисунок 2 – Устройство, позволяющее считывать данные с бортовой системы: а – Модуль CAN – LOG, считывающий данные с CAN – шины автомобиля; б – диагностический разъем OBD - Ⅱ системы бортовой диагностики.

CAN – LOG считывает нужную информацию с огромного числа моделей грузовых и легковых автомобилей, а также сельскохозяйственной техники. Считывание данных с CAN – шины позволяет оценить состояние техники с помощью множества параметров. Основными параметрами, получаемыми с помощью CAN – LOG и трекера, являются:

- безопасность (замок зажигания, штатная сигнализация);
- уровень топлива в баке;
- обороты двигателя;
- полное время работы двигателя;
- полный пробег транспортного средства;
- полный расход топлива;
- температура двигателя;
- скорость движения;
- нагрузка на ось 1/2/3/4/5.

Для просмотра необходимых параметров достаточно подключить трекер к бортовой сети автомобиля, а CAN – LOG к CAN – шине. В зависимости от выбранных настроек считывается необходимая информация, которая передается на ПК/сервер для дальнейшей обработки. Благодаря этой особенности трекеры могут диагностировать бортовую сеть машины и передавать на центральный сервер наряду с GPS-данными дополнительно информацию об основных параметрах технического состояния техники. Данная функция значительно повышает возможность удаленного мониторинга

состояния машинно-тракторного парка, за счет обеспечения автоматизированного контроля нахождения в допустимых пределах необходимых контролируемых параметров агрегатов и узлов машин.

Таким образом, можно установить, что количественное значение показателей безотказности и долговечности системы (машины, механизма) может определяться на основе анализа отказов деталей/элементов машины в эксплуатационных условиях, при этом техника может использоваться по назначению совершая полезную работу. На основании собранных статистических данных и их анализа (группы одноименных деталей), представится возможным определить закон распределения ресурса и рассчитать такие количественные показатели надежности как: вероятность безотказной работы *P(t)* в допустимых пределах в течении время *t*, средний прогнозируемый ресурс деталей *Tср*, а также частоту отказов *n*.

Рассмотренный способ позволит при эксплуатации дистанционно оценивать надежность энергонасыщенных машин и повысить эффективность ее использования, позволит своевременно осуществлять технический сервис неэффективно работающих машин и сократить затраты на их эксплуатацию.

Список литературы

1. Пучин, Е.А. Основы теории надежности и диагностики технических систем [Текст] /Е.А. Пучин. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 182с.

2. Половко, А.М. Основы теории надежности [Текст] / А. М. Половко. – М.: Наука, 1964. – 448 с.

3. Разработать систему удаленного мониторинга технического состояния с/х машин, обеспечивающую передачу контролируемых параметров через ГЛОНАСС [Текст] / Отчет о научно-исследовательской работе. – М.: ГОСНИТИ, 2012.

4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно--технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 7-10.

5. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. В сборнике: ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства. 2017. С. 333-343.

6. ГОСТ 27.301 - 95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения [Текст]. – Взамен ГОСТ 27.410-87; введ. 1997-01-01. – М.: Госстандарт РОССИИ: Изд-во стандартов, 1996. – 19 с.

7. Алексеев, В.В. Новые OBD-‖ GPS-трекеры серии Novatel MT3060 [Текст] / В.В. Алексеев // Беспроводные технологии. – СПб.: Файнстрит, 2014. – №1. – С. 64 – 69.

References

1. Puchin, E.A. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostiki tekhnicheskih sistem [Fundamentals of the theory of reliability and diagnostics of technical systems] /E.A. Puchin. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013. – 182 p.

2. Polovko, A.M. Osnovy teorii nadezhnosti [Fundamentals of the theory of reliability] / A. M. Polovko. – M.: Nauka, 1964. – 448 p.

3. Razrabotat' sistemu udalennogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya s/h mashin, obespechivayushchuyu peredachu kontroliruemyh parametrov cherez GLONASS [Develop a system for remote monitoring of the technical condition of agricultural machines, ensuring the transfer of controlled parameters via GLONASS] / Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. – M.: GOSNITI, 2012.

4. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii. V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno--tekhnicheskoj konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. 2013. S. 7-10.

5. Lobachevskij YA.P., Dorohov A.S. Perspektivnye nauchno-tekhnicheskie proekty v sfere mekhanizacii i robotizacii sel'skogo hozyajstva. V sbornike: FORMIROVANIE EDINOGO NAUCHNO-TEKHNOLOGICHESKOGO PROSTRANSTVA SOYUZNOGO GOSUDARSTVA: PROBLEMY, PERSPEKTIVY, INNOVACII Materialy postoyanno dejstvuyushchego seminara pri Parlamentskom Sobranii Soyuza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva. [The system of technologies and machines for the innovative development of the agricultural sector of Russia. In the collection: The system of technologies and machines for the innovation development of the agricultural sector of Russia. A collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 145th anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics, academician V.P. Goryachkina. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization.] 2017. pp. 333-343.

6. GOST 27.301 - 95. Nadezhnost' v tekhnike. Raschet nadezhnosti. Osnovnye polozheniya [Reliability in technology. Calculation of reliability. Basic Provisions]. – Vzamen GOST 27.410-87; vved. 1997-01-01. – M.: Gosstandart ROSSII: Izd-vo standartov, 1996. – 19 p.

7. Alekseev, V.V. Novye OBD-‖ GPS-trekery serii Novatel MT3060 [New OBD-‖ Novatel MT3060 Series GPS Tracker] / V.V. Alekseev // Besprovodnye tekhnologii. – SPb.: Fajnstrit, 2014. – No.1. – pp. 64 – 69.

УДК 631.31

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ, ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ФАЙЛ С G-КОДОМ ДЛЯ НАПЛАВКИ УПРОЧНЯЮЩИХ ВАЛИКОВ НА СТРЕЛЬЧАТЫЕ ЛАПЫ КУЛЬТИВАТОРА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОРАЗМЕРОВ НА УСТАНОВКЕ ТИПА 4D

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE THAT GENERATES THE FILE WITH G-CODE FOR WELDING OF THE STRENGTHENING BEADS OF THE POINTED CULTIVATOR'S PAWS OF VARIOUS SIZES ON THE MACHINE TYPE 4D

***Н.С. КРЮКОВСКАЯ**, научный сотрудник, аспирант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***N.S. KRYUKOVSKAYA**, researcher, postgraduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Для увеличения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих орудий, интенсивно изнашиваемых под действием абразива почвы, а также содержащихся в ней солей, кислот и влаги относительно недавно был разработан метод упрочнения наплавкой отдельных износостойких валиков на их поверхность. Исследования проводились на орудиях плоской формы (лемехах) и показали увеличение долговечности в 2,0-2,2 раза. [2, 3, 4, 5]*

Для упрочнения стрельчатых лап культиватора этим методом в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ была разработана установка с системой ЧПУ типа 4D. Она позволяет упрочнять стрельчатые лапы культиватора различных типоразмеров в автоматическом режиме, существенно снижая трудовые, временные и, как следствие, экономические затраты. Кроме того, при этом получается абсолютная идентичность наплавки на всей партии деталей и стабильное качество наплавленных валиков.

Для быстрого и безошибочного создания управляющей программы наплавки стрельчатых лап культиватора различных типоразмеров, разработан программный модуль. Программа генерирует G-код отдельным файлом (управляющую программу для установки типа 4D), который сохраняется на жесткий диск компьютера или съемный носитель для дальнейшего использования системой ЧПУ установки для наплавки.

***Abstract**. To increase the durability of the working organs of tillage tools, intensively worn under the influence of abrasive soil, as well as contained therein salts, acids and moisture has recently been developed a method of strengthening the surfacing of individual wear-resistant rollers on their surface. The studies were carried out on flat-shaped tools (ploughshares) and showed an increase in durability by 2.0-2.2 times.*

To strengthen pointed cultivator's paws of various sizes this method in VIM was used to develop of the machine type 4D with CNC. It allows to strengthen the pointed cultivator's paws of various sizes in automatic mode, significantly reducing labor, time and, as a result, economic costs. In addition, this results in an absolute identity of the entire batch of surfacing parts and a stable quality of the surfaced beads.

For fast and error-free creation of the control program of surfacing of pointed cultivator's paws of various sizes, the software is developed. The program generates a G-code as a separate file (control program for machine type 4D), which is saved on the computer's hard drive or removable device for further use by the CNC of the machine for surfacing.

***Ключевые слова**: автоматизация наплавки, лапы культиваторов, установка для наплавки типа 4D, программный модуль, генерация управляющей программы наплавки, поворотное приспособление.*

***Keywords**: automation of surfacing, paws cultivators, machine type 4D for surfacing, a software, generating the control program of surfacing, swivel fixture.*

Для увеличения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих орудий был разработан перспективный метод упрочнения наплавкой износостойких отдельных валиков на их поверхность. [2, 3, 5, 6, 7, 8] Валики наносились на рабочие органы орудий плоской формы (лемеха) и способствовали образованию застойных зон почвы при вспашке. Было выявлено, что при нанесении валиков кольцами площадь застойных зон увеличивается. [4]

Для упрочнения этим методом лап культиваторов на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ была модернизирована ранее разработанная там же установка для наплавки с системой ЧПУ типа 3D в установку типа 4D [1]. 4D означает, что установка обладает четырьмя степенями свободы – перемещение наплавочной головки по трем осям OX, OY и OZ и вращение рамки поворотного приспособления по оси OY, согласно командам управляющей программы. Это дает возможность упрочнять лапу культиватора в автоматическом режиме за один установ.

Цель исследований – разработка программного модуля для генерации файла с G-кодом для упрочнения наплавкой отдельными валиками стрельчатых лап культиватора различных типоразмеров в автоматическом режиме на установке типа 4D.

Упрочнение стрельчатых лап культиваторов наплавкой выполняется на установке для наплавки типа 4D, разработанной на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. На специальном поворотном приспособлении устанавливается и закрепляется лапа культиватора (Рис. 1). Далее запускается управляющая программа наплавки отдельных валиков на ее поверхность. По окончанию цикла наплавки оператор снимает упрочненную лапу с приспособления, закрепляет следующую и снова запускает программу наплавки. [1] Схема расположения упрочняющих валиков на поверхности лапы культиватора представлена на Рис. 2.

Конструкция поворотного приспособления предусматривает возможность упрочнения стрельчатых лап культиватора различных типоразмеров. Для быстрого и безошибочного создания управляющих программ разработан специальный программный модуль. Язык программирования, используемый при его написании Borland Delphi. При разработке модуля использовались современные графические средства компьютерного моделирования.

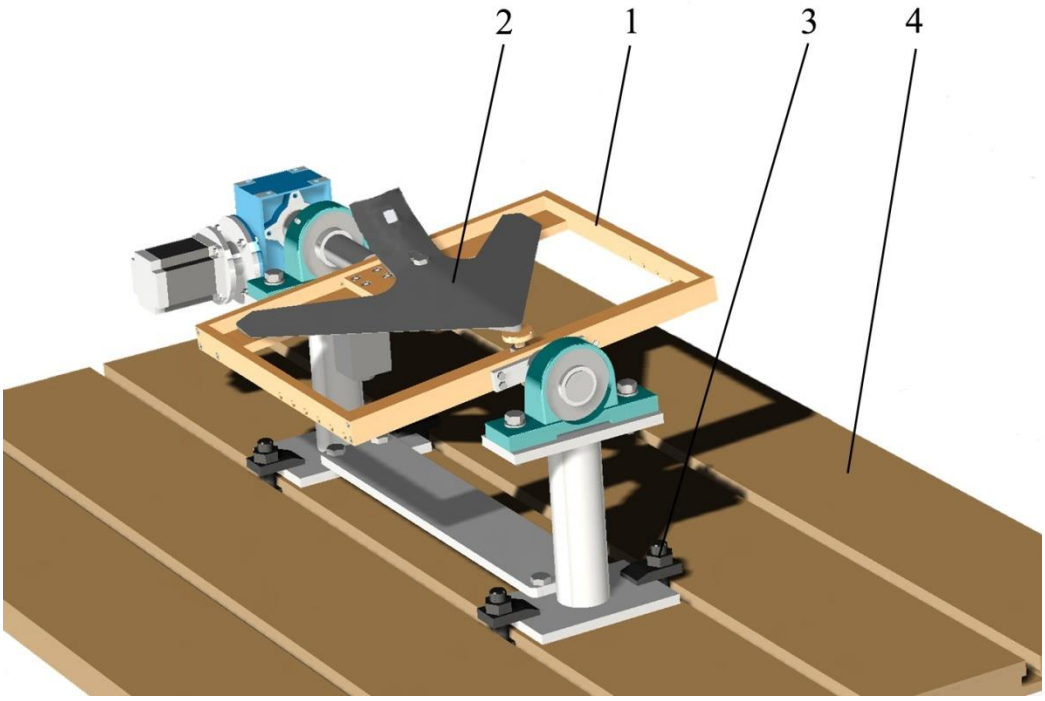


Рисунок 1 - Поворотное приспособление для автоматизации нанесения упрочняющих валиков на поверхность лап культиваторов: 1 – поворотное приспособление, 2 – упрочняемая лапа культиватора, 3 – крепление поворотного приспособления к столу установки для наплавки, 4 – стол установки.

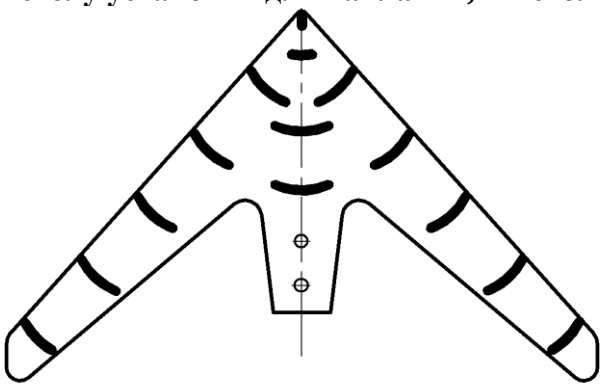


Рисунок 2 - Схема расположения упрочняющих валиков на поверхности лапы культиватора

Основными параметрами стрельчатых лап культиватора, необходимыми для генерации G-кода, являются угол раствора лезвий, угол крошения и ширина захвата (Рис. 3). Однако поставщики лап указывают, как правило, лишь производителя и ширину захвата. Поэтому в окне разработанного программного модуля требуется ввести в соответствующие поля четыре размера стрельчатой лапы культиватора – A, B, C, H. Размер A измеряется в произвольном месте лапы от носка до хвостовика (если он имеется) перпендикулярно оси симметрии. Размеры B и H измеряются по A. По этим трем параметрам программа вычисляет углы раствора лезвий и крошения и использует их для дальнейших вычислений. Размер C – это ширина захвата лапы.

Окно разработанного программного модуля представлено на Рис. 4.

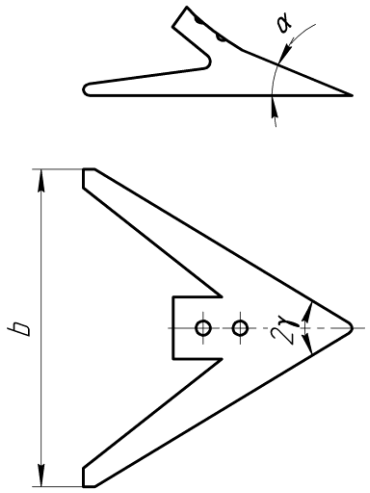


Рисунок 3 - Основные размеры стрельчатых лап культиватора: α – угол крошения, 2γ – угол раствора лезвий, b – ширина захвата.

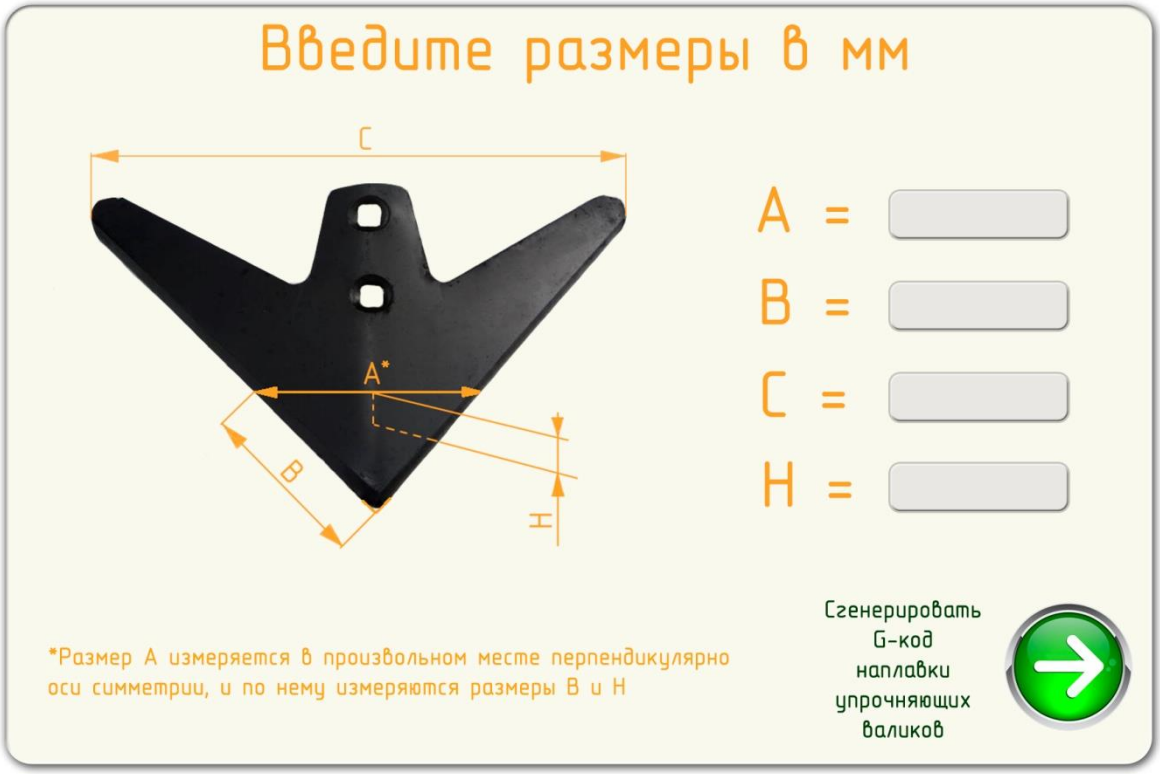


Рисунок 4 - Окно разработанного программного модуля.

После ввода всех четырех размеров необходимо нажать левой кнопкой мыши на зеленую кнопку со стрелкой. При этом программа запускает вычисления и генерирует файл с G-кодом с расширением .txt (файлы с таким расширением использует установка типа 4D в качестве управляющих программ). Далее всплывает окошко с запросом параметров сохранения файла (требуется указать место куда сохранить и имя созданного файла). После ввода всех параметров и нажатия кнопки «Сохранить», файл сохраняется в указанное место на компьютер или съемный носитель и готов для дальнейшего использования в качестве управляющей программы наплавки упрочняющих валиков на данную лапу культиватора на установке типа 4D.

Окончательный исполнительный файл программного модуля с расширением .exe будет реализован по результатам испытаний опытных лап культиватора на износ и после проведения оптимизации геометрических параметров наплавки упрочняющих валиков. При этом в текст расчетной программы будут внесены соответствующие корректировки.

Для упрочнения стрельчатых лап культиваторов наплавкой отдельных валиков на ее поверхность на установке типа 4D разработан программный модуль, позволяющий быстро и безошибочно генерировать файл управляющей программы для любого типоразмера лапы. Окончательная версия программного модуля будет реализована после проведения испытаний опытных образцов лап культиватора на износ и позволит без вмешательства пользователя сгенерировать управляющую программу с оптимальными геометрическими параметрами наплавки упрочняющих валиков.

Список литературы

1. Крюковская, Н.С. Адаптация 3D установки для наплавки деталей под упрочнение лап культиваторов наплавкой отдельных валиков на их поверхность в автоматическом режиме. / Н.С. Крюковская // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2018. – т.5.
2. Лялякин, В.П. Состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами. / В.П. Лялякин, С.А. Соловьев, В.Ф. Аулов // Труды ГОСНИТИ. - 2014.-т.115. – С. 96-104
3. Михальченков, А.М. Повышение износостойкости плужных лемехов технологическими методами. / А.М. Михальченков, А.А. Тюрева, И.В. Козарез // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – С. 51-53
4. Ожегов, Н.М. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе совершенствования наплавочных технологий. / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, Д.А. Капошко, С.А. Соловьев и др. // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – т.121. – С. 273-281
5. Hrabě P. Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. [Electronic resource]/ P. Hrabě, M. Müller, V. Hadač // Research in Agricultural Engineering. – 2015.-T2, №61. – C.72–79. – URL: http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/155246.pdf (дата последнего посещения: 15.04.2018).
6. Sidorov S.A., Lobachevskii Y.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob’ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide // Metallurgist. 2018. T. 61. № 11-12. C. 1023-1028.
7. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 3. С. 5-46
8. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevskii Y.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-layer coatings using plasma surfacing. // Metallurgist. 2017. T. 60. № 11-12. C. 1290-1294.

References

1. Kryukovskaya, N.S. Adaptaciya 3D ustanovki dlya naplavki detalej pod uprochnenie lap kul'tivatorov naplavkoj otdel'nyh valikov na ih poverhnost' v avtomaticheskom rezhime. [Adaptation of 3D installation for surfacing of parts for hardening the paws of cultivators by welding up separate rollers on their surface in automatic mode] / N.S. Kryukovskaya // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. – 2018. – t.5.

2. Lyalyakin, V.P. Sostoyanie i perspektiva uprochneniya i vosstanovleniya detalej pochvoobrabatyvayushchih mashin svarochno-naplavochnymi metodami. [State and prospect of hardening and restoration of parts of tillage machines by welding and surfacing methods] / V.P. Lyalyakin, S.A. Solov'ev, V.F. Aulov // Trudy GOSNITI. - 2014.-t.115. – pp. 96-104

3. Mihal'chenkov, A.M. Povyshenie iznosostojkosti pluzhnyh lemekhov tekhnologicheskimi metodami. [Increased wear resistance of plowshares by technological methods] / A.M. Mihal'chenkov, A.A. Tyureva, I.V. Kozarez // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2015. – pp. 51-53

4. Ozhegov, N.M. Povyshenie resursa rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin na osnove sovershenstvovaniya naplavochnyh tekhnologij. [Increasing the resource of working bodies of tillage machines based on the improvement of surfacing technologies] / N.M. Ozhegov, V.A. Ruzh'ev, D.A. Kaposhko, S.A. Solov'ev i dr. // Trudy GOSNITI. – 2015. – t.121. – pp. 273-281

5. Hrabě P. Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. [Electronic resource]/ P. Hrabě, M. Müller, V. Hadač // Research in Agricultural Engineering. – 2015.-T2, No. 61. – pp.72–79. – URL: http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/155246.pdf (data poslednego poseshcheniya: 15.04.2018).

6. Sidorov S.A., Lobachevskii Y.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob’ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide // Metallurgist. 2018. T. 61. № 11-12. S. 1023-1028.

7. Izmajlov A.YU., Sidorov S.A., Lobachevskij YA.P., Horoshenkov V.K., Kuznecov P.A., YUrkov M.A., Golosienko S.A. Nauchnye principy povysheniya iznosostojkosti rabochih organov pochvoobrabatyvayushchej tekhniki [Scientific principles of improving the durability of the working bodies of tillage equipment] // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk. 2012. № 3. S. 5-46

8. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevskii Y.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-layer coatings using plasma surfacing. // Metallurgist. 2017. T. 60. № 11-12. S. 1290-1294.

УДК 629.3.03

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСМИССИИ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ СЪЕМНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ ХОДОВЫХ СИСТЕМ

TO THE QUESTION OF WHEELED TRACTOR TRANSMISSION OPTIMIZATION FOR REMOVABLE TRACK UNDERCATTIGE SYSTEM MOUNTING

В.А. КРЮЧКОВ, *кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

V.A. KRYUCHKOV, *cand. tech. sci., leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Разработаны рекомендации по согласованию съемных гусеничных систем с трансмиссиями за счет выбора оптимального значения радиусов ведущих колес и передаточных чисел конечных передач. Приведены особенности установки съемных гусеничных ходовых систем на тракторы с различными колесными формулами.*

Ключевые слова*: Съемная гусеничная ходовая система, колесный трактор, трансмиссия, привод ходовой системы.*

Abstract*. The recommendations on the coordination of the removable caterpillar systems with the transmissions have been developed due to the choice of the optimum value of the radii of the driving wheels and the gear ratios of the final gears. The peculiarities of installation of removable caterpillar running systems for tractors with different wheel formulas are given.*

Keywords*: Removable track undercarriage system, wheeled tractor, transmission, undercarriage system drive.*

Применение съемных гусеничных ходовых систем (СГХС) на колесных тракторах (КТ), в том числе и за счет использования резиноармированных гусениц, позволяет получить ряд неоспоримых преимуществ [1-5,16]. Среди таких преимуществ следует отметить повышенную проходимость, пониженное техногенное воздействие на почву и корневую систему растений, улучшенные тягово-сцепные характеристики и навесоспособность [15].

Несмотря на современные направления развития трансмиссий КТ [6, 7] и их существующее разнообразие, при котором передача и преобразование момента двигателя осуществляется не только механическим или гидравлическим путем, но и различными комбинациями этих вариантов [8], в штатном исполнении трансмиссия мало приспособлена для работы с СГХС. Наиболее существенным фактором, который сказывается на долговечности трансмиссии при комплектации машины СГХС, является момент сопротивления движению. Этот момент зависит от силы сопротивления движению трактора, коэффициента сцепления с опорной поверхностью и КПД ходовой системы, обусловленного в основном сопротивлением перематыванию гусеницы [17].

При сравнении колесной ходовой системы и СГХС для одного и того же трактора оказывается, что в случае с СГХС коэффициент сцепления выше, а значит возможно реализовать силу тяги, значение которой превышает расчетное для этого же трактора с колесной ходовой системой. Помимо этого, КПД СГСХ

ниже КПД колесного движителя. Это связано с необходимостью преодоления дополнительных усилий, созданных внутри гусеничного обвода. Отсюда повышенная загрузка двигателя и повышенные нагрузки в трансмиссии, которые меняют циклограмму нагружения передач трансмиссии КТ в целом. Так как подавляющее большинство передач в трансмиссии рассчитаны на передачу момента предельного по сцеплению, то его возрастание при установке на КТ СГХС приводит к перегрузке элементов трансмиссии.

Целью настоящей работы является оценка принципиальной возможности установки СГХС на КТ со штатным исполнением трансмиссии и необходимости согласования трансмиссии и СГХС, определение условий работы трансмиссии на КТ с СГХС, формулирование основных задач, возникающих при согласовании трансмиссии КТ с СГХС, выработка рекомендаций по учету технических особенностей СГХС при их согласовании с трансмиссией КТ.

В работе применены основные положения теории тракторов [9-11] и теории механизмов и машин. Применены методы аналитической оценки условий и специфики работы СХГС совместно с трансмиссией КТ.

При формировании определения возможности согласования СГХС с трансмиссией КТ и выработке рекомендаций учитывались основные положения методики проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин [12].

В качестве примера трактора, технические характеристики трансмиссии которого учитывались при расчете скоростей движения с установленной СГХС, использовался трактор ВИМ 6507 (см. Табл. 1).

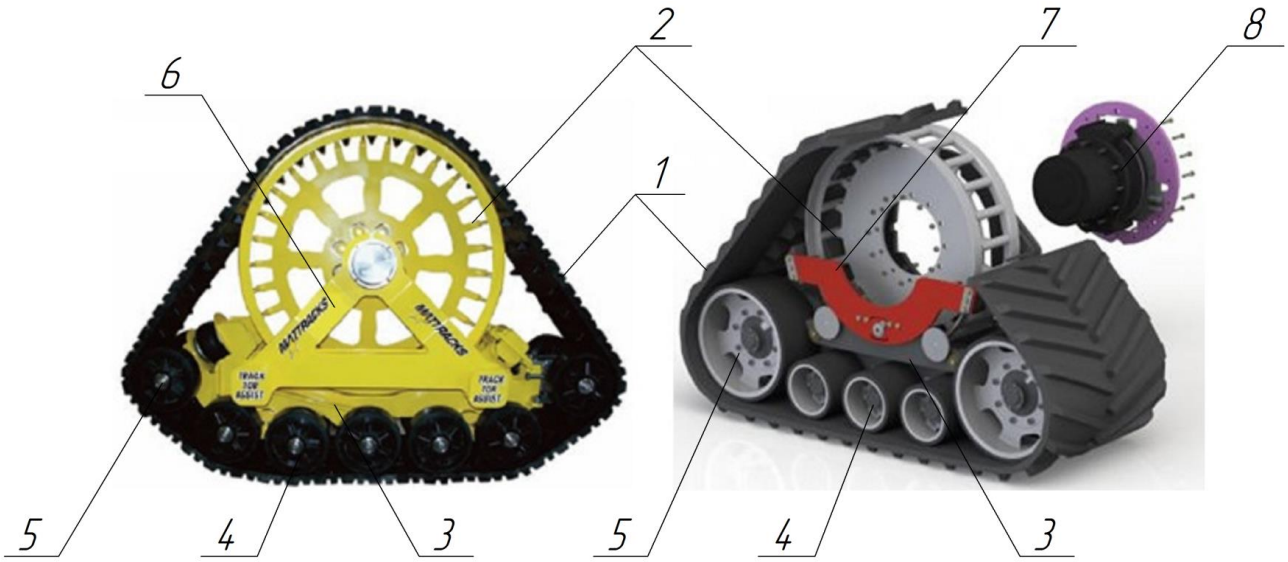
Таблица 1

Характеристики испытательного трактора ВИМ 6507

Параметр	Значение
Тяговый класс	0,6 (0,9)
Масса эксплуатационная, ке	2410
Двигатель	
Мощность, л.с./кВт	62,5 / 46
Марка	Lombardini LDW 2204
Экологический стандарт	Tier 3A
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	329
Максимальный крутящий момент, Н·м	174
Трансмиссия	
Коробка передач	механическая с муфтами легкого включения
Муфта сцепления	фрикционная, однодисковая, постоянно замкнутая с механическим управлением
Число передач, вперед/назад	16 / 8
Задний ВОМ, мин$^{-1}$	540 / 1000
Гидросистема	
Грузоподъемность заднего навесного устройства на оси подвеса, кг (не менее)	2800
Максимальное давление, МПа	20
Объемная подача насоса при номинальной частоте вращения коленчатого вала дизеля, л/мин (не менее)	40

Емкость бака гидросистемы, л	22
Ходовая система	
Тип	колесная
Колесная формула	4К4
Шины	
передние	12,4L-16
задние	360/70R24

Общий пример конструкции СГХС, вопросы применения которых затронуты в данной работе приведен на Рис. 1.



а) **б)**

Рисунок 1 - Общий вид СГХС: *а* – С нагруженным (несущим) ведущим колесом; *б* – с разгруженным ведущим колесом; *1* – РАГ; *2* – ведущее колесо; *3* – рама катков; *4* – опорные катки; *5* – направляющие колеса; *6* – кронштейн соединения оси ведущего колеса с рамой катков; *7* – кронштейн крепления рамы катков к раме машины; *8* – ступица переходная соединительная

С точки зрения кинематики для сохранения исходного диапазона скоростей движения КТ при установке СГХС идеальным было бы решение, при котором обеспечивается равенство радиусов ведущих колес (ВК) СГХС и статических радиусов штатных колес КТ. Однако, т.к. величина агротехнического просвета и положение тягово-сцепного устройства стандартизованы (устанавливаются ГОСТ 19677-87 и ГОСТ 10677-82), то радиус ВК СГХС всегда будет меньше статического радиуса колеса. Это обусловлено наличием тележки катков с системой подрессоривания и других элементов ходовой системы между опорной поверхностью и ВК. Кроме того, при кинематическом согласовании СГХС и трансмиссии необходимо учитывать возросшие потери в ходовой системе, связанные с перематыванием гусеницы, которые требуют увеличения силы тяги, а, следовательно, уменьшения радиуса ВК, что само по себе не позволяет сохранить исходные скорости движения. Учитывая сказанное, а также с целью сохранения динамических характеристик КТ, необходимо стремиться к выполнению неравенства:

$$\frac{P_{кг}}{P_{fг}} \geq \frac{P_{кк}}{P_{fк}}, \quad (1)$$

где $P_{кк}$ и $P_{кг}$ – соответственно предельные значения касательных сил тяг трактора с колесной ходовой системой и с установленной СГХС; $P_{fк}$ и $P_{fг}$ – соответственно наибольшие значения сил сопротивления качению трактора с колесной ходовой системой и с установленной СГХС

Таким образом, основной способ согласования СГХС с трансмиссией заключается в подборе радиуса ВК СГХС, что коррелируется с необходимостью разработки новой конструкции ВК под существующие резиноармированные гусеницы, указанной в соответствующей методике проектирования [12].

Очевидно, что при уменьшении радиуса ВК СГХС скорости движения на каждой передаче будут падать, а диапазоны рабочих скоростей неизбежно смещаться вверх по номерам передач.

На Рис. 2 представлено смещение скоростей и их диапазонов на примере с/х трактора кл. 0,6 (0,9). Из представленной диаграммы видно, как смещается рабочий диапазон частот вращения двигателя относительно скоростей движения трактора для каждой передачи в зависимости от изменения отношения радиуса ведущего колеса съемной гусеничной ходовой системы к радиусу колеса штатной колесной ходовой системы. В рассмотренном примере показано, как рабочий диапазон двигателя, позволяющий достичь скорости, соответствующей наивысшей передаче первого диапазона скоростей (рабочего), смещается настолько, что достичь этой же скорости движения представляется возможным только на втором скоростном диапазоне.

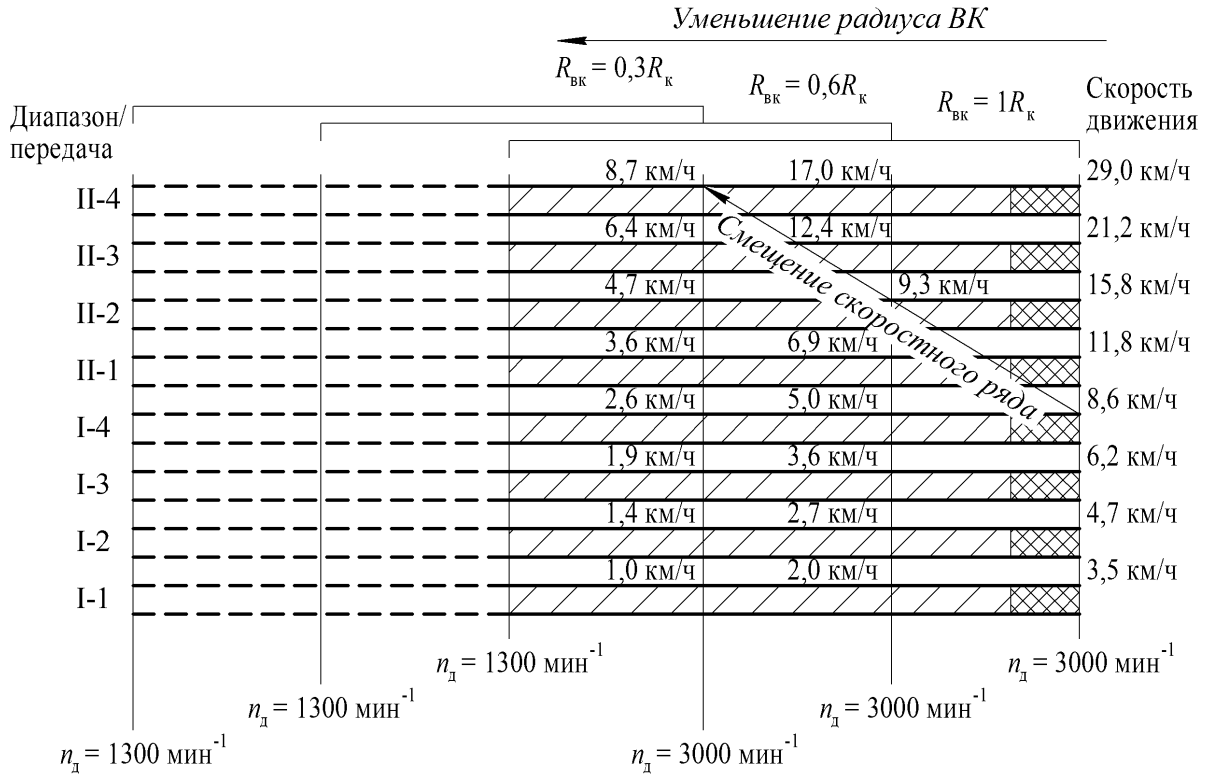


Рисунок 2 - Смещение скоростей движения для различных передач в зависимости от радиуса ВК с/х трактора класса 0,6 (0,9): $R_к$ – радиус колеса штатной колесной ходовой системы трактора; $R_{вк}$ – радиус ВК СГХС; $n_д$ – частота вращения двигателя

Реализуемая в настоящее время агротехнология обработки почвы и ухода за пропашными и непропашными культурами, а также работа в садах и виноградниках, требует наличия рабочих скоростей в диапазоне от 9 до 16 км/ч в зависимости от вида технологической операции. Таким образом, необходимо достичь соответствия наиболее востребованных рабочих скоростей движения номерам передач, обеспечивающих наиболее эффективную загрузку двигателя при установке СГХС. При этом для расчета предпочтительной величины радиуса начальной окружности $R_{вк}$ возможно воспользоваться следующей зависимостью:

$$R_{вк} = R_к \cdot \frac{V_г\, n_{max}}{V_{max}\, n_э}, \qquad (2)$$

где $V_г$ – желаемая технологическая скорость движения трактора с СГХС; V_{max} – максимально возможная скорость движения трактора на высшей передаче; n_{max} – максимальная частота вращения двигателя при максимальной скорости движения; $n_э$ – частота вращения двигателя, находящаяся в зоне наибольшей экономичности его работы

Данная зависимость формируется из двух пропорций, первая из которых определяет взаимосвязь между радиусами ведущих колес и скоростями движения:

$$\frac{R_{ВК}}{V_Г} = \frac{R_К}{V_К}, \qquad (3)$$

где $V_К$ – скорость движения колесного трактора.

А вторая пропорция устанавливает взаимосвязь между скоростями движения и частотами вращения коленчатого вала двигателя на разных режимах:

$$\frac{V_{max}}{n_{max}} = \frac{V_К}{n_э}. \qquad (4)$$

Использование данной зависимости можно проиллюстрировать схемой, изображенной на Рис. 3.

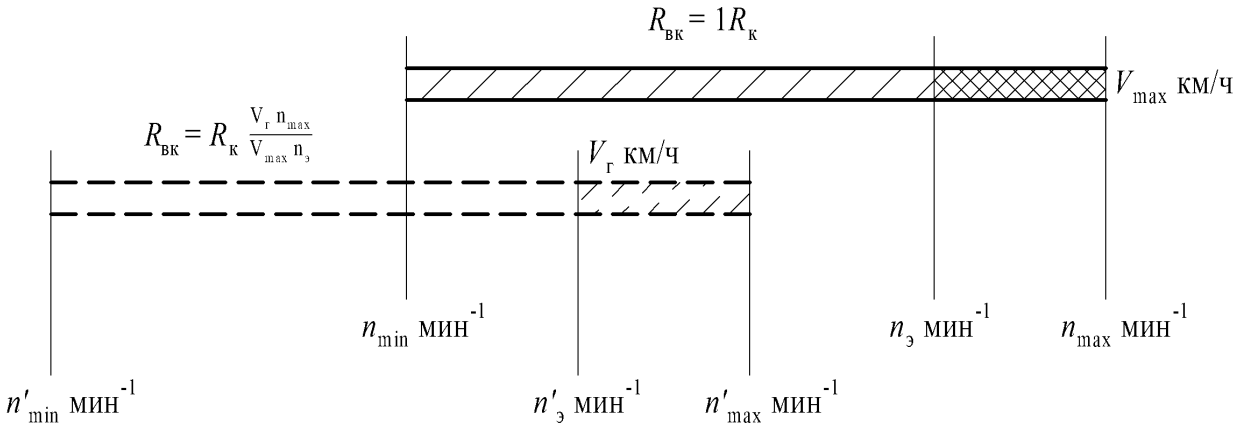


Рисунок 3 - Схема иллюстрирующая выбор радиуса ВК СГХС в зависимости от желаемой скорости движения и частоты вращения двигателя: n_{min} – минимальная частота вращения двигателя; n'_{max}, $n'_э$,n'_{min} – соответственно максимальная частота вращения, частота вращения в зоне наибольшей экономичности работы и минимальная частота вращения двигателя спроецированные на диаграмму скорости движения после расчета $R_{вк}$

В соттветствии с диаграммой, представленной на рис. 2, в рассматриваемом случае также произойдет смещение рабочего диапазона двигателя относительно исходных скоростей движения трактора, используемого в примере. Однако смещение это будет контролируемым, так как описывается специфической зависимостью, и позволит достичь требуемой скорости движения на интересующем режиме работы двигателя, а именно на той частоте вращения коленчатого вала, которая соответствует наибольшей экономичности работы.

СГХС можно устанавливать на КТ с различными колесными формулами: 4к2, 4к4а, 4к4б. Если на КТ с колесной формулой 4к4а установить СГХС с равными радиусами ВК на передней и задней оси, то при движении трактора будет возникать кинематическое несоответствие движения передних и задних СГХС (разные поступательные скорости переднего и заднего мостов). При движении по поверхности с низким коэффициентом сцепления передняя ось будет двигаться с большей скоростью, чем задняя, что вызовет либо буксование передних гусениц, либо юз задних. При движении по поверхности с высоким коэффициентом сцепления из-за несоответствия скоростей движения образуется контур циркуляции мощности (Рис. 4), дополнительно нагружающий трансмиссию и создающий дополнительно сопротивление в трансмиссии, вплоть до заклинивания и отказов элементов трансмиссии.

Чтобы избежать кинематического несоответствия в системе машина-опорная поверхность необходимо КТ с колесной формулой 4к4а укомплектовывать СГХС с различными радиусами ВК для передней и для задней оси, которые между собой находятся в том же соотношении, что и статические радиусы штатных колес передней и задней оси. В то же время, КТ с колесной формулой 4к4б необходимо укомплектовывать СГХС с равными радиусами ВК для обеих осей.

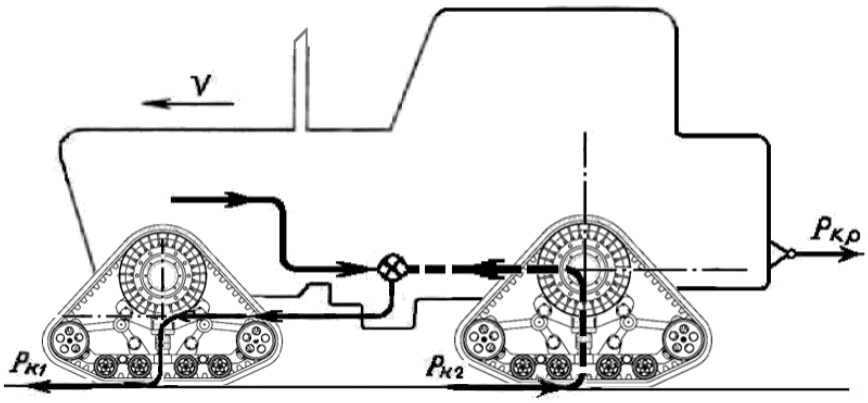


Рисунок 4 - Пример схемы контура циркуляции мощности в тракторах с колесной формулой 4к4а и установленными СГХС с равными радиусами ВК: $P_{к1}$ и $P_{к2}$ – касательная сила тяги, соответственно, для передней и задней СГХС; $P_{кр}$ – сила тяги на крюке; v – скорость движения

При необходимости установки СГХС с равными радиусами ведущих колес на КТ с колесной формулой 4к4а и отсутствии возможности внести

изменения в трансмиссию, один из ведущих мостов необходимо отключить. Помимо этого, желательно осуществить регулировку агротехнического просвета за счет смещения угла наклона редукторов конечных передач заднего ведущего моста, если такая возможность предусмотрена конструкцией трактора. Это позволит избежать характерного дифферента трактора, который возникает из-за разницы высот расположения ступиц передних и задних ведущих осей, а также восстановить прежнее значение агротехнического просвета, соответствующее трактору с оригинальной ходовой системой для успешной работы с учетом защитных зон растений.

Таким образом, последствия установки СГХС вместо штатных колес трактора можно разделить на два основных вида факторов: технические и эксплуатационные.

К техническим факторам можно отнести:

- снижение действительного диапазона скоростей движения трактора;
- повышение тягово-сцепных качеств;
- снижение КПД ходовой системы;
- повышение нагрузок в деталях трансмиссии.

К эксплуатационным факторам можно отнести:

- повышение проходимости;
- снижение топливной экономичности;
- повышение вибронагруженности;
- снижение уплотняющего воздействия на почву;
- снижение буксования.

Пренебрежение согласованием СГХС и трансмиссии может стать причиной усиления негативных факторов, среди перечисленных, и ослабления позитивных.

Зачастую установка СГХС – единственный способ повышения тягово-сцепных показателей тяговой машины и повышения ее общей проходимости. Однако способность трансмиссии КТ воспринять работу с новой ходовой системой, кардинально отличающейся по своему принципу работы и действующим нагрузкам от штатной ходовой системы, до настоящего времени учитывается поверхностно. В действительности же данный вопрос требует особого внимания и проработки, так как на прямую может влиять на срок службы деталей основных узлов и агрегатов КТ.

Прямые препятствия на пути установки СГХС на КТ отсутствуют, тем не менее, следует иметь в виду, что изменение типа ходовой системы влечет за собой вмешательство в работу выверенной расчетным путем системы двигатель-трансмиссия-ходовая система-почва, что требует технически грамотного подхода к реализации этого направления, возможно даже с вовлечением представителей предприятия – производителя. В подтверждении этого можно привести следующие выводы из представленной работы:

1. Разработан ряд рекомендаций по согласованию СГХС и трансмиссии за счет подбора необходимого радиуса ВК СГХС.

2. Согласование СГХС с трансмиссией трактора является необходимым условием обеспечения надежности трансмиссии, топливной экономичности и требований агротехники.

3. Желательно в конструкции трансмиссии КТ и СГХС обеспечивать регулировку передаточного числа трансмиссии или самого ВК в зависимости от колебаний момента сопротивления, например, за счет установки вариатора в конечной передаче КТ или изготовления ВК с изменяемой геометрией.

4. Сформулированы особенности установки СГХС на КТ с различными колесными формулами.

Учитывая реализацию в сельскохозяйственном производстве государственных программных мероприятий по информатизации, интеллектуализации и роботизации отдельных процессов, представляется перспективной разработка интеллектуальных систем управления (исполнительных механизмов и программно-аппаратного обеспечения) работой привода СГХС, обеспечивающих предотвращение возникновения режимов работы с циркуляцией мощности и автоматическое повышение тяговых характеристик.

В такой системе блок управления трактора, основываясь на показаниях датчиков, анализирующих качество поверхности пути и величину буксования, а также характер и скорость движения, принимает решение о подключении или отключении бортовых редукторов привода СГХС, или переводе их в режим работы на пониженных скоростях, для устранения циркуляции мощности на твердом основании с высоким коэффициентом сцепления, снижения величины буксования или повышения проходимости.

Список литературы

1. Шарипов В.М., Апелинский Д.В., Арустамов Л.Х. и др. Тракторы. Конструкция. М.: Машиностроение, 2012. 790 с.

2. Шарипов В.М., Дмитриева Л.А., Сергеев А.И., Шевелев А.С., Щетинин Ю.С. Проектирование ходовых систем тракторов. М.: МГТУ «МАМИ», 2006. 82 с.

3. Сравнение тяговых показателей и долговечности гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов / Н.А. Щельцын, В.Д. Бейненсон, Р.С. Федоткин и др. // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2017. – № 4 (34). – С. 81-88.

4. Купрюнин Д.Г., Щельцын Н.А., Бейненсон В.Д., Федоткин Р.С., Белый И.Ф., Ревенко В.Ю. Экспериментальное исследование сравнительных показателей гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2016. № 3 (29). С. 16-24.

5. Федоткин Р.С., Бейненсон В.Д., Крючков В.А., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С. Резиноармированные гусеницы сельскохозяйственных тракторов. Жесткость при растяжении и изгибе // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2016. № 2 (28). С. 32-38.

6. Шарипов В.М., Крючков В.А., Дмитриев М.И., Шевелев А.С. Новое направление в развитии конструкций коробок передач автомобилей и тракторов// Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. С. 214-216.

7. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.

8. Крючков В.А., Федоткин Р.С. Создание универсального гусеничного трактора класса 0,6-2,0: Силовая передача и гидропневмопривод // Сборник материалов Десятой всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 513-516.

9. Савочкин В.А. Тяговый расчет трактора / В.А. Савочкин - М.: МГТУ «МАМИ», 2001. - 48 с.

10. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно--технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 7-10.

11. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. В сборнике: ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства. 2017. С. 333-343.

12. Федоткин Р.С., Крючков В.А., Бейненсон В.Д., Парфенов В.Л. Методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин// Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 3. – С. 24-33.

13. Галкин С.Н., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю. Агротехнические и технологические параметры автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 5. С. 3-6.

14. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Галкин С.Н. Инновационное развитие транспортной сферы агропромышленного комплекса. Москва, 2011.

15. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizating power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers // SAE Technical Papers. 2017. T. 2017-January. № January. C. 18-24.

References

1. SHaripov V.M., Apelinskij D.V., Arustamov L.H. i dr. Traktory. Konstrukciya. [Tractors. Construction] M.: Mashinostroenie, 2012. 790 p.

2. SHaripov V.M., Dmitrieva L.A., Sergeev A.I., SHevelev A.S., SHCHetinin YU.S. Proektirovanie hodovyh sistem traktorov. [Tractor undercarriage design] M.: MGTU «MAMI», 2006. 82 p.

3. Sravnenie tyagovyh pokazatelej i dolgovechnosti gusenichnyh dvizhitelej sel'skohozyajstvennyh traktorov [Comparison of traction performance and durability of tracked engines of agricultural tractors] / N.A. SHCHel'cyn, V.D. Bejnenson, R.S. Fedotkin i dr. // Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI. – 2017. – No.4 (34). – pp. 81-88.

4. Kupryunin D.G., SHCHel'cyn N.A., Bejnenson V.D., Fedotkin R.S., Belyj I.F., Revenko V.YU. EHksperimental'noe issledovanie sravnitel'nyh pokazatelej gusenichnyh dvizhitelej sel'skohozyajstvennyh traktorov [Experimental study of comparative indicators of tracked engines of agricultural tractors] // Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI. 2016. No.3 (29). pp. 16-24.

5. Fedotkin R.S., Bejnenson V.D., Kryuchkov V.A., SHaripov V.M., SHCHetinin YU.S. Rezinoarmirovannye gusenicy sel'skohozyajstvennyh traktorov. ZHestkost' pri rastyazhenii i izgibe [Rezinoarmirovanny caterpillars of agricultural tractors. Stiffness in tension and bending] // Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI. 2016. No.2 (28). pp. 32-38.

6. SHaripov V.M., Kryuchkov V.A., Dmitriev M.I., SHevelev A.S. Novoe napravlenie v razvitii konstrukcij korobok peredach avtomobilej i traktorov// Sbornik materialov VI Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Problemy i dostizheniya avtotransportnogo kompleksa». Ekaterinburg [A new direction in the development of designs for gearboxes of automobiles and tractors // Collection of materials of the VI All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems and Achievements of the Motor Transport Complex". Ekaterinburg]: UGTU-UPI, 2008. pp. 214-216.

7. SHaripov V.M. Konstruirovanie i raschet traktorov. M.: Mashinostroenie [Construction and calculation of tractors. Mechanical engineering], 2009. 752 p.

8. Kryuchkov V.A., Fedotkin R.S. Sozdanie universal'nogo gusenichnogo traktora klassa 0,6-2,0: Silovaya peredacha i gidropnevmoprivod // Sbornik materialov Desyatoj vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh i specialistov (s mezhdunarodnym uchastiem) «Budushchee mashinostroeniya Rossii» [Creating a universal caterpillar tractor class 0.6-2.0: Powertrain and hydraulic pneumatic // Collection of materials of the Tenth All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists (with international participation) “The Future of Russian Engineering”]. M.: MGTU im. N.EH. Baumana, 2017. pp. 513-516.

9. Savochkin V.A. Tyagovyj raschet traktora [Traction tractor calculation] / V.A. Savochkin - M.: MGTU «MAMI», 2001. - 48 p.

10. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii. V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno--tekhnicheskoj konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [The system of technologies and machines for the innovative development of the agricultural sector of Russia. In the collection: The system of technologies and machines for the innovation development of the agricultural sector of Russia. A collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 145th anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics, academician V.P. Goryachkina. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization]. 2013.pp. 7-10.

11. Lobachevskij YA.P., Dorohov A.S. Perspektivnye nauchno-tekhnicheskie proekty v sfere mekhanizacii i robotizacii sel'skogo hozyajstva. V sbornike: FORMIROVANIE EDINOGO NAUCHNO-TEKHNOLOGICHESKOGO PROSTRANSTVA SOYUZNOGO GOSUDARSTVA: PROBLEMY, PERSPEKTIVY, INNOVACII Materialy postoyanno dejstvuyushchego seminara pri Parlamentskom Sobranii Soyuza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva [Promising scientific and technical projects in the field of mechanization and robotization of agriculture. In the collection: FORMING A UNIFIED SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SPACE OF THE UNION STATE: PROBLEMS, PROSPECTS, INNOVATIONS Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State]. 2017. pp. 333-343.

12. Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Bejnenson V.D., Parfenov V.L. Metodika proektirovaniya vedushchih koles cevochnogo zacepleniya s rezinoarmirovannymi gusenicami tyagovyh i transportnyh mashin [Technique for designing drive wheels for hitch lock with rubber-caterpillar tracks of traction and transport vehicles]// Traktory i sel'hozmashiny [Tractors and agricultural machinery]. – 2017. – No.3. – pp. 24-33.

13. Galkin S.N., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Evtyushenkov N.E., Izmajlov A.YU. Agrotekhnicheskie i tekhnologicheskie parametry avtomobilej sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Agrotechnical and technological parameters of agricultural vehicles] // Traktory i sel'hozmashiny. 2011. № 5. S. 3-6.

14. Izmajlov A.YU., Evtyushenkov N.E., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Galkin S.N. Innovacionnoe razvitie transportnoj sfery agropromyshlennogo kompleksa [Innovative development of the transport sector of the agro-industrial complex]. Moskva, 2011.

15. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizating power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers // SAE Technical Papers. 2017. T. 2017-January. № January. S. 18-24.

УДК 663.813:631.172

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕМБРАННОГО МОДУЛЯ

THEORETICAL ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENT THE OPERATION PARAMETERS OF THE MEMBRANE MODULE

О. А. КУВШИНОВА, *к.т.н., доцент,* ***Т. П. БОЯРКИНА,*** *магистр, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», г. Саранск, Россия*

O. A. KUVSHINOVA*, cand. tech. sci., associate Professor,* ***T. P. BOYARKINA****, master student, FSBEI "Moscow state University. N. P. Ogarev", Saransk, Russia*

Аннотация*. В статье представлены результаты численного анализа нестационарного процесса проточной микрофильтрации яблочного сока на керамических мембранах, проведенного с помощью программы «Simulation CFM-Microfiltration». В результате установлена зависимость энергоэффективности процесса проточной микрофильтрации от трех базовых параметров: трансмембранной разности давлений, концентрации дисперсной фазы и скорости течения ретентата в каналах мембранного элемента. Показано, что диапазон значений удельных энергозатрат 15…30 кДж/л является оптимальным для процесса микрофильтрации яблочного сока. Полученные аналитические соотношения позволяют рассчитать производительность мембранного модуля, его гидродинамическое сопротивление и выбрать оптимальные технологические параметры.*

Ключевые слова*: микрофильтрация; яблочный сок; энергоэффективность; керамическая мембрана; мембранный модуль.*

Abstract*. The article presents the results of numerical analysis of the unsteady process of Apple juice flow microfiltration on ceramic membranes, carried out using the program "Simulation CFM - Microfiltration". As a result, the dependence of the energy efficiency of the flow microfiltration process on three basic parameters: the transmembrane pressure difference, the concentration of the dispersed phase and the flow rate of the retentate in the channels of the membrane element. It is shown that the range of specific energy consumption values of 15...30 kJ/l is optimal for the process of microfiltration of Apple juice. The obtained analytical relations allow us to calculate the performance of the membrane module, its hydrodynamic resistance and select the optimal technological parameters.*

Keywords*: microfiltration; Apple juice; energy efficiency; ceramic membrane; membrane module.*

Свежеотжатые соки представляют собой сложную полидисперсную систему, содержащую крупные и мелкие взвешенные частицы плодовой мякоти, коллоидно-растворимые, молекулярно- и ионорастворимые химические вещества [1 – 4]. Общее количество коллоидов, например, в яблочном соке составляет 5…7 г/дм^3.

Основным направлением использования микрофильтрации является удаление взвесей до 50 % массовой доли высокомолекулярных веществ из сырья (сока-полуфабриката), что обеспечивает стабильность качества осветленного сока при длительном хранении, поскольку пектин, белки, крахмал и другие высокомолекулярные вещества, длительное время находящиеся во взвешенном состоянии, обуславливают мутность продукта [5 – 6].

При микрофильтрационном осветлении сока дисперсионная фаза проходит

через мембрану в трансмембранный канал и отводится в виде пермеата, а дисперсная задерживается в мембранном канале, концентрируется и выводится в виде ретентата. Часть дисперсной фазы при этом скапливается на поверхности мембранного канала в виде осадка (геля) и функционирует далее, как динамическая мембрана, увеличивая селективность и снижая коэффициент проницаемости мембранного элемента [7]. Периодически требуется остановка процесса фильтрации для проведения весьма трудоемкой очистки мембранного канала от осадка. Предпочтительным является принцип поддержания минимальной толщины осадка за счет организации турбулентного циркуляционного движения концентрируемой фазы вдоль поверхности фильтрации [8].

Основными задачами при проектировании мембранных установок являются расчет площади фильтрации, подбор типа мембран в зависимости от состава исходного сырья и требований к осветленному соку, а также определение оптимальных режимов движения пермеата и ретентата в мембранном модуле [9].

Настройка трансмембранного давления при данной скорости циркуляции ретентата возможна увеличением сопротивления как пермеатной линии, так и ретентатной. На практике при высокой скорости гелеобразования рекомендуют [9] снижать трансмембранное давление (движущую силу процесса) дросселированием пермеатной линии, что сопровождается ростом давления в трансмембранном канале.

Представляло интерес сравнить энергозатраты при регулировании давления дросселированием пермеатной и ретентатной магистралей.

Численный анализ проточной микрофильтрации через керамический мембранный элемент селективностью 500 кД, эквивалентным диаметром пор $d_{эм}$ = 0,1 мкм и фактором сопротивления $\chi_м = 4{,}93 \cdot 10^{11}$ м$^{-1}$ проведен с помощью программы «Simulation CFM- Microfiltration» [10] для температуры 40 ^{o}C, отвечающей оптимальным условиям переработки яблочного сока. Значения технологических параметров варьировались в следующих диапазонах: трансмембранная разность давлений – $\Delta p_{тм}$ = 0,4…4 бар; концентрация дисперсной фазы яблочного сока – C = 28…164 кг/м^3; среднерасходовая скорость циркуляции ретентата – $\overline{W}_z$ = 1…5 м/с. Исследованные значения охватывают диапазон практически целесообразных параметров эксплуатации микрофильтрационных установок.

На Рис. 1 представлена полученная с помощью программы «Simulation CFM- Microfiltration» [10] расчетная зависимость удельных энергозатрат от трансмембранного давления при скорости циркуляции ретентата $\overline{W}_z$ = 5 м/с и концентрации дисперсной фазы C_f = 115 кг/м^3.

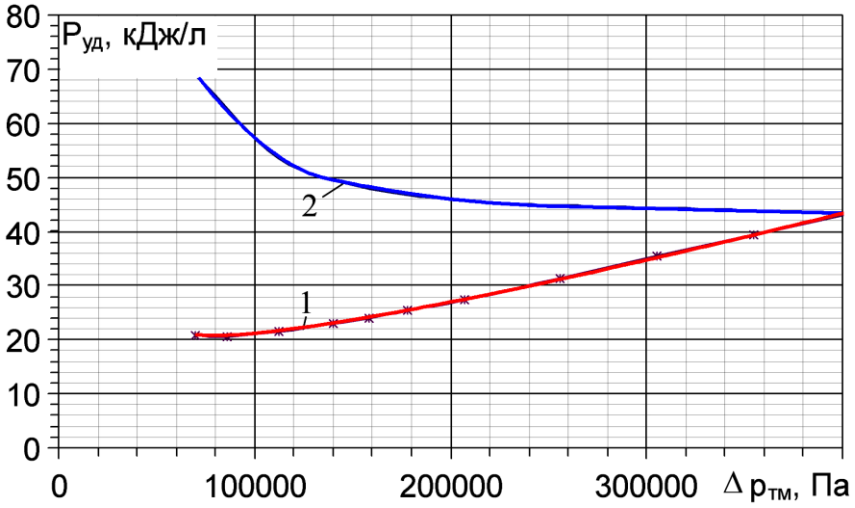
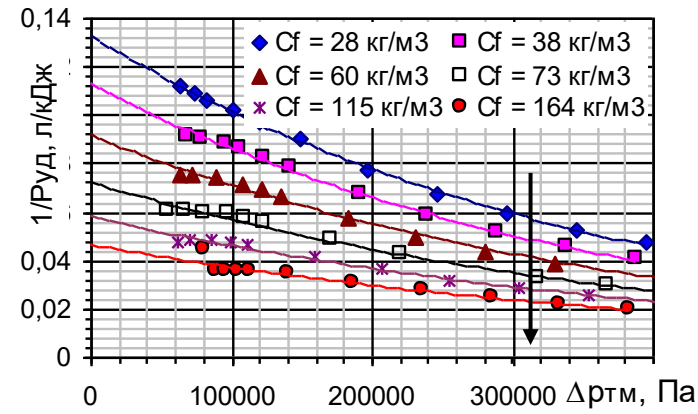


Рисунок 1 - Зависимость удельных энергозатрат от трансмембранного давления при регулировке его дросселированием ретентатной (1) и пермеатной линий (2)

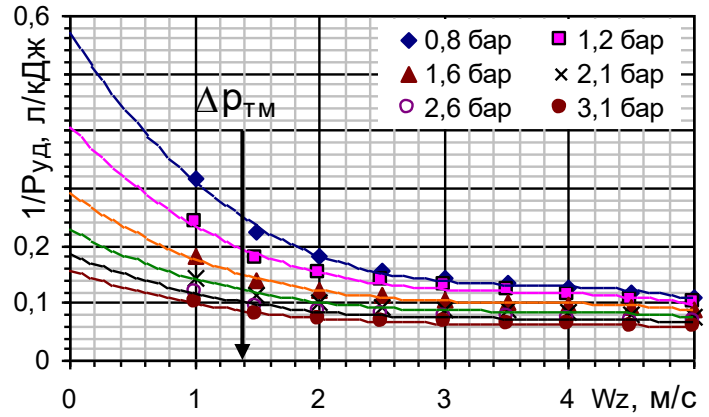
Можно сделать важный вывод о том, что в области оптимальных значений трансмембранной разности давлений 200…300 кПа, удельные затраты энергии на проведение процесса микрофильтрации при настройке данного параметра дросселированием пермеатной магистрали будут в 1,25…1,75 раза выше, чем при дросселировании ретентатной.

На Рис. 2 представлена зависимость показателя энергоэффективности процесса микрофильтрации (объем фильтрата, полученный на единицу затраченной энергии – величина обратная удельным энергозатратам) от трех базовых параметров при регулировке давления фильтрации дросселированием ретентатной линии.

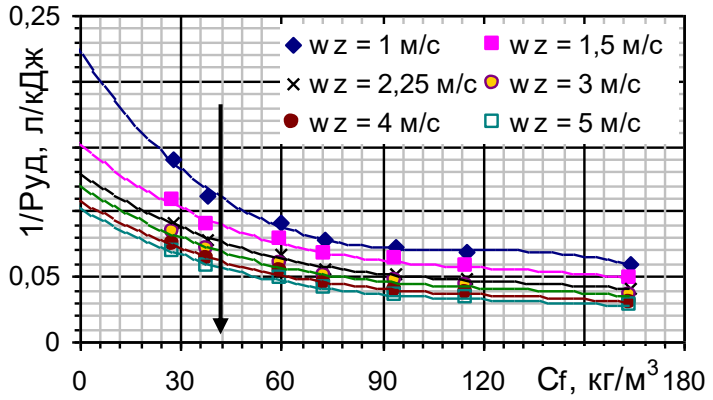
Анализируя графики можно заключить, что в пределах рассматриваемого диапазона изменения значений базовых технологических параметров, последние по значимости располагаются в следующем порядке: $\Delta p_{тм}$, C_f, $\overline{W}_z$.



а



б



в

Рисунок 2 - Зависимость энергоэффективности процесса от трансмембранной разности давлений при w_z = 5 м/с (а), C_f = 28 кг/м^3 (б) и $\Delta p_{тм}$ = 2,5 бар (в)

Так, при $\Delta p_{тм}$ = 2,5 бар, $\overline{W}_z$ = 5 м/с, C_f = 60 кг/м^3 показатель энергоэффективности будет равен 0,048 л/кДж. При снижении значений всех параметров в 1,5 раза показатель составит 0,09 л/кДж. Поочередное полуторакратное снижение данных параметров приводит к следующим результатам:

$\Delta p_{тм}$ = 1,64 бар $\overline{W}_z$ = 5 м/с C_f = 60 кг/м^3 $P_{уд}^{-1}$ = 0,061 кДж/л

$\Delta p_{тм}$ = 2,5 бар $\overline{W}_z$ = 5 м/с C_f = 40 кг/м^3 $P_{уд}^{-1}$ = 0,057 кДж/л

$\Delta p_{тм}$ = 2,5 бар $\overline{W}_z$ = 3,33 м/с C_f = 60 кг/м^3 $P_{уд}^{-1}$ = 0,055 кДж/л

При решении задачи выбора энергоэффективных (с позиций минимизации энергозатрат) технологических параметров следует избегать

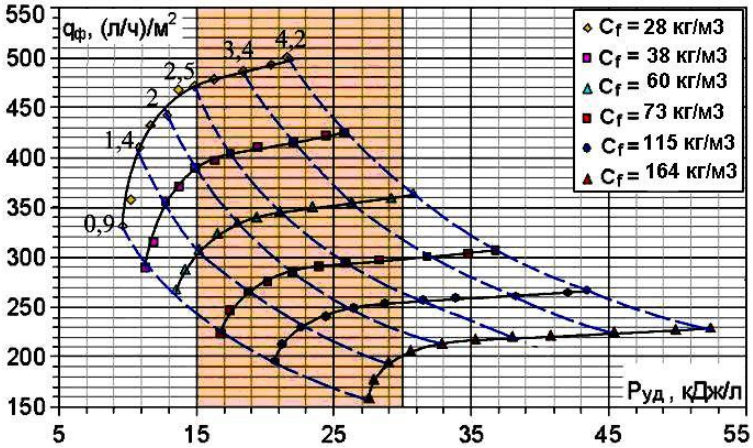
существенного снижения скорости фильтрации, компенсация которого увеличением количества мембранных элементов может привести к росту стоимости мембранной установки.

На Рис. 3 представлена полученная зависимость скорости фильтрации от величины удельных энергозатрат при различных значениях параметров процесса.

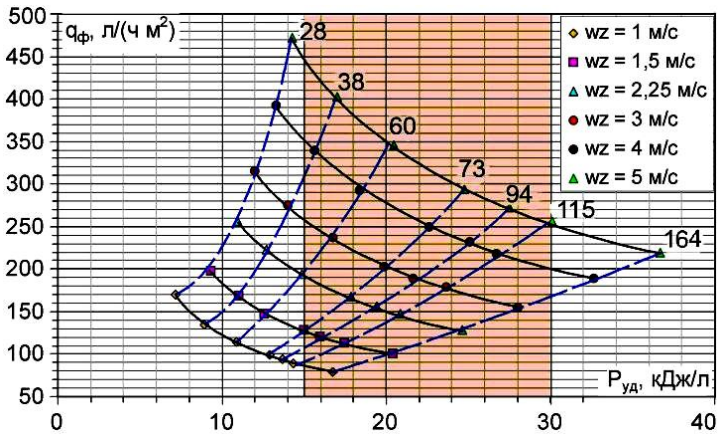
При выборе оптимальных параметров процесса будем считать допустимым снижение скорости фильтрации не более чем на 10 %.

Исходя из такого подхода, на Рис. 3 выделена область оптимальных удельных энергозатрат $P_{уд}$ = 15…30 кДж/л, в пределах которой следует выбирать энергоэффективные параметры процесса фильтрации.

Так, например, при концентрации дисперсной фазы C_f = 28 кг/м^3 и оптимальной скорости циркуляции $\overline{W}_z$ = 5 м/с (Рис. 3, а) допустимы значения $\Delta p_{тм}$ = 2,4…4,2 бар, обеспечивающие скорость фильтрации $q_ф$ = 470…500 (л/ч)/м^2, в то же время при C_f = 164 кг/м^3 и $\overline{W}_z$ = 5 м/с трансмембранное давление не должно превышать 1,4…1,7 бар с достижением значения $q_ф$ = 190…200 (л/ч)/м^2. Соответственно при оптимальном значении трансмембранного давления 2,5…2,6 бар и C_f = 28…38 кг/м^3 (Рис. 3, б) допустимы скорости $\overline{W}_z$ = 4,5…5 м/с, обеспечивающие $q_ф$ = 400…450 (л/ч)/м^2, а при C_f = 164 кг/м^3 – скорости $\overline{W}_z$ = 3…3,5 м/с при $q_ф$ = 150… 170 (л/ч)/м^2.



а



б

Рисунок 3 - Зависимость скорости фильтрации от удельных затрат энергии при w_z = 5 м/с (а) и $\Delta p_{тм}$ = 2,5 бар (б); цифры у графиков – значения средней трансмембранной разности давлений (а) и средней скорости ретентата (б).

Список литературы

1. Шобингер У. Фруктовые и овощные соки: научные основы и технологии / пер. с нем. под общ. науч. ред. А. Ю. Колеснова, Н. Ф. Берестеня, А. В. Орещенко. – СПб : Профессия, 2004. – 640 с.

2. Дубцов Г. Г. Товароведение пищевых продуктов / Г. Г. Дубцов. - М.: «Академия», 2006. 264 с.

3. Кардашева М. В. Введение в технологию продуктов питания / М. В. Кардашева. – Кемерово: изд-во Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2004. – 121 с.

4. Оз Кларк. Вино. Новая всемирная энциклопедия / О. Кларк. – М.: Эксмо, 2004. – 320 с.

5. Ничай Т. В. Мембранные технологии при производстве пищевых продуктов / Т. В. Ничай // Перспективы производства продуктов питания нового поколения: мат-лы Всероссийской научно-практ. конф. с международ. участием, посвящ. памяти проф. Сапрыгина Г. П. – Омск: Омский ГАУ им. П. А. Столыпина, 2017. – с. 229 – 232.

6. Исламов М. Н. Состояние и перспективные направления использования мембранных технологий в различных отраслях / М. Н. Исламов // Совершенствование технологических процессов в пищевой промышленности: сб. науч. трудов преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов технол. факультета ДГТУ. – Махачкала, 2016. с. 63 – 72.

7. Кувшинова О.А. Исследование осадкообразования на поверхности керамического мембранного элемента при тупиковой микрофильтрации яблочного сока / О. А. Кувшинова, М. А. Бундаева // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Лапшинские чтения: Мат-лы IX Международ. научно-практ. конф. – Саранск, 2013. С. 303 – 306.

8. Орлов Н. С. Ультра- и микрофильтрация / Н. С. Орлов. – М. : РХТУ им. Менделеева, 2014. – 117 с.

9. Алюханова О. А. Ультрафильтрационное осветление яблочного сока / О. А. Алюханова, В. Н. Водяков // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 6. С. 17 – 19.

10. Программа моделирования микрофильтрационных процессов «Simulation CFM-Microfiltration»: Свидетельство РФ № 2011616277/ В. В. Кузнецов, О. А. Алюханова, В. Н. Водяков. – № 2011614437, заявл. 16.06.2011; опубл. 10.08.2011. – 1 с.

1. References

1. SHobinger U. Fruktovye i ovoshchnye soki: nauchnye osnovy i tekhnologii [Fruit and vegetable juices: scientific foundations and technologies] / per. s nem. pod obshch. nauch. red. A. YU. Kolesnova, N. F. Berestenya, A. V. Oreshchenko. – SPb : Professiya, 2004. – 640 p.

2. Dubcov G. G. Tovarovedenie pishchevyh produktov [Food Product Merchandise] / G. G. Dubcov. - M.: «Akademiya», 2006. 264 p.

3. Kardasheva M. V. Vvedenie v tekhnologiyu produktov pitaniya [Introduction to food technology] / M. V. Kardasheva. – Kemerovo: izd-vo Kemerovskij tekhnologicheskij institut pishchevoj promyshlennosti, 2004. – 121 p.

4. Oz Klark. Vino. Novaya vsemirnaya ehnciklopediya [Wine. New World Encyclopedia] / O. Klark. – M.: EHksmo, 2004. – 320 p.

5. Nichaj T. V. Membrannye tekhnologii pri proizvodstve pishchevyh produktov [Membrane technology in food production] / T. V. Nichaj // Perspektivy proizvodstva produktov pitaniya novogo pokoleniya [Prospects for new generation food production]: mat-ly Vserossijskoj nauchno-prakt. konf. s mezhdunarod. uchastiem, posvyashch. pamyati prof. Saprygina G. P. – Omsk: Omskij GAU im. P. A. Stolypina, 2017. – s. 229 – 232.

6. Islamov M. N. Sostoyanie i perspektivnye napravleniya ispol'zovaniya membrannyh tekhnologij v razlichnyh otraslyah / M. N. Islamov // Sovershenstvovanie tekhnologicheskih

processov v pishchevoj promyshlennosti: sb. nauch. trudov prepodavatelej, sotrudnikov, aspirantov i studentov tekhnol. fakul'teta DGTU. – Mahachkala, 2016. p. 63 – 72.

7. Kuvshinova O.A. Issledovanie osadkoobrazovaniya na poverhnosti keramicheskogo membrannogo ehlementa pri tupikovoj mikrofil'tracii yablochnogo soka [Investigation of sedimentation on the surface of a ceramic membrane element during dead-end microfiltration of apple juice] / O. A. Kuvshinova, M. A. Bundaeva // Resursosberegayushchie ehkologicheski bezopasnye tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii [Resource-saving, environmentally friendly technologies for the production and processing of agricultural products]. Lapshinskie chteniya: Mat-ly IX Mezhdunarod. nauchno-prakt. konf. – Saransk, 2013. pp. 303 – 306.

8. Orlov N. S. Ul'tra- i mikrofil'traciya [Ultra and microfiltration] / N. S. Orlov. – M. : RHTU im. Mendeleeva, 2014. – 117 p.

9. Alyuhanova O. A. Ul'trafil'tracionnoe osvetlenie yablochnogo soka [Ultrafiltration clarification of apple juice] / O. A. Alyuhanova, V. N. Vodyakov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2011. – No. 6.pp. 17 – 19.

10. Programma modelirovaniya mikrofil'tracionnyh processov [Microfiltration Modeling Program] «Simulation CFM-Microfiltration»: Svidetel'stvo RF No. 2011616277/ V. V. Kuznecov, O. A. Alyuhanova, V. N. Vodyakov. – No. 2011614437, zayavl. 16.06.2011; opubl. 10.08.2011. – 1 p.

УДК 631.3.01

СООТВЕТСТВИЕ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ КАТАЛИТИЧЕСКИМИ НЕЙТРАЛИЗАТОРАМИ УСТАНОВЛЕННЫМ НОРМАТИВАМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

COMPLIANCE OF EXHAUST GAS PURIFICATION WITH CATALYTIC CONVERTERS TO ESTABLISHED AIR POLLUTION STANDARDS

***Е.Ю. КУДРЯШОВА**, младший научный сотрудник, **С.В. ГОРБУНОВА**, инженер, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***E.YU. KUDRYASHOVA**, Junior researcher, **S.V. GORBUNOVA**, an engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Проблема регулирования выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств рассматривается на международном уровне. Страны Европы, Азии и Северной Америки разработали и успешно применяют стандарты, регламентирующие количеств загрязняющих веществ в отработавших газах бензиновых и дизельных двигателей.*

Европейские страны обратили внимание на проблему загрязнений значительно раньше, в отличие от России. Экономическая миссия ООН приняла стандарт Euro, направленный на снижение количества загрязнений еще в 1992 году. С того времени стандарт Euro пересматривается. Новые требования стандарта с каждым разом более и более ужесточает требования к количеству и качеству выбрасываемых автотранспортом отработавших газов. В России требования стандарта Euro вводятся с задержкой, по сравнению со странами Европы [1, 4].

В странах Европы для автомобильного транспорта разработан и вступил в силу стандарт Euro, а для двигателей внедорожной техники (для сельскохозяйственных машин, карьерной, дорожной, строительной техники, машин специального назначения и дизельных генераторов) принят к действию стандарт Stage [6, 9, 10].

В Российской Федерации стандарт Euro распространяется на бензиновые и дизельные двигатели автомобилей. Для внедорожной дизельной техники, в том числе и для дизельных сельскохозяйственных машин действуют стандарты ГОСТ Р 41.96-2005.

***Abstract**. The problem of controlling emissions of pollutants from vehicles is considered at the international level. The countries of Europe, Asia and the USA have developed and successfully apply standards regulating the amounts of pollutants in exhaust gases of petrol and diesel engines.*

European countries drew attention to the problem of pollution much earlier, unlike Russia. The UN Economic Commission adopted the Euro standard, aimed at reducing the amount of pollution in 1992. Since then, the Euro standard has been revised. The new requirements of the standard each time more and more tightens the requirements for the quantity and quality of exhaust gases emitted by vehicles. In Russia, the requirements of the Euro standard are introduced with a delay, compared with the countries of Europe [1, 4].

In Europe, for road transport, the Euro standard has been developed and entered into force, and the Stage standard has been adopted for off-road machinery (for agricultural machinery, quarry, road, construction equipment, special purpose vehicles and diesel generators) [6, 9, 10].

In the Russian Federation, the Euro standard applies to petrol and diesel car engines. For off-road diesel equipment, including for diesel agricultural machines, the standards of GOST R 41 96-2005 apply.

Ключевые слова: *Стандарт, законодательство, требования к очистке воздуха, бензиновые двигатели, дизельные двигатели, сельскохозяйственная техника.*

Keywords: *Standard, legislation, requirements for air purification, gasoline engines, diesel engines, agricultural machinery.*

Важно то обстоятельство, что стандарт качества отработавших газов Tier распространяется на двигатели морских судов, при том, что стандарт Stage данные двигатели не регламентирует. То есть, в европейских странах для двигателей морских судов нет ограничений в количестве выбрасываемых с отработавшими газами загрязняющих веществ. Стандарт Tier распространяется на все группы дизельных двигателей (на двигатели различных мощностей). Стандарт Stage ограничивает выбросы только дизельные двигатели с мощностью от 56 кВт до 560 кВт. Таким образом, дизельные двигатели малой мощности не регламентируются данным стандартом. Страны Азии применяют все три экологических стандарта. Стандарт Tier применяется для дизельных двигателей малой мощности. Стандарты Euro и Stage применяются, но в крупных городах, где уровень загрязнения намного выше, приняты более строгие экологические требования к выхлопным газам двигателей. Япония разработала нормы выбросов для отработавших газов, которые являются общенациональными. Данные стандарты не основываются на европейские и американские стандарты, но по показателям они мало от них отличаются [4, 5, 8].

Американский стандарт Tier 4 final и европейский стандарт Stage IV соответствуют друг другу. В Российской Федерации для дизельных сельскохозяйственных машин действуют нормы ГОСТ Р 41.96-2005. Согласно данному ГОСТ для загрязняющих веществ в отработавших газах допустимы следующие концентрации (Табл. 1).

Таблица 1

Показатели допустимого содержания загрязняющих веществ в соответствии с ГОСТ Р 41.96-2005

Наименование веществ	Допустимое количество (г/кВт/ч)		
Оксид азота * (NOx)	9,2	9,2	9,2
Углеводороды (CH)	1,3	1,3	1,3
Оксид углерода (CO)	5	5	6,5
Взвешенные вещества (PM)	0,54	0,70	0,85
ПРИМЕЧАНИЕ: * - для двигателей, выпущенных серийно до введения в действие данного стандарта, (т.е. до 1999 года)	P≥ 130	75 ≤ P< 130	37 ≤ P < 75
	Полезная мощность P, кВт		

Количественные показатели выбросов, ограничиваемые ГОСТом сопоставимы с ранними версиями стандарта Stage (а именно соответствует Stage I). По данному экологическому стандарту количественные показатели

отстают от стран Европы и Азии, где выбросы от дизельных двигателей внедорожных машин соответствуют стандартам Stage II – III. [5, 8].

Все технические мероприятия, направленные на снижение вредных выбросов отработавших газов дизелей можно разделить на группы:

- совершенствование конструкциидизеля и точная регулировка параметров;
- применение каталитических нейтрализаторов ид ругих средств очистки;
- улучшение состава топлива.

Нормирование концентраций антропогенных выбросов существенно снижает нагрузку на окружающую природную среду. Необходимо интенсивное внедрение и жесткий контроль уже имеющихся экологических стандартов, разработка новых путей снижения загрязнений от дизельных двигателей в сельскохозяйственной деятельности [2, 3, 7,].

Нейтрализация газов путем удаления токсичных составляющих с помощью химических реакций в нейтрализаторе является эффективным способом решения проблемы комплексной очистки отработавших газов, нашедшим широкое применение на автотракторной технике с двигателем внутреннего сгорания. «Нано-центр» ФГБНУ ФНАЦ ВИМ ведет разработки, направленные на очистку отработавших газов дизелей. Разработаны металооксидные каталитические нейтрализаторы на основе оксидов металлов. Основным конструктивным материалом нейтрализатора является блочная сотовая высокопористая и термостойкая керамика.

В рамках испытаний производились измерения газовых выбросов, определение рабочих параметров нейтрализатора. Эксплуатационные испытания проводились на базе организаций, внедривших разработанные бесплатиновые нейтрализаторы отработавших газов. Несмотря на то, что бесплатиновые каталитические нейтрализаторы применялись на дизельной технике, работающей в помещениях с ограниченным воздухообменом, испытания проводились на открытом воздухе, то есть в условиях интенсивного воздухообмена, так как это требование техники безопасности. Аттестация технического состояния дизельного двигателя и контрольно-измерительных приборов осуществлялась в соответствии с нормативными требованиями.

Испытания проводились на тракторах серии МТЗ-82, находящихся в эксплуатации. Марка дизельного топлива, на котором проводились испытания: Л (летнее). При проведении испытаний измерения состава отработавших газов производилось следующими приборами: газоанализатор «ОПТОГАЗ – 500.1 П»; портативный дымомер «Мета –01 МП 0.1». Измерения проводятся согласно нормативной документации. Технические показатели параметров работы двигателей находились в пределах нормы во время проведения всех экспериментов [3].

Испытания бесплатиновых каталитических нейтрализаторов проводились параллельно с работой автотракторных единиц, не оснащенных
опытными приборами. То есть, проводились измерения состава отработавших газов тракторов, у которых выхлопной тракт оснащен только стандартным

глушителем. Такие испытания проводились для сравнительного анализа состава отработавших газов. При испытании бесплатинового нейтрализатора и стандартного глушителя проводились следующие измерения: оксид углерода (CO), %; дымность, %. Производились ежегодные замеры состава отработавших газов дизельных двигателей, установленных на тракторах серии МТЗ-82. Контроль проводился на тракторах, эксплуатируемых в организациях, внедривших в работу бесплатиновые каталитические нейтрализаторы.

Температурное окно работы нейтрализатора 250…450 °С без существенного ухудшения газодинамического сопротивления. Эксплуатационные испытания нейтрализаторов показали, что он позволяет снижать концентрацию загрязняющих веществ до 90%. Данные контрольных измерений состава отработавших газов представлены на рисунке 1.

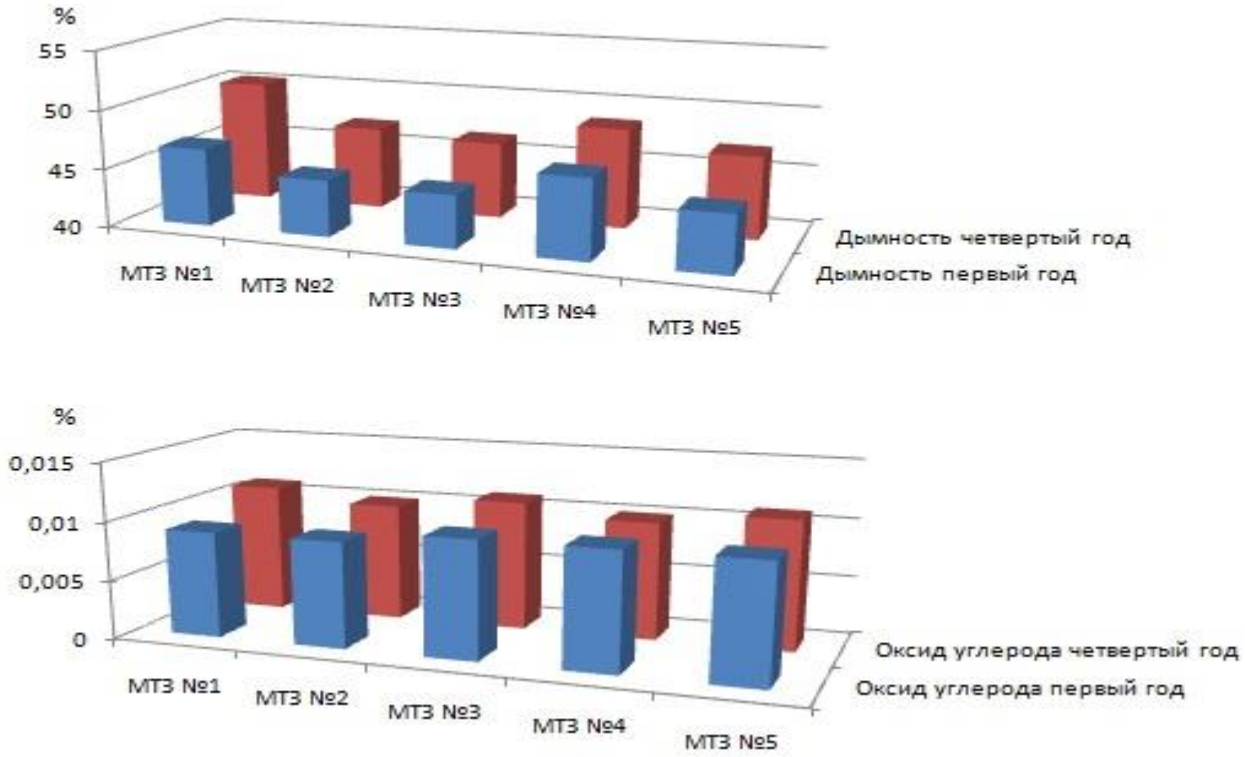


Рисунок 1 – Снижение степени очистки отработавших газов

Из таблицы видно, что эффективность каталитической очистки снижается в течение четырех лет. Изменение степени очистки отработавших газов бесплатиновым каталитическим нейтрализатором ежегодно снижается порядком 2…4 %.

По полученным результатам, можно сделать предположение о ресурсе работы бесплатиновой системы очистки – через 10 лет эффективность работы системы очистки снизится до 40%.

Сравнительная оценка результатов испытаний нейтрализатора и штатного глушителя, установленных на двигатель трактора МТЗ-82 позволяет сделать вывод о соответствии эффективности каталитического бесплатинового состава нейтрализатора всем экологическим и техническим требованиям, как по

отдельным составляющим удельных выбросов вредных веществ, так и по дымности.

Выводы:

1. Производились испытания каталитических нейтрализаторов отработавших газов дизельных двигателей, установленных на 5-ти тракторах серии МТЗ-82. Изменение степени очистки отработавших газов бесплатиновым каталитическим нейтрализатором ежегодно снижается на 2…4 %. По полученным результатам, можно сделать вывод о ресурсе работы бесплатиновой системы очистки – через 10 лет эффективность работы системы очистки снизится до 40%. И при этом будет соответствовать требованиям ГОСТ Р 41.96-2005.

2. Сравнительная оценка результатов испытаний нейтрализаторов и штатных глушителей, установленных на двигатели тракторов МТЗ-82 показывает снижение выбросов оксида углерода до 0,01%, дымность снизилась до 50%.

Список литературы

1. Агеев, Е.В. Особые условия технологической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей / Агеев Е.В., Щербаков А.В., Пикалов С.В. // Курск, 2015.

2. Азаров, В.К. Может ли автомобиль быть экологически чистым? / Азаров В.К., Кутенёв В.Ф. // Журнал автомобильных инженеров. - 2014.- № 4. - С. 58-61.

3. Алханова, Р.Р. Эколого-экономические аспекты воздействия и инновационные инструменты снижения техногенной нагрузки автотранспортного комплекса на качество жизни населения / Алханова Р.Р., Шайхутдинова Ф.Н., Райская М.В. // Вестник Казанского технологического университета. - 2014.- Т. 17. -№ 6. - С. 307-311.

4. Гатауллин, Н. А. Двигатели, соответствующие ЕВРО-1 // Грузовик. – 1996. – № 5. – С. 30-31.

5. Демидов, А. А. Достижение требований Евро-4 дизельными двигателями транспортных средств массой более 3,5 тонн путем применения системы нейтрализации / А. А. Демидов, В. И. Панчишный, Н. А. Макаров // Журнал автомобильных инженеров. – 2014. – Т. 85. – № 2. – С. 26-31.

6. Кисуленко, Б.В. Нормирование выбросов вредных веществ / Кисуленко Б.В., Аникеев С.А. // Стандарты и качество. - 2014. - № 2 (919). - С. 32-35.

7. Куприн, Н.П. Влияние некоторых параметров на токсичность отработанных газов ДВС / Куприн Н.П., Бащев А.А., Камбур А.Ю. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. - 2014. - № 1. - С. 7-12

8. Левков, В. Г. Тракторы „Беларусь" МТЗ-80, МТЗ-82 и их модификации.Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию /Левков В. Г., Бруенков И. Ф. и др. - Мн.: Ураджай, 1990.- 174 с.

9. Подзадаева, А.А. Отработавшие газы автомобилей – источники выбросов загрязняющих веществ / Перзадаева А.А. // В сборнике: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства IV Международная научная экологическая конференция (с участием экологов Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Ливана, Молдовы, Приднестровья, России, Словакии, Узбекистана и Украины). - 2015. - С. 660-664.

10. Стопорева, Т.А.Отработавшие газы дизелей и условия безопасности труда в сельскохозяйственном производстве / Стопорева Т.А., Медведев Г.В., Новоселов А.Л. // Ползуновский альманах. - 2011. - № 2. - С. 107-110.

References

1. Ageev, E.V. Osobye usloviya tekhnologicheskoj ehkspluatacii i ehkologicheskaya bezopasnost' avtomobilej [Special conditions of technological operation and environmental safety of cars] / Ageev E.V., SHCHerbakov A.V., Pikalov S.V. // Kursk, 2015.

2. Azarov, V.K. Mozhet li avtomobil' byt' ehkologicheski chistym? [Can a car be ecological?] / Azarov V.K., Kutenyov V.F. // ZHurnal avtomobil'nyh inzhenerov. - 2014.- No. 4. - pp. 58-61.

3. Alhanova, R.R. EHkologo-ehkonomicheskie aspekty vozdejstviya i innovacionnye instrumenty snizheniya tekhnogennoj nagruzki avtotransportnogo kompleksa na kachestvo zhizni naseleniya [Ecological and economic aspects of the impact and innovative tools to reduce the anthropogenic load of the motor complex on the quality of life of the population] / Alhanova R.R., SHajhutdinova F.N., Rajskaya M.V. // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. - 2014.- T. 17. -No. 6. - S. 307-311.

4. Gataullin, N. A. Dvigateli, sootvetstvuyushchie EVRO-1 [Engines corresponding to EURO-1] // Gruzovik. – 1996. – No. 5. – pp. 30-31.

5. Demidov, A. A. Dostizhenie trebovanij Evro-4 dizel'nymi dvigatelyami transportnyh sredstv massoj bolee 3,5 tonn putem primeneniya sistemy nejtralizacii [Achievement of the requirements of Euro-4 diesel engines of vehicles weighing more than 3.5 tons by applying a neutralization system] / A. A. Demidov, V. I. Panchishnyj, N. A. Makarov // ZHurnal avtomobil'nyh inzhenerov. – 2014. – T. 85. – No. 2. – pp. 26-31.

6. Kisulenko, B.V. Normirovanie vybrosov vrednyh veshchestv [Rationing of emissions of harmful substances] / Kisulenko B.V., Anikeev S.A. // Standarty i kachestvo. - 2014. - No. 2 (919). - pp. 32-35.

7. Kuprin, N.P. Vliyanie nekotoryh parametrov na toksichnost' otrabotannyh gazov DVS [The influence of some parameters on the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines] / Kuprin N.P., Bashchev A.A., Kambur A.YU. // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Vysokie tekhnologii. EHkologiya. - 2014. - No. 1. - S. 7-12

8. Levkov, V. G. Traktory „Belarus'" MTZ-80, MTZ-82 i ih modifikacii.Instrukciya po ehkspluatacii i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu [Tractors "Belarus" MTZ-80, MTZ-82 and their modifications. Instruction for operation and maintenance] /Levkov V. G., Bruenkov I. F. i dr. - Mn.: Uradzhaj, 1990.- 174 p.

9. Podzadaeva, A.A. Otrabotavshie gazy avtomobilej – istochniki vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv [Automobile exhaust gases are sources of pollutant emissions.] / Perzadaeva A.A. // V sbornike: Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohozyajstvennogo proizvodstva IV Mezhdunarodnaya nauchnaya ehkologicheskaya konferenciya (s uchastiem ehkologov Azerbajdzhana, Armenii, Belarusi, Germanii, Gruzii, Kazahstana, Kirgizii, Latvii, Livana, Moldovy, Pridnestrov'ya, Rossii, Slovakii, Uzbekistana i Ukrainy) [In the collection: Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production IV International Scientific Environmental Conference (with the participation of ecologists from Azerbaijan, Armenia, Belarus, Germany, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lebanon, Moldova, Transdniestria, Russia, Slovakia, Uzbekistan and Ukraine)]. - 2015. - pp. 660-664.

10. Stoporeva, T.A.Otrabotavshie gazy dizelej i usloviya bezopasnosti truda v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Diesel exhaust gases and occupational safety conditions in agricultural production] / Stoporeva T.A., Medvedev G.V., Novoselov A.L. // Polzunovskij al'manah. - 2011. - No. 2. - pp. 107-110.

УДК 629.113

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ С ПИД-РЕГУЛИРОВАНИЕМ

REVISITED OF MODELING OF THE CONTROLLER ACTIVE CUSHION SYSTEM WITH PID REGULATION

В.А. КУЗЬМИН, мл. научный сотрудник, *ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

V.A. KUZ'MIN*, Jr. Scientific Worker, Federal Scientific Agroengineering Center VIM , Moscow, Russia*

Аннотация*. Пневмоподвеска используется для гашения вибраций и обеспечения комфортных условий труда для оператора транспортного средства. Поскольку проведение эксперимента для динамического анализа пневмоподвески занимает много времени, то для получения параметров отклика пневмоподвески используют математические модели системы подрессоривания транспортного средства. В данной статье приведена сравнительная характеристика систем подрессоривания с цилиндрической пружиной и линейной пневматической рессорой в качестве системы подрессоривания. Так же был реализован алгоритм пропорционально интегрально дифференцирующего (ПИД) регулирования системы подрессоривания в зависимости от их выходных параметров. В сравнительном исследовании показано, как линейная модель пневматической системы подрессоривания, контролируемая ПИД-регулятором, способна гасить колебания, возникающие от неровностей дороги.*

Ключевые слова*: сравнительная оценка, пневмоподвеска, система подрессоривания, ПИД регулятор.*

Abstract*. An air cushioned suspension is used to absorb vibration and provide comfortable labor conditions for transportation vehicle drivers. As it takes quite a long time to conduct experiment necessary for air cushioned suspension dynamic analysis, simulation models of vehicle cushion system are used to obtain air cushioned suspension response parameters. This paper provides comparative analysis of cushion systems utilizing a coil spring and a straight pneumatic spring as a cushion system. We have also implemented an algorithm of cushion system proportional-integral differential (PID) regulation depending on their output parameters. Comparative assessment shows how straight model of air cushion system controlled by PID-regulator is able to damp oscillations incurred by road irregularities.*

Keywords*: comparative assessment, air-cushion suspension, cushion system, PID-regulator.*

Конструкция системы подрессоривания оказывает прямое влияние на многие части транспортного средства в т.ч. на комфорт оператора и эффективности работы транспортного средства [9]. Эффективность вождения и безопасность транспортного средства очень важны и могут быть усовершенствованы путем динамического моделирования системы подрессоривания автомобиля [1-4]. Из-за того, что пневмоподвеска с электронным управлением имеет ряд неоспоримых преимуществ, таких как, например, как регулируемая жесткость, то многие производители стали использовать ее в своих транспортных средствах. Использование

пневматической активной системы подрессоривания вместо пассивной системы подрессоривания может в значительной степени снизить вибрацию [5, 10-12].

Цель исследования произвести оценку эффективности работы системы подрессоривания с активным ПИД регулированием, посредством имитационного моделирования.

Использовался метод математического моделирования с построением математической модели в программном комплексе Matlab/Simulink.

Схема пневмоподвески с указанием действующих на нее сил [5] представлена на Рис. 1.

На основании схемы пневмоподвески [1], было выведено уравнение движения (1). Уравнение показывает, как коэффициент демпфирования пружины связан с площадью поршня, высотой пружины и внутреннем давлении [6]. Уравнение для жесткости пружины, система была линеаризована относительно центра масс системы:

$$k_{equ} = \frac{nA_1\mu_1}{h_o} \tag{1}$$

Кроме того, была рассчитана эффективная площадь пружины. Площадь определяется уравнением (2):

$$A_1 = \frac{\pi}{8}(D_1^2 + D_2^2) \tag{2}$$

Для упрощения расчётов влияние атмосферного давления и силы, возникающие вследствие термодинамических изменений не учитывались. Уравнения состояния приведены ниже. Это уравнение движения и эквивалентная жесткость пружины, полученные для линейной модели пружины [7].

$$\dot{y} = \int y(t)dt \tag{3}$$

$$\dot{y}(t) = \frac{1}{m}\left[k_{equ}\left[\left(y(t) = z(t)\right) - (y_0 - z_0)\right] - c(\dot{y}(t) - \dot{z}(t)) - f(t)\right] \tag{4}$$

$$k_{equ} = \frac{nA_1\mu_1}{h_o} \tag{5}$$

Для обеспечения комфорта работы оператора решающим фактором является частота вибрации транспортного средства. Частота вертикальных колебаний должна быть приближена к собственной частоте человека, то есть колебаться в пределах от 1 до 1,6 Гц [7,8]. Для данной модели транспортное средство рассматривается как единая система и его частота определяется по формуле (6):

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_{equ}}{m}} \tag{6}$$

Собственная частота пневмоподвески, в данной модели n = 1,53 Гц.

Когда транспортное средство рассматривается как линейная система, то можно рассчитать его спектральную функцию по спектру входных параметров неровностей пути и АЧХ транспортного средства. Эти параметры используются

для анализа вибрационного отклика параметров системы и оценки комфорта работы оператора.

Путем моделирования с помощью генератора неровностей пути, который имитирует случайный профиль дороги была получена профилограмма профиля дороги, которая будет использоваться в исследовании.

Контроллер с ПИД-регулированием является быстродействующим и надежным, что делает его главным претендентом для управления системой подрессоривания транспортного средства в режиме реального времени.

$$u = k_p e + k_I \int e dt + k_D \frac{de}{dt} \tag{7}$$

В уравнении (7) сигнал u отправляется в систему, оказывая при этом воздействие на систему подрессоривания. Выходной сигнал повторно отправляется на контроллер, который, принимая этот сигнал, вычисляет его производную, снова берет интеграл и отправляет в систему скорректированный сигнал u. Этот процесс продолжается все время пока система активна.

Для создания модели подвески могут быть использованы как уравнения состояния, так и дифференциальные уравнения. В данной работе использовались дифференциальные уравнения, выполненные в программной среде Matlab/Simulink. Модель показанная на Рис. 1 была разработана в программной среде Simulink. На ней представлена линейная модель ¼ части транспортного средства.

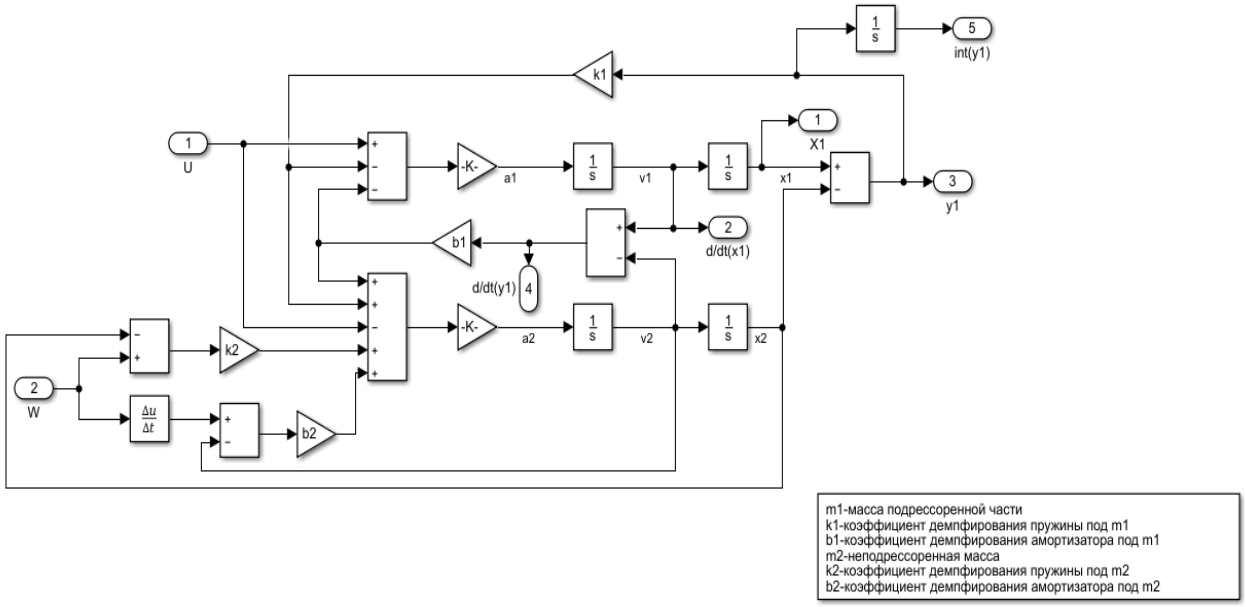


Рисунок 1 - Модель системы подрессоривания транспортного средства.

Проведя моделирование работы пассивной системы подрессоривания транспортного средства с цилиндрической пружиной была получена профилограмма результирующего перемещения подрессоренной части транспортного средства, представленная на Рис. 2.

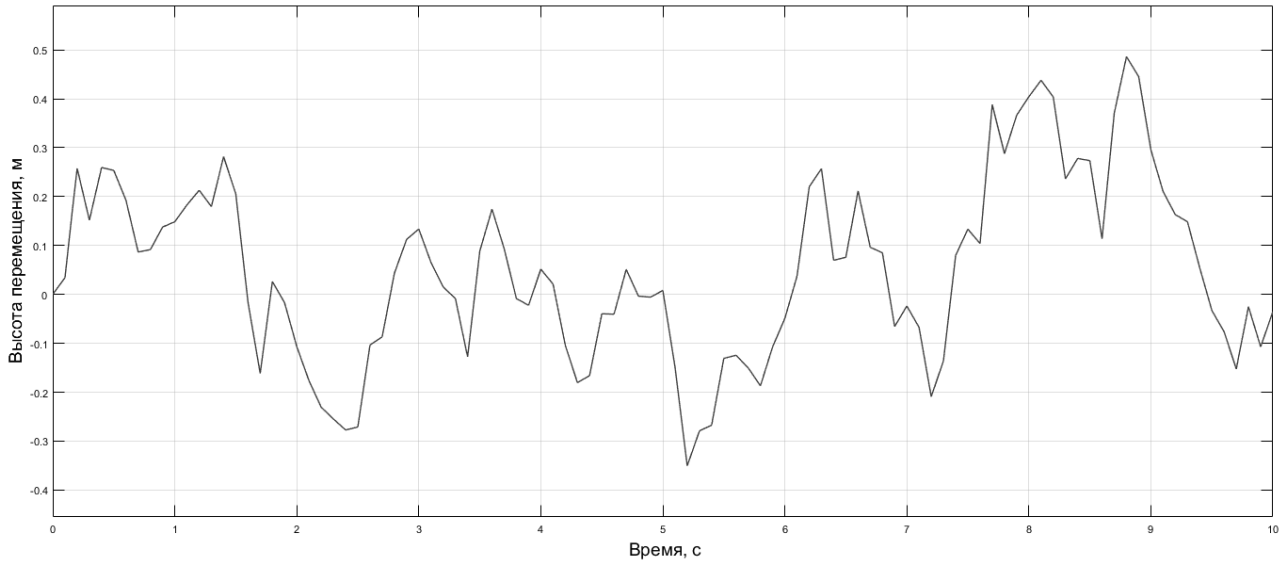


Рисунок 2 - Профилограмма результирующего перемещения подрессоренной части транспортного средства с цилиндрической пружиной.

По сравнению с цилиндрической пружиной в качестве системы подрессоривания транспортного средства, пневматическая пружина может уменьшить вертикальные перемещения почти вдвое, как видно из Рис. 3.

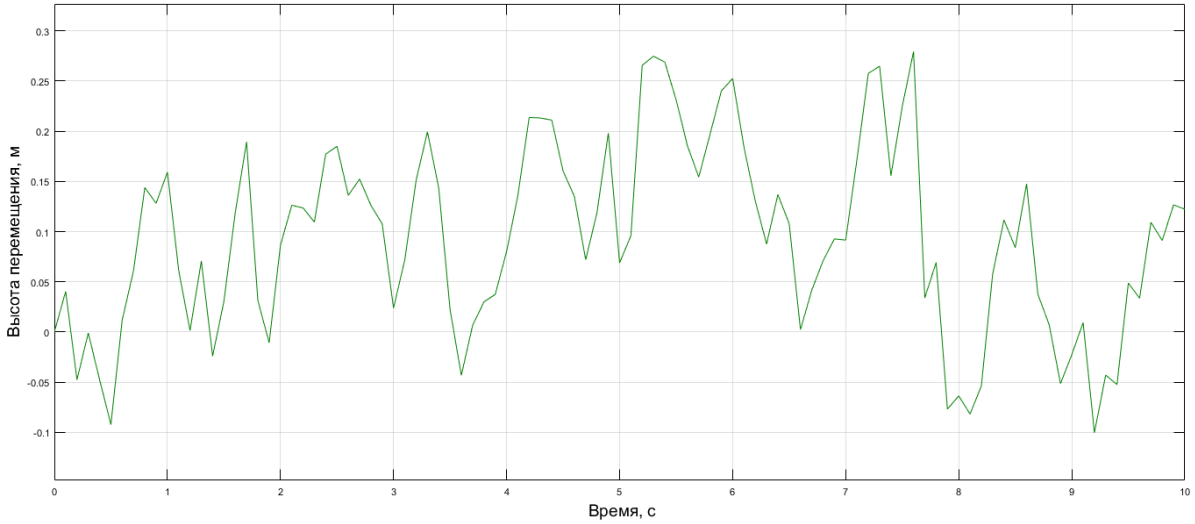


Рисунок 3 - Профилограмма результирующего перемещения подрессоренной части транспортного средства с пневмоподвеской.

По результатам полученных перемещений системы подрессоренной части транспортного средства с пневмоподвеской в Simulink был разработан ПИД-контроллер. Были измерены вертикальные колебания подрессоренной части транспортного средства и представлены на Рис. 4.

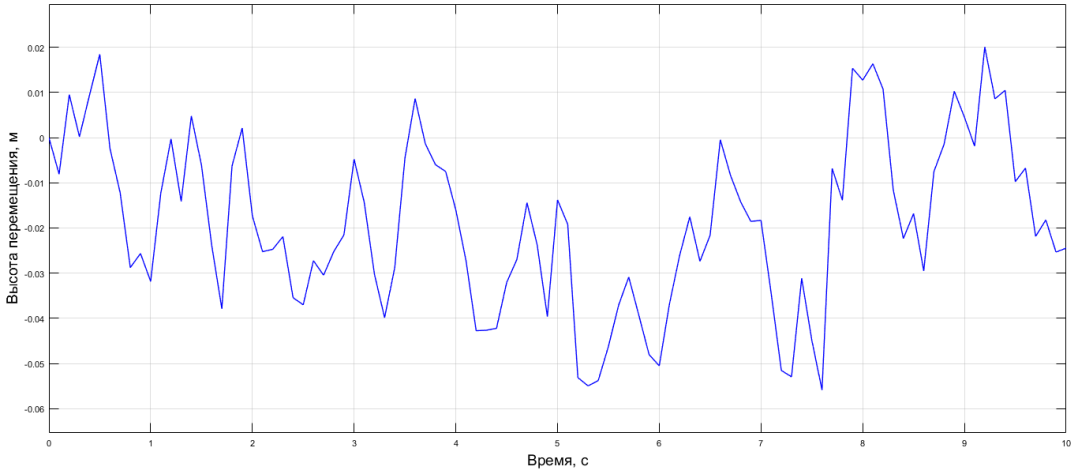


Рисунок 4 - Профилограмма зависимости высоты перемещения от времени для пневмоподвески с ПИД-контроллером

Как видно из вышеприведенного, активное управление системой подрессориваня обеспечивает значительное уменьшение вибрации. В сравнительной характеристике были оценены с точки зрения вертикальных перемещений пассивная система подрессоривания транспортного средства, пассивная пневмоподвеска и пневмоподвеска с активным управлением посредством ПИД-контроллера, как видно из графиков выше пневмоподвеска с активным управлением посредством ПИД-контроллера гораздо эффективнее пассивной системы подрессоривания. Уменьшение величины вибрации делает более комфортной работу оператора и увеличивает срок службы транспортного средства. Из результатов динамического моделирования подвески видно, что динамическое моделирование подвески является эффективным способом оценки эффективности системы подрессоривания. Этот метод позволяет очень легко изменять упругодемпфирующие характеристики системы подрессоривания и оценивать насколько при этом изменится величина вибрации.

Список литературы

1. Кузьмин В.А., Федоткин Р.С. Расчетный метод оценки вибронагруженности кабины трактора с помощью имитационной модели // Будущее машиностроения России Сборник докладов. М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2017. С. 516-519.

2. Кузьмин В.А., Овчаренко А.С., Федоткин Р.С. Экспериментальное исследование упругодемпфирующих характеристик виброизоляторов различных типов системы подрессоривания кабины колесного трактора // Будущее машиностроения России Сборник докладов. М.: 2017. С. 520-523.

3. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. В сборнике: ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства. 2017. С. 333-343.

4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно--

технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 7-10.

5. Шеховцов К.В. Снижение уровня вибронагруженности рабочего места оператора трактора за счет применения динамических гасителей колебаний в системе подрессоривания кабины: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.05.03. — Москва, 2014. — 159 с.

6. Савочкин В.А., Шишанов С.М. Основы линейной теории подрессоривания транспортных и тяговых гусеничных машин. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение». – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 93 с.

7. Селифонов В.В., Хусаинов А.Ш., Ломакин В.В. Теория автомобиля. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение». – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 102 с.

8. Годжаев З.А. и др. Беспилотное мобильное энергосредство сельскохозяйственного назначения // Тракторы И Сельхозмашины. 2016. № 10. С. 41–44.

9. Галкин С.Н., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю. Агротехнические и технологические параметры автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 5. С. 3-6.

10. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Галкин С.Н.. Инновационное развитие транспортной сферы агропромышленного комплекса. Москва, 2011.

11. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. // SAE Technical Papers. 2015. Т. 2015-September. № September. С. 1-4.

12. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizating power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers // SAE Technical Papers. 2017. Т. 2017-January. № January. С. 18-24.

References

1. Kuz'min V.A., Fedotkin R.S. Raschetnyj metod ocenki vibronagruzhennosti kabiny traktora s pomoshch'yu imitacionnoj modeli [Calculated method for estimating the vibration load of the tractor cab using a simulation model] // Budushchee mashinostroeniya Rossii Sbornik dokladov. M.: Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni N.EH. Baumana (nacional'nyj issledovatel'skij universitet) [The future of mechanical engineering in Russia Collection of reports. M .: Moscow State Technical University named after NE Bauman (National Research University)], 2017. pp. 516-519.

2. Kuz'min V.A., Ovcharenko A.S., Fedotkin R.S. EHksperimental'noe issledovanie uprugodempfiruyushchih harakteristik vibroizolyatorov razlichnyh tipov sistemy podressorivaniya kabiny kolesnogo traktora [Experimental study of the elastic-damping characteristics of vibration insulators of various types of a wheeled tractor cabin suspension system] // Budushchee mashinostroeniya Rossii Sbornik dokladov. M.: 2017. pp. 520-523.

3. Lobachevskij YA.P., Dorohov A.S. Perspektivnye nauchno-tekhnicheskie proekty v sfere mekhanizacii i robotizacii sel'skogo hozyajstva. V sbornike: FORMIROVANIE EDINOGO NAUCHNO-TEKHNOLOGICHESKOGO PROSTRANSTVA SOYUZNOGO GOSUDARSTVA: PROBLEMY, PERSPEKTIVY, INNOVACII Materialy postoyanno dejstvuyushchego seminara pri Parlamentskom Sobranii Soyuza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva. [Promising scientific and technical projects in the field of mechanization and robotization of agriculture. In the collection: FORMING A UNIFIED SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SPACE OF THE UNION STATE: PROBLEMS, PROSPECTS, INNOVATIONS Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State] 2017. pp. 333-343.

4. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii. V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno--tekhnicheskoj konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [The system of technologies and machines for the innovative development of the agricultural sector of Russia. In the collection: The system of technologies and machines for the innovation development of the agricultural sector of Russia. A collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 145th anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics, academician V.P. Goryachkina. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization]. 2013. pp. 7-10.

5. SHekhovcov K.V. Snizhenie urovnya vibronagruzhennosti rabochego mesta operatora traktora za schet primeneniya dinamicheskih gasitelej kolebanij v sisteme podressorivaniya kabiny: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk [Reducing the vibration load of the workplace of the operator of the tractor through the use of dynamic oscillation dampers in the cab suspension system: dissertation for the degree of candidate of technical sciences]: 05.05.03. — Moskva, 2014. — 159 p.

6. Savochkin V.A., SHishanov S.M. Osnovy linejnoj teorii podressorivaniya transportnyh i tyagovyh gusenichnyh mashin. Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, obuchayushchihsya po special'nosti «Avtomobile- i traktorostroenie» [Fundamentals of the linear theory of suspension of transport and traction tracked vehicles. A manual for university students enrolled in the specialty "Automobile and tractor"]. – M.: MGTU «MAMI», 2007. – 93 p.

7. Selifonov V.V., Husainov A.SH., Lomakin V.V. Teoriya avtomobilya. Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, obuchayushchihsya po special'nosti «Avtomobile- i traktorostroenie» [Theory of the car. A manual for university students enrolled in the specialty "Automobile and tractor"]. – M.: MGTU «MAMI», 2007. – 102 p.

8. Godzhaev Z.A. i dr. Bespilotnoe mobil'noe ehnergosredstvo sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Unmanned mobile power for agricultural purposes] // Traktory I Sel'hozmashiny. 2016. No. 10. pp. 41–44.

9. Galkin S.N., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Evtyushenkov N.E., Izmajlov A.YU. Agrotekhnicheskie i tekhnologicheskie parametry avtomobilej sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Agrotechnical and technological parameters of agricultural vehicles] // Traktory i sel'hozmashiny. 2011. No 5. p. 3-6.

10. Izmajlov A.YU., Evtyushenkov N.E., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Galkin S.N.. Innovacionnoe razvitie transportnoj sfery agropromyshlennogo kompleksa [Innovative development of the transport sector of the agro-industrial complex]. Moskva, 2011.

11. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. // SAE Technical Papers. 2015. T. 2015-September.. p. 1-4.

12. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizating power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers // SAE Technical Papers. 2017.. 2017-January. p. 18-24.

УДК 681.5

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АГРЕГАТА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ

CONTROL SYSTEM AUTOMATED ASSEMBLY MAGNETIC-PULSE PROCESSING OF PLANTS

А.И. КУТЫРЁВ, *аспирант,* ***Д.О. ХОРТ,*** *канд. с-х. наук,* ***Р.А. ФИЛИППОВ,*** *канд. с-х. наук, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

A.I. KUTYREV*, graduate student,* ***D.O. HORT****, cand. agric. sci.,* ***R.A. FILIPPOV****, cand. agric. sci., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Одной из альтернатив использования в производстве химических препаратов и применения генетически модифицированных организмов является применение электрофизических способов воздействия на биологические объекты. В статье представлен автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки (МИО) растений, применение которого позволит повысить урожайность и экологическую безопасность садовых культур в различных технологиях производства продукции. Приведен принцип работы мобильного агрегата магнитно-импульсной обработки растений. Представлена схема автоматизированной системы изменения ширины захвата агрегата, поддержания заданного расстояния и угла наклона между индукторами и обрабатываемыми низкочастотным магнитным полем растениями. Представлено меню выбора режима работы агрегата. Задав требуемое значение расстояния до объекта облучения запускается цикл, включающий в себя определение текущего расстояния до объекта, расчет изменения дистанции до объекта и перемещение штока на найденное, требуемое расстояние.*

Ключевые слова*: система управления, магнитно-импульсная обработка, облучение растений, автоматизированный агрегат, электрофизические методы.*

Abstract*. One alternative to use in the production of chemicals and the use of genetically modified organisms is the application of electrophysical methods of influence on biological objects. The article presents an automated unit for magnetic-pulse processing (MPP) plants, the use of which will improve the productivity and environmental safety of horticultural crops at different technologies of production. Given the operation principle of a mobile unit of magnetic-pulse treatment of plants. The scheme of the automated system changes the width of the machine, maintain a given distance and angle between the inductors and low-frequency magnetic field treated plants. A menu selecting the mode of operation of the unit. Setting the desired value of the distance to the object exposure start cycle includes determining the current distance to the object, calculate the change of the distance to the object and moving the stock is found, the required distance.*

Keywords*: control system, magnetic-pulse processing, irradiation plants, automated assembly, electro-physical methods.*

В сельском хозяйстве на большом объеме экспериментальных данных доказано реагирование биологических объектов на действие искусственного магнитного поля и предлагаются различные способы использования искусственного магнитного поля для повышения урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2]. Наиболее перспективным, с точки зрения

авторов, является применение электромагнитного поля, так как это дает широкие возможности для изменения частот ЭМП, а также создает возможность генерации модулированного по амплитуде и частоте ЭМП, с заданной формой сигналах [3-5].

Целью исследования является разработка и анализ алгоритма работы системы поддержания требуемого значения магнитной индукции в рабочей зоне при выполнении разрабатываемым навесным агрегатом технологической операции магнитно-импульсной обработки растений.

Используя методы математического моделирования, теоретической механики и оптимального проектирования в САПР «КОМПАС-3D» разработан агрегат для магнитно-импульсной обработки растений.

Рисунок 1 - Автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки растений: 1 – рама автоматизированного агрегата, 2 – блок управления агрегата, 3,5,7 – электроцилиндры поддержания заданного расстояния между индукторами и растениями, 4,6,8 – электроцилиндры изменения угла наклона, 9,10 – электроцилиндры изменения ширины захвата, 11 – съемные колеса, 12 – крепления к навеске трактора, 13 - рабочие органы (магнитные индукторы).

В качестве приводов рабочих органов облучения растений (индукторов) автоматизированного агрегата используются электронноуправляемые электроцилиндры (актуаторы), закрепленные на раме. Актуаторы предназначены для автоматической подстройки рабочих органов агрегата под агротехнологические параметры растений, подъёма (опускания), изменения ширины захвата и наклона индукторов на углы до 90° в горизонтальной плоскости [6-9].

Для автоматизации процесса подстройки рабочего органа под агротехнологические параметры растений использован язык программирования «C/C++».

На Рис. 2 представлена направляющая поддержания заданного расстояния и угла наклона между индукторами и обрабатываемыми низкочастотным магнитным полем растениями.

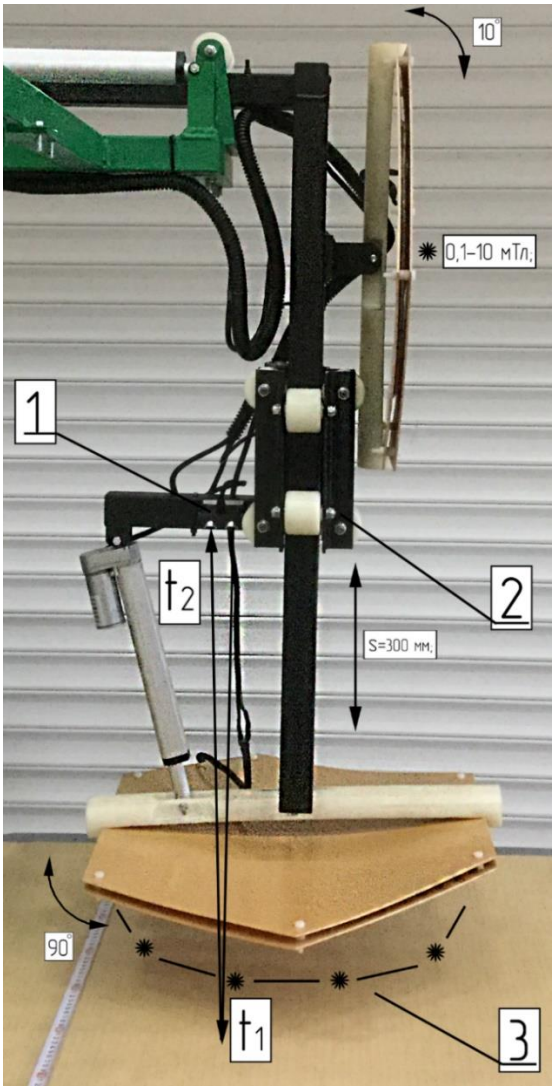


Рисунок 2 - Схема автоматизированной системы изменения ширины захвата агрегата, поддержания заданного расстояния и угла между индукторами и растениями
1 – бесконтактный ультразвуковой датчик, 2 – каретка актуатора поддержания заданного расстояния, 3 – настраиваемое низкочастотное магнитное поле в рабочей зоне.

В процессе работы тяговая машина с автоматизированным агрегатом для магнитно-импульсной обработки растений (мобильный агрегат) в автоматическом режиме с помощью ультразвуковых датчиков, контроллера и актуаторов изменяет угол наклона и поддерживает заданное расстояние между растениями и рабочими органами, обеспечивая постоянное значение магнитной индукции в рабочей зоне.

При выполнении технологической операции облучения низкочастотным магнитным полем ультразвуковые датчики измеряют расстояние до объекта,

генерируют узконаправленный t_1 сигнал на частоте 40 кГц и, дойдя до препятствия в виде растения, ловят отраженный сигнал t_2 [10-13].

Программный код расчета требуемого перемещения штока актуатора:

```
// Замер дистанции до объекта;
distance = sonar.ping_cm();
// Расчет изменения расстояния;
distanceDelta = distance – distanceLast;
// Проверяем необходимые условя для перемещения штока актуатора;
If((abs(distanceDelta)>2) && (distance <30) && (distance >5));
// Запоминаем текущее расстояние для дальнейших расчетов;
distanceLast = distance;
// Вызываем функцию перемещения штока актуатора;
motion(distanceDelta);
```

Система актуаторов через драйвер моторов, получая сигнал от микроконтроллера, изменяет положение индукторов, подстраиваясь под габариты растений, с заданной скоростью.

На Рис. 3 представлено меню выбора режима работы агрегата, настройки в ручном режиме и автоматически, в зависимости от облучаемой культуры.

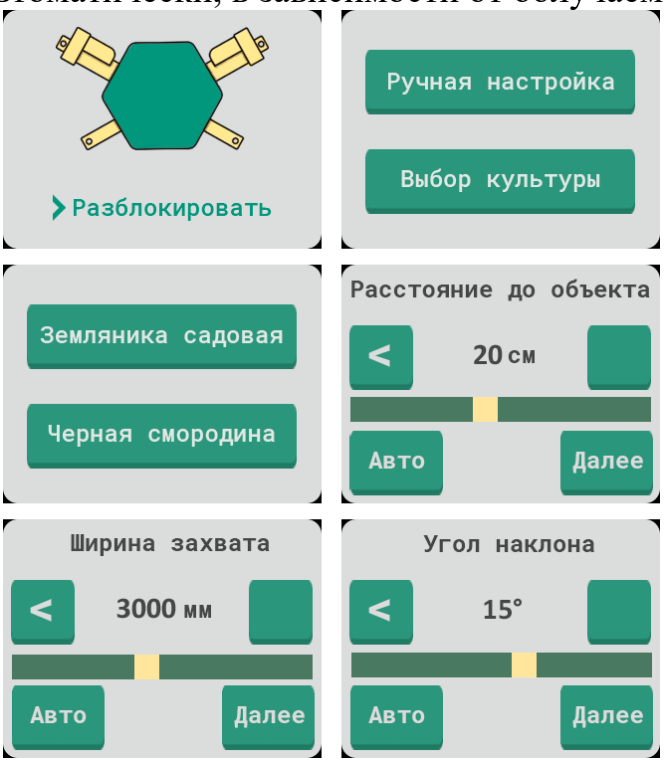


Рисунок 3 - Меню выбора режима работы агрегата.

Также с помощью актуаторов происходит адаптация агрегата к междурядьям с инфракрасного пульта дистанционного управления.

Режим облучения (частота, скважность, время экспозиции) выбирается на панели управления аппарата МИО, устанавливаемом на раме агрегата.

Питание блока управления и аппарата МИО осуществляется от инвертора, от бортовой сети [14,15].

Конструкция агрегата магнитно-импульсной обработки с предлагаемым

алгоритмом работы системы управления позволит повысить точность выполнения операции облучения с возможностью настройки к различным агротехнологическим параметрам насаждений, обеспечивая требуемое значение магнитной индукции в рабочей зоне на растительных объектах в полевых условиях.

Список литературы

1. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Ценч Ю.С. Магнитно-импульсная обработка семян земляники садовой // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. №5. С. 9-15.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Актуальные проблемы создания новых машин для промышленного садоводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 3. С. 20-23.
3. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Ценч Ю.С. Магнитно-импульсная обработка семян земляники садовой // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 5. С. 9-15.
4. Carbonell M.V., Martinez E., Florez M. Biological effects of stationary magnetic field in thistle (Cynara cardunculus, L.) [Текст] / M.V. Carbonell, E. Martinez, M. Florez// Zemes ukio inzinerija. - Raudondvaris;Kaunas, 1998., T.30, N 2. S. 71-80.
5. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. Научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций) Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.
6. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Моделирование и анализ конструкции технологического адаптера для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии, 2017. № 3. С. 29-34.
7. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Робототехническое средство с модулем магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Мехатроника, автоматика и робототехника, 2017. Т. 1. С. 28-30.
8. Пат. 167530 РФ, Робот для магнитно-импульсной обработки растений / Измайлов А.Ю., Кутырёв А.И., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Хорт Д.О. // патент на полезную модель 10.01.2017, Бюл. № 1.
9. Кутырев А. И. Расчет привода рабочего органа автоматизированного агрегата магнитно-импульсной обработки садовых растений // Плодоводство и ягодоводство России: сборник научных работ, М.: ФГБНУ ВСТИСП, 2017. Т. 50. С. 184-188.
10. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Пространственное распределение амплитудных значений импульсов магнитной индукции аппарата МИО // Приоритетные направления отраслевого научного обеспечения, технологии производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник материалов VII-й Международной дистанционной научно-практической конференции молодых ученых, ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2017. С. 23-28.
11. Пат. 174410 РФ, Устройство для магнитно-импульсной обработки садовых растений / Филиппов Р.А., Хорт Д.О., Кутырёв А.И. // патент на полезную модель 06.03.2017, Бюл. №25.

12. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Автоматизированный агрегат магнитно-импульсной обработки садовых растений // Сборник Научно-техническое обеспечение АПК Сибири, материалы Международной научно-технической конференции, 2017. С. 82-86.

13. А. И. Кутырев Проектирование автоматизированного агрегата магнитно-импульсной обработки садовых растений // Плодоводство и ягодоводство России: сборник научных работ, М.: ФГБНУ ВСТИСП, 2017. Т. 50. С. 189-195.

14. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Разработка аппарата для магнитно-импульсной обработки растений // Инновации в сельском хозяйстве, 2017. № 1 (22). С. 50-55.

15. Пат. 173651 РФ, Аппарат импульсной обработки растений / Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Смирнов И.Г. // патент на полезную модель 13.01.2017, Бюл. №25.

References

1. Kutyryov A.I., Hort D.O., Filippov R.A., Cench YU.S. Magnitno-impul'snaya obrabotka semyan zemlyaniki sadovoj [Magnetic-pulse processing of strawberry seeds] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2017. No.5. pp. 9-15.

2. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., Smirnov I.G., Hort D.O. Aktual'nye problemy sozdaniya novyh mashin dlya promyshlennogo sadovodstva [Actual problems of creating new machines for industrial gardening] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2013. No 3. p. 20-23.

3. Kutyryov A.I., Hort D.O., Filippov R.A., Cench YU.S. Magnitno-impul'snaya obrabotka semyan zemlyaniki sadovoj [Magnetic pulse treatment of strawberry seeds] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2017. No 5. p. 9-15.

4. Carbonell M.V., Martinez E., Florez M. Biological effects of stationary magnetic field in thistle (Cynara cardunculus, L.) [Tekst] / M.V. Carbonell, E. Martinez, M. Florez// Zemes ukio inzinerija. - Raudondvaris;Kaunas, 1998., T.30, N 2. pp. 71-80.

5. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. Nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for the processing of feed, fertilizer, plant waste. Scientifically based parameters of energy-saving combination plants for disinfecting air and surfaces. research report (Federal Agency of Scientific Organizations) Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM]. 2017. 115 p.

6. Hort D.O., Filippov R.A., Kutyryov A.I. Modelirovanie i analiz konstrukcii tekhnologicheskogo adaptera dlya magnitno-impul'snoj obrabotki rastenij v sadovodstve [Modeling and analysis of the design of the technological adapter for magnetic-pulse processing of plants in gardening] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, 2017. No. 3. pp. 29-34.

7. Hort D.O., Filippov R.A., Kutyryov A.I. Robototekhnicheskoe sredstvo c modulem magnitno-impul'snoj obrabotki rastenij v sadovodstve [Robotic tool with magnetic impulse treatment of plants in gardening] // Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika, 2017. T. 1. pp. 28-30.

8. Pat. 167530 RF, Robot dlya magnitno-impul'snoj obrabotki rastenij [Robot for magnetic pulse treatment of plants] / Izmajlov A.YU., Kutyryov A.I., Smirnov I.G., Filippov R.A., Hort D.O. // patent na poleznuyu model' [utility model patent] 10.01.2017, Byul. No. 1.

9. Kutyrev A. I. Raschet privoda rabochego organa avtomatizirovannogo agregata magnitno-impul'snoj obrabotki sadovyh rastenij [Calculation of the drive of the working body of the automated unit of magnetic-pulse processing of garden plants] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii: sbornik nauchnyh rabot, M.: FGBNU VSTISP, 2017. T. 50. S. 184-188.

10. Kutyryov A.I., Hort D.O., Filippov R.A. Prostranstvennoe raspredelenie amplitudnyh znachenij impul'sov magnitnoj indukcii apparata MIO // Prioritetnye napravleniya otraslevogo nauchnogo obespecheniya, tekhnologii proizvodstva, hraneniya i pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii [Spatial distribution of the amplitude values of the magnetic induction pulses of the M & E device // Priority directions of sectoral scientific support, technology of production, storage and processing of agricultural products]: Sbornik materialov VII-j Mezhdunarodnoj distancionnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh, FGBNU SKFNCSVV, 2017. pp. 23-28.

11. Pat. 174410 RF, Ustrojstvo dlya magnitno-impul'snoj obrabotki sadovyh rastenij [Device for magnetic pulse processing of garden plants] / Filippov R.A., Hort D.O., Kutyryov A.I. // patent na poleznuyu model' [utility model patent] 06.03.2017, Byul. No.25.

1. Kutyryov A.I., Hort D.O., Filippov R.A. Avtomatizirovannyj agregat magnitno-impul'snoj obrabotki sadovyh rastenij // Cbornik Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie APK Sibiri, materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii [Automated unit of magnetic-pulse processing of garden plants // Collection of scientific and technical support of the agro-industrial complex of Siberia, materials of the International Scientific and Technical Conference], 2017. pp. 82-86.

12. A. I. Kutyrev Proektirovanie avtomatizirovannogo agregata magnitno-impul'snoj obrabotki sadovyh rastenij [Designing an automated unit of magnetic-pulse processing of garden plants] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii: sbornik nauchnyh rabot, M.: FGBNU VSTISP, 2017. T. 50.pp. 189-195.

13. Hort D.O., Filippov R.A., Kutyryov A.I. Razrabotka apparata dlya magnitno-impul'snoj obrabotki rastenij [Development of a device for magnetic pulse treatment of plants] // Innovacii v sel'skom hozyajstve, 2017. No. 1 (22). pp. 50-55.

14. Pat. 173651 RF, Apparat impul'snoj obrabotki rastenij [Pulse Processing Apparatus] / Kutyryov A.I., Hort D.O., Filippov R.A., Smirnov I.G. // patent na poleznuyu model' [utility model patent] 13.01.2017, Byul. No.25.

УДК 621.762. 227

ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ДИСПЕРГИРОВАННЫЕ ОТХОДЫ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 ИЛИ Т15К6, СО СТАЛЬЮ 65Г

STRENGTH OF COATING OF COATINGS OBTAINED BY ELECTROCONTACT PREPARATION OF POWDER MIXTURE CONTAINING DISPERSED WASTE OF VOLUME BODY VK8 OR T15K6, WITH STEEL 65G

***Г.Р. ЛАТЫПОВА**, к.т.н., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», **В.В. ЧЕРНОВ**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», **Р.А. ЛАТЫПОВ**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия*

***G.R. LATYPOVA**, cand. tech. sci.., senior lecturer, Moscow Polytechnic University, **V.V. CHERNOV**, cand. tech. sci.., associate Professor, MGTU im. N. Uh. Bauman, **R.A. LATYPOV**, Dr tech. sci..,., Professor, Moscow technical University, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Представлены результаты исследования прочности соединения покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковой смеси, содержащей диспергированные отходы твердого сплава ВК8 или Т15К6, со сталью 65Г. Показано, что прочность соединения покрытия с основой составляет 518 – 520 МПа. Отмечено, что в обоих случаях дефекты типа пор, трещин и несплошностей в зоне соединения отсутствуют.*

***Ключевые слова**: электроконтактная приварка, порошковая смесь, отходы твердых сплавов, покрытие, прочность соединения.*

***Abstract**. The results of a study of the strength of a joint of coatings obtained by electrocontact welding of a powder mixture containing dispersed waste of a hard alloy VK8 or T15K6 with a steel of 65 G are presented. It is shown that the bond strength of the coating with the substrate is 518 - 520 MPa. It is noted that in both cases defects of the pore type, cracks and discontinuities in the joint zone are absent.*

***Keywords**: electrocontact welding, powder mixture, hard alloy waste, coating, bond strength.*

В настоящее время в промышленном и сельскохозяйственном производстве особое значение приобретают технологии, отвечающие требованиям ресурсосбережения без увеличения материальных затрат на их реализацию [1-3]. Одним из резервов снижения себестоимости восстановления и упрочнения деталей является использование в качестве присадочного материала отходов машиностроения, в частности порошков, получаемых электроэрозионным диспергированием отходов машиностроения, в том числе отходов спеченных твердых сплавов [4-8]. Эффективным способом восстановления и упрочнения деталей с использованием таких порошковых материалов является электроконтактная приварка (ЭКП), позволяющая

получать покрытия из порошков износостойких сплавов без их расплавления, то есть в твёрдой фазе [1-2].

Целью работы является исследование влияния параметров режима ЭКП на прочность соединения покрытий из порошковой смеси, содержащей диспергированные отходы твердого сплава ВК8 или Т15К6, со сталью 65Г, которая широко используется для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих машин.

При проведении экспериментов в качестве образцов использовали пластины размером 120х20х3,0 мм, изготовленные из стали 65Г. К образцам приваривали механические смеси из промышленного порошка ПГ-СР2 с порошками, полученными диспергированием отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6. Выбор порошка ПГ-СР2 в качестве матричного в порошковой смеси обусловлен его хорошей привариваемостью к стали 65Г, а также тем, что он обладает высокой износо- и коррозионностойкостью. Гранулометрический состав порошка ПГ-СР2 составлял 40-120 мкм. Механическую смесь из этих порошков получали в смесителе типа «пьяная бочка». Затем ее просушивали при температуре 100 ^{o}С в течение 0,5 ч. Электроконтактную приварку осуществляли на установке 011-1-02 «Ремдеталь» с закрепленным на ней поворотным устройством, схема которого представлена на рис. 1, при усилии Р = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 кН, силе тока в импульсе I = 5,0…7,0 кА, длительности протекания импульса тока $t_и$ = 0,02 – 0,08 с, длительности паузы между отдельными импульсами $t_п$ = 0,06…0,1 с.

На Рис. 2 представлена зависимость прочности τ соединения покрытия с основой от количества упрочняющей фазы в порошковой смеси, полученная при I = 5,2 и 5,8 кА и $t_и$ = 0,04 с. Значения тока в импульсе и длительности его протекания выбраны такими, чтобы разрушение образцов при испытаниях происходило по зоне соединения. В качестве упрочняющей фазы в порошковой смеси использовали порошки ВК8 и Т15К6, полученные ЭЭД отходов твердых сплавов [5, 9-11].

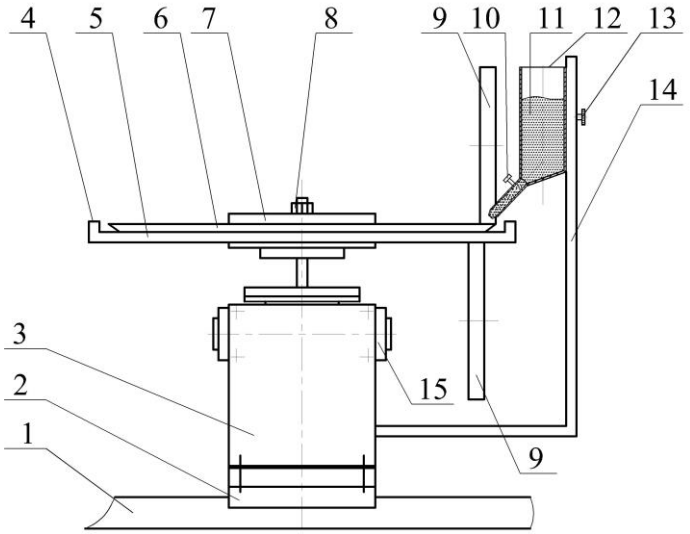


Рисунок 1 - Схема поворотного устройства для ЭКП порошковых материалов: 1- направляющая, 2 - ползун, 3 - кронштейн, 4 - буртик, 5 - столик, 6 - деталь, 7 -

прижимная шайба, 8 - гайка, 9 - верхний и нижний электроды, 10 - шибер, 11 - порошок, 12 - бункер, 13 - стопорный винт, 14 - кронштейн, 15 - редуктор

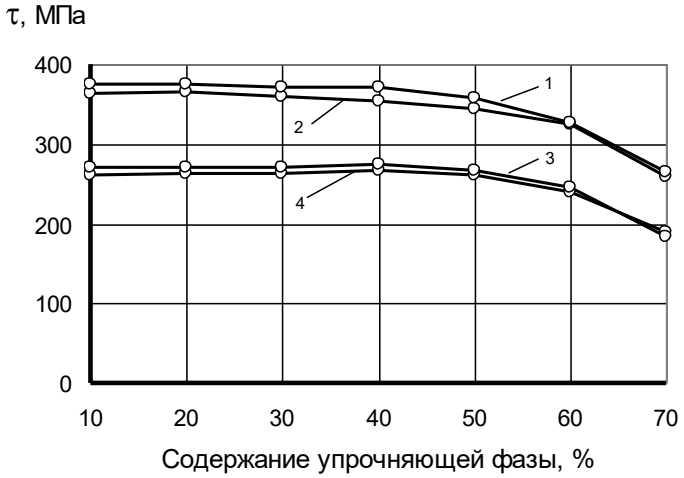


Рисунок 2 - Зависимость прочности τ соединения покрытия с основой от количества упрочняющей фазы в порошковой смеси при P = 1,5 кН и tи = 0,04 с: 1,2 – I = 5,8 кА; 3,4 - I = 5, 2 кА; 1,3 – порошок Т15К6; 2,4 – порошок ВК8

Видно, что в обоих случаях τ соединения с увеличением количества упрочняющей фазы до ее содержания 50% в порошковой смеси практически не меняется. Увеличение массовой доли упрочняющей фазы до 60…70 % приводит к снижению τ на 29-33 %. Это, по-видимому, связано с тем, что увеличение доли твердого сплава в матричном порошке снижает площадь соединения покрытия с металлом основы. Следует отметить, что при массовой доле упрочняющей фазы, равной 50 %, τ соединения покрытия с основным металлом снижается всего на 5,0 %. Таким образом можно заключить, что с точки зрения экономической целесообразности такая доля упрочняющей фазы из порошка ВК8 или Т15К6 в матричном порошке ПГ-СР2 является оптимальной. Поэтому при проведении дальнейших исследований использовали порошковые смеси 50 % ПГ-СР2 – 50 % ВК8 и 50 % ПГ-СР2 – 50% Т15К6.

На Рис. 3 представлено влияние усилия сжатия электродов на прочность соединения τ, полученная при I = 5,2 и 5,8 кА и $t_и$ = 0,04 с.

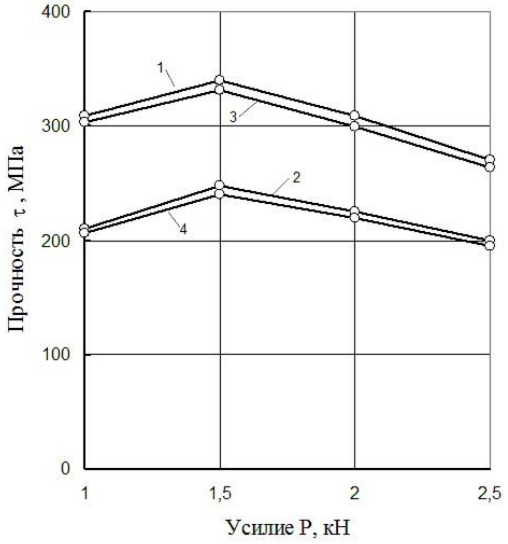
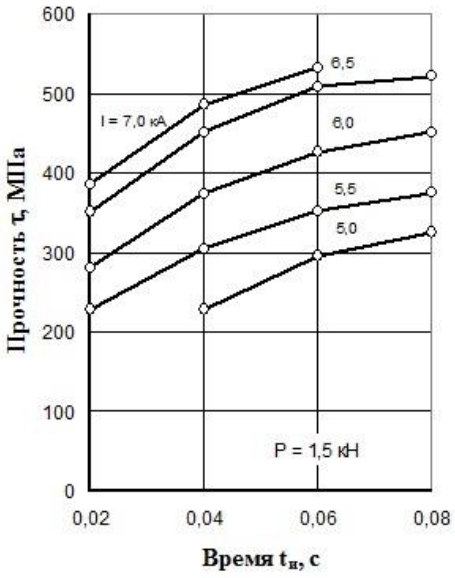


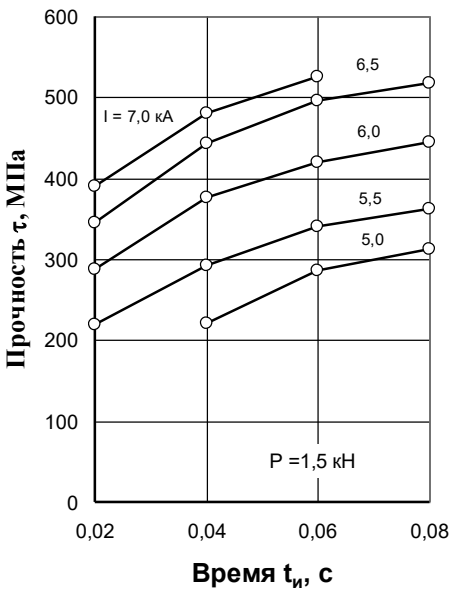
Рисунок 3 – Влияние усилия сжатия электродов на прочность соединения τ при tи = 0,04 с: 1, 3 – I = 5,8 кА; 2, 4 - I = 5,2 кА; 1, 2 – смесь порошков 50 % ПГ-СР2 + 50% Т15К6; 3, 4 – смесь порошков 50 % ПГ-СР2 + 50 % ВК8

Из представленных данных видно, что с увеличением прикладываемого усилия τ соединения сначала возрастает, а затем снижается. Максимальное значение τ получено при Р = 1,5 кН. Это свидетельствуют о том, что при этом усилии создаются наиболее благоприятные условия для соединения покрытия с основой. Поэтому дальнейшие исследования проводили при Р = 1,5 кН.

На рис. 4 представлено влияние силы тока и длительности его протекания на прочность соединения τ покрытия, полученного ЭКП порошковой смеси при различных их значениях и при оптимальном усилии.



а



б

Рисунок 4 – Влияние силы тока и длительности его протекания на прочность соединения τ покрытия, полученного ЭКП порошковой смеси: а - 50 % ПГ-СР2 + 50% Т15К6, б - 50 % ПГ-СР2 + 50 % ВК8

Видно, что увеличение $t_и$ в исследованном интервале не позволяет получить равнопрочные с основным материалом соединения. Увеличение силы тока при фиксированных значениях $t_и$ приводит к интенсивному увеличению τ соединения покрытия с основой. Причем соединения, полученные при токе I = 6,5 кА, $t_и$ = 0,08 с и токе I = 7,0 кА, $t_и$ = 0,06 с, равнопрочны основному металлу, так как в зоне соединения выделяется достаточное количество теплоты для образования высокопрочного соединения покрытия с основой независимо от привариваемой порошковой смеси. Таким образом, оптимальными параметрами режима электроконтактной приварки смеси порошка 50% ПГ- СР2 + 50% Т15К6 или смеси порошка 50 % ПГ-СР2 + 50 % ВК8 к плоским образцам из стали 65Г толщиной 2,0 мм являются: P = 1,5 кН, I = 7,0 кА, $t_и$ = 0,06 с и P = 1,5 кН, I = 6,5 кА, $t_и$ = 0,08 с.

Из данных, представленных на рис. 4 также видно, что τ соединения покрытия с основой независимо от привариваемой порошковой смеси, приблизительно, одинакова при обоих выбранных в качестве оптимальных параметров режимах. С целью снижения энергоемкости процесса и уменьшения термического воздействия на деталь электроконтактную приварку в данном случае более целесообразно осуществлять при P = 1,5 кН, I = 6,5 кА, $t_и$ = 0,08 с. Следует отметить, что металлографические исследования зоны соединения полученной при оптимальных параметрах режима ЭКП порошковой смеси 50 % ПГ-СР2 + 50% Т15К6 или 50 % ПГ-СР2 + 50 % ВК8, показали, что в обоих случаях дефекты типа пор, трещин и несплошностей в зоне соединения отсутствуют. При этом в самой зоне соединения имеет место промежуточный слой шириной не более 0,5 мкм, образованный в результате диффузии элементов, входящих в состав соединяемых материалов.

Выводы:

1. Исследовано влияние основных технологических параметров (силы тока, усилия сжатия электродов, длительности протекания импульса тока) на формирование покрытия из смеси порошка ПГ-СР2 с порошками, полученными электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов Т15К6 и ВК8. Установлено, что увеличение массовой доли упрочняющей фазы в матричном порошке свыше 50 % приводит к снижению прочности соединения на 25,6 – 29,3 %.

2. Установлено, что при оптимальных сочетаниях параметров режима ЭКП прочность соединения покрытия с основой равнопрочна основному металлу и составляет 518 – 520 МПа.

3. Металлографические исследования зоны соединения показали, что в обоих случаях дефекты типа пор, трещин и несплошностей в зоне соединения отсутствуют.

Список литературы

1. Электроконтактная приварка. Теория и практика / Р.А. Латыпов , В.В. Булычев , П.И. Бурак, Е.В. Агеев. - Курск: ЗАО Университетская книга, 2016. 392 с.

2. Каракозов Э.С., Латыпов Р.А., Молчанов Б.А. Состояние и перспективы восстановления деталей электроконтактной приваркой материалов. - М.: Информагротех, 1991. - 84 с.

3. Оценка влияния температуры электроконтактной приварки порошкового слоя на его пористость / В.В. Булычев, Г.Р. Латыпова, Р.А. Латыпов, Н.Д. Бахмудкадиев // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 3 (3). С. 53-58.

4. Применение порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов, при восстановлении и упрочнении деталей автотракторной техники композиционными гальваническими покрытиями / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, В.И. Серебровский // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. №4. С. 73-75.

5. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Латыпов Р.А. Твердосплавные электроэрозионные порошки: получение, характеристики и применение. - Курск: ЗАО Университетская книга, 2014. - 337 с.

6. Получение твердосплавных изделий холодным изостатическим прессованием электроэрозионных порошков и их исследование / Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, П.И. Бурак, Е.В. Агеев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 5 (50). С. 116-125.

7. Латыпов Р.А., Латыпова Г.Р., Дудин В.И. Особенности электроконтактной приварки порошка ПР-НПЧЗ на детали из чугуна // Современные материалы, техника и технологии. 2015. №2 (2). С. 97-102.

8. Агеев Е.В., Карпенко В.Ю., Латыпов Р.А. Состав, структура и свойства порошка из быстрорежущей стали, полученной электроэрозионным диспергированием в воде // Международный технико-экономический журнал. 2014. № 5. С. 88-96.

9. Семенихин Б.А., Кузнецова Л.П., Латыпов Р.А. Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники композиционными гальваническими покрытиями с использованием порошков твердых сплавов. Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 109. № 2. С. 57-60.

10. Исследования химического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-1 (38). С. 138а-144.

11. Оценка эффективности применения порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов, при восстановлении и упрочнении коленчатых валов автотракторной техники плазменно-порошковой наплавкой / Е.В. Агеев, В.В. Серебровский, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. Т. 5. № 5. С. 77-80.

References

1. EHlektrokontaktnaya privarka. Teoriya i praktika [Electrocontact welding. Theory and practice] / R.A. Latypov, V.V. Bulychev, P.I. Burak, E.V. Ageev. - Kursk: ZAO Universitetskaya kniga, 2016. 392 p.

2. Karakozov EH.S., Latypov R.A., Molchanov B.A. Sostoyanie i perspektivy vosstanovleniya detalej ehlektrokontaktnoj privarkoj materialov [State and prospects for the restoration of parts by electrocontact welding of materials]. - M.: Informagrotekh, 1991. - 84 p.

3. Ocenka vliyaniya temperatury ehlektrokontaktnoj privarki poroshkovogo sloya na ego poristost' [Evaluation of the influence of the temperature of electrocontact welding of the powder layer on its porosity] / V.V. Bulychev, G.R. Latypova, R.A. Latypov, N.D. Bahmudkadiev // Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. 2015. No. 3 (3). p. 53-58.

4. Primenenie poroshkov, poluchennyh ehlektroehrozionnym dispergirovaniem othodov tverdyh splavov, pri vosstanovlenii i uprochnenii detalej avtotraktornoj tekhniki kompozicionnymi gal'vanicheskimi pokrytiyami [The use of powders obtained by electro-erosion dispersion of waste solid alloys in the restoration and hardening of parts of automotive technology

with composite electroplated coatings] / E.V. Ageev, V.N. Gadalov, B.A. Semenihin, E.V. Ageeva, R.A. Latypov, V.I. Serebrovskij // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2010. No.4. pp. 73-75.

5. Ageev E.V., Ageeva E.V., Latypov R.A. Tverdosplavnye ehlektroehrozionnye poroshki: poluchenie, harakteristiki i primenenie [Carbide electroerosive powders: production, characteristics and application]. - Kursk: ZAO Universitetskaya kniga, 2014. - 337 p.

6. Poluchenie tverdosplavnyh izdelij holodnym izostaticheskim pressovaniem ehlektroehrozionnyh poroshkov i ih issledovanie [Production of carbide products by cold isostatic pressing of electroerosion powders and their research] / E.V. Ageeva, R.A. Latypov, P.I. Burak, E.V. Ageev // Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. No. 5 (50). pp. 116-125.

7. Latypov R.A., Latypova G.R., Dudin V.I. Osobennosti ehlektrokontaktnoj privarki poroshka PR-NPCHZ na detali iz chuguna [Features of electrocontact welding of PR-NPCHZ powder on cast iron parts] // Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. 2015. No.2 (2). pp. 97-102.

8. Ageev E.V., Karpenko V.YU., Latypov R.A. Sostav, struktura i svojstva poroshka iz bystrorezhushchej stali, poluchennoj ehlektroehrozionnym dispergirovaniem v vode [The composition, structure and properties of powder from high-speed steel, obtained by EDM dispersion in water] // Mezhdunarodnyj tekhniko-ehkonomicheskij zhurnal. 2014. No. 5. pp. 88-96.

9. Semenihin B.A., Kuznecova L.P., Latypov R.A. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej avtotraktornoj tekhniki kompozicionnymi gal'vanicheskimi pokrytiyami s ispol'zovaniem poroshkov tverdyh splavov [Restoration and hardening of parts of automotive equipment by composite electroplated coatings using powders of hard alloys]. Trudy GOSNITI. 2012. T. 109. No. 2. pp. 57-60.

10. Issledovaniya himicheskogo sostava poroshkov, poluchennyh ehlektroehrozionnym dispergirovaniem tverdogo splava [Studies of the chemical composition of powders obtained by EDM dispersion of a solid alloy] / E.V. Ageev, B.A. Semenihin, E.V. Ageeva, R.A. Latypov // Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. No. 5-1 (38). pp. 138a-144.

11. Ocenka ehffektivnosti primeneniya poroshkov, poluchennyh ehlektroehrozionnym dispergirovaniem othodov tverdyh splavov, pri vosstanovlenii i uprochnenii kolenchatyh valov avtotraktornoj tekhniki plazmenno-poroshkovoj naplavkoj [Evaluation of the effectiveness of the use of powders obtained by electroerosion dispersion of waste solid alloys during the restoration and hardening of crankshafts of autotractor technology using plasma-powder surfacing] / E.V. Ageev, V.V. Serebrovskij, B.A. Semenihin, E.V. Ageeva, R.A. Latypov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2010. T. 5. No. 5. pp. 77-80.

УДК 621.797. (631.354.2)

ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В РЯДОВЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПРИМЕРЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

INVESTIGATIONS OF THE RELIABILITY OF GRAIN COLLECTION COMBINES IN THE SERIES OF OPERATING CONDITIONS ON THE EXAMPLE OF THE STAVROPOL TERRITORY

А.Т. ЛЕБЕДЕВ, *доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,* ***Р.В. ПАВЛЮК,*** *кандидат технических наук, доцент,* ***А.В. ЗАХАРИН,*** *кандидат технических наук, доцент,* ***П.А. ЛЕБЕДЕВ,*** *кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия*

A.T. LEBEDEV*, doctor of technical Sciences, Professor, head of Department,* ***R.V. PAVLYUK****, candidate of technical Sciences, associate Professor,* ***A.V. ZAHARIN****, candidate of technical Sciences, associate Professor,* ***P.A. LEBEDEV****, candidate of technical Sciences, associate Professor, Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia*

Аннотация*. Продолжительность уборочных работ по сбору зерновых культур напрямую зависит от состава машинотракторных агрегатов, а именно от числа уборочных машин, их работоспособного состояния и производительности. Снижение доли зерноуборочных машин и, как результат, возрастание их загруженности в течение ограниченного по времени и погодных условий сезона приводит к тому, что доля отказов данных сельскохозяйственных машин значительно возрастает. На этапе проектирования выпускаемой сельскохозяйственной техники, ее эксплуатации и входе ремонта должны всегда проводиться работы по повышению надежности машины в целом и отдельных систем. В исследованиях для получения достоверной информации использовались сплошной и выборочный хронометражи. Вся получаемая информация об возникающих отказах группировалась по одноаспектным основаниям для выявления причинно-следственных связи разнообразных факторов – конструкторских, производственных и эксплуатационных. В ходе наблюдений изменение производительности колебалось в пределах от 5 ... 15 %, что достаточно велико. Независимо от годов выпуска, зерноуборочные машины имели*

Abstract. *The duration of harvesting activities for the collection of grain crops directly depends on the composition of machine-tractor units, namely the number of harvesting machines, their operable condition and productivity. The decrease in the share of grain harvesters and, as a result, the increase in their workload during the seasonally limited and weather conditions of the season leads to the fact that the share of failures of these agricultural machines increases significantly. At the design stage of agricultural machinery, its operation and the entry of repairs, work must always be carried out to improve the reliability of the machine as a whole and of individual systems. In studies, solid and selective timing were used to obtain reliable information. All received information about the emergence of failures was grouped according to one-dimensional reasons for identifying the cause-effect relationship of various factors - design, production and operational. In the course of observations, the change in productivity ranged from 5 ... 15%, which is quite large. Regardless of the years of production, grain harvesters had a*

максимальную наработку, равную более чем 100 т в день. Обработка полученных результатов хронометража зерноуборочных комбайнов в данных хозяйствах позволила определить, что средняя величина коэффициента технического использования равна 0,71. Полученные результаты свидетельствует о том, что производительность зерноуборочных комбайнов при должном уровне проведения ремонтно-технических операций не зависит от продолжительности их эксплуатации. Проведенный хронометраж работы зерноуборочных машин, разных годов производства, позволил определить, что в среднем по Ставропольскому краю до 10,5 % времени простоя зерноуборочных машин приходится на ремонт и восстановление механических передач, в частности шпоночных соединений различных узлов.

***Ключевые слова**: зерноуборочный комбайн, наработка, хронометраж, надежность, время смены.*

maximum operating time equal to more than 100 tons per day. The processing of the obtained results of the timing of combine harvesters in these farms made it possible to determine that the average value of the coefficient of technical use is 0.71. The received results testify that the productivity of combine harvesters at the proper level of carrying out maintenance operations does not depend on the duration of their operation. The timing of the work of harvesters, of different years of production, made it possible to determine that on average in the Stavropol Territory up to 10.5% of the idle time of grain harvesters is accounted for the repair and restoration of mechanical transmissions, in particular, keyed connections of various assemblies.

***Keywords:** combine harvester, operating time, timing, reliability, shift time.*

В настоящее время с введением санкций и различных торговых войн существует значительный рост цен сельскохозяйственную технику, как отечественного, так и импортного производства, и топливо-смазочные материалы при низких ценах на аграрную продукцию внутри страны. Поэтому сельскохозяйственные товаропроизводители не могут своевременно менять изношенную технику, в результате чего из-за роста износа машинно-тракторного парка возрастает роль ремонтно-обслуживающей базы предприятий. Вследствие этого проблема качественного и своевременного ремонта, а также поддержание сельскохозяйственной техники в исправном состоянии в ходе ее рядовой эксплуатации, вновь становится очень актуальной.

Снижение доли зерноуборочных машин и, как результат, возрастание их загруженности в течение ограниченного по времени и погодных условий сезона приводит к тому, что доля отказов данных сельскохозяйственных машин значительно возрастает [12].

Продолжительность уборочных работ по сбору зерновых культур напрямую зависит от состава машинотракторных агрегатов, а именно от числа уборочных машин, их работоспособного состояния и производительности [11]. Поэтому, в связи с недостаточным количеством зерноуборочных машин и с необходимостью выполнять уборочные работы в заданные сжатые агротехнические сроки актуальными задачами, требующих решения в Ставропольском крае и в других аграрных субъектах Российской Федерации являются: повышение уровня надежности зерноуборочных комбайнов и сельскохозяйственных машин в целом, снижение технологического времени простоя на различные непроизводительные потери и на ремонтно-восстановительные операции.

На этапе проектирования выпускаемой сельскохозяйственной техники, ее эксплуатации и входе ремонта должны всегда проводиться работы по повышению надежности машины в целом и отдельных систем.

Для получения необходимых и достоверных сведений о надежности сельскохозяйственных изделий необходимы комплексные организационно-технические мероприятия по системе сбора и обработки информации согласно ГОСТ 17510-79 [1, 2].

Это позволит определить фактический уровень показателей надежности зерноуборочных машин в условиях рядовой эксплуатации. Статистическая информация для определения надежности комбайнов бралась из следующих источников:

- первичная документация исследуемых хозяйств;
- хронометраж работы зерноуборочных комбайнов, различных годов выпуска;
- корреспондентские данные, полученные в ходе опроса мастеров-наладчиков и комбайнеров.

В исследованиях для получения достоверной информации использовались сплошной и выборочный хронометражи, так как являются основными методами при сборе необходимой статистической информации о надежности агрегатов, систем и в целом зерноуборочного комбайна.

Вся получаемая информация об возникающих отказах группировалась по одноаспектным основаниям для выявления причинно-следственных связи разнообразных факторов – конструкторских, производственных и эксплуатационных.

Классификация выявленных отказов зерноуборочных комбайнов в ходе хронометража была подразделена по агрегатам и системам: двигатель, трансмиссия, ходовая и жатвенная части, платформа-подборщик, наклонная камера, молотильный аппарат, сепарирующие и транспортирующие устройства, электрооборудование, бункер, копнитель и измельчитель, гидросистема и механические передачи.

Независимо от установки механических передач в различных системах комбайна они подразделялись на две категории: 1) цепи, ремни; 2) звездочки, шкивы, втулки, валы и шпонки.

Для проведения исследований уровня надежности зерноуборочных комбайнов было выбрано несколько передовых хозяйств Ставропольского края – СХК племколхоз «Россия» Новоалександровского района, ООО СП «Джалга» Апанасенковского района и учебно-опытное хозяйство ФГБОУ ВО Ставропольского государственного аграрного университета. Проведенные экспериментальные исследования и сплошной хронометраж работы уборочных машин проводился по методике ОСТ 108.1–99. В отдельные три уборочных звенья для работы в одинаковых условиях были отобраны 12 зерноуборочных комбайнов семейства «Дон», «New Holland» разных годов эксплуатации [2, 4, 5, 6].

Полученные результаты свидетельствует о том, что производительность зерноуборочных комбайнов при должном уровне проведения ремонтно-

технических операций не зависит от продолжительности их эксплуатации. В ходе наблюдений изменение производительности колебалось в пределах от 5 … 15 %, что достаточно велико. Независимо от годов выпуска, зерноуборочные машины имели максимальную наработку, равную более чем 100 т в день [1,7, 8, 9].

Обработка полученных результатов хронометража зерноуборочных комбайнов в данных хозяйствах позволила определить, что средняя величина коэффициента технического использования равна 0,71 (Рис. 1).

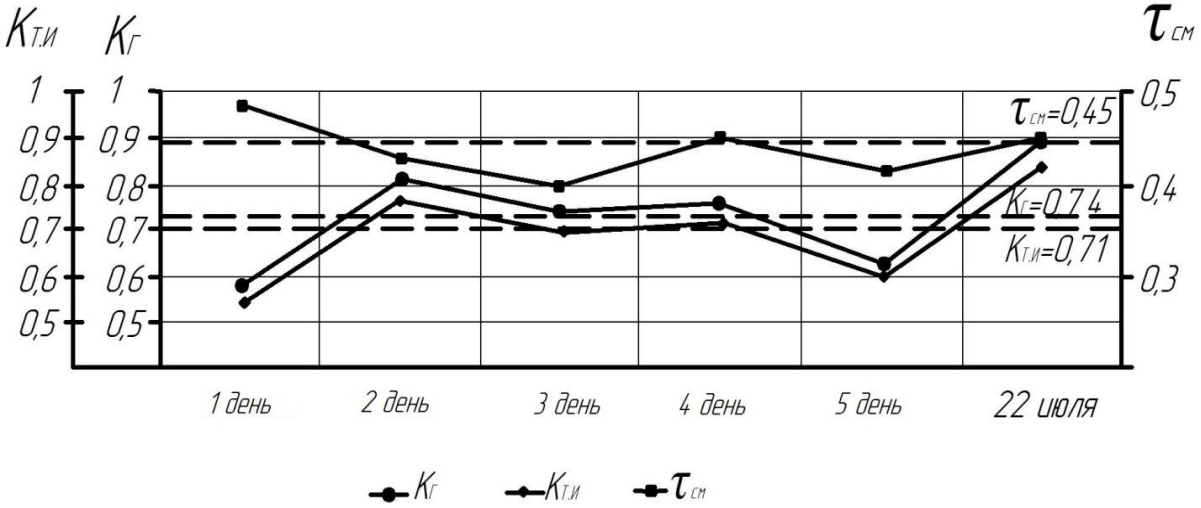


Рисунок 1 – График экспериментальных комплексных показателей надежности уборочных машин различных годов выпуска, установленных в ходе наблюдений

За период исследований коэффициент использования времени смены варьировался от 0,41 до 0,49, и усреднено, равен 0,45. Полученный результат коэффициента использования времени смены свидетельствует о том, что времени чистой работы комбайнов составляет 45%. В свою очередь, оставшиеся 55% времени смены приходятся на различные непроизводительные затраты. Поэтому для выполнения необходимого объема работ на уборке урожая заданные агротехнические сроки необходимо либо увеличить количество уборочной техники или продолжительность их работы в 2,26 раза. Данное положение может указывать на недоиспользование потенциальных возможностей сельскохозяйственной техники и значительным ростом материальных затрат на ТСМ, заработную плату комбайнерам и обслуживающему персоналу, а также затрат потери урожая от осыпания [10].

Полученные значения и вескость каждой из приведенных составляющих усредненного баланса времени смены представлены на рисунке 2 с вариацией данных величин по группам исследуемых комбайнов.

За весь период наблюдений усредненное значение величины времени чистой работы зерноуборочных комбайнов равнялось 222 минуты в день (44%). Это свидетельствует о том, что уборочные машины менее половины от общего времени смены находятся в чистой работе.

Если все непроизводительные затраты принять за 100%, то самый большой удельный вес имеет время ожидания автомобиля (трактора) для

перевозки собранного зерна, составляющее 44% от этих затрат, с коэффициентом вариации 0,08…0,23. Поэтому для рационального проведения уборочных работ следует по возможность увеличить количество автомобилей или использовать бункеры накопители. В предприятиях, имеющих оптимальную материально-техническую базу и солидный уровень организации ремонтно-технической службы, на устранения отказов у хозяйства, приходится 27,4% от общего времени смены с коэффициентом вариации 0,06…0,28. Общий суммарный удельный вес остальных составляющих времени смены таких, как время на ЕТО, выгрузку, повороты, различные переезды на поле и по полю, очистку измельчителя и обед, составляет в общем 28,6% с коэффициентом вариации 0,08…0,3.

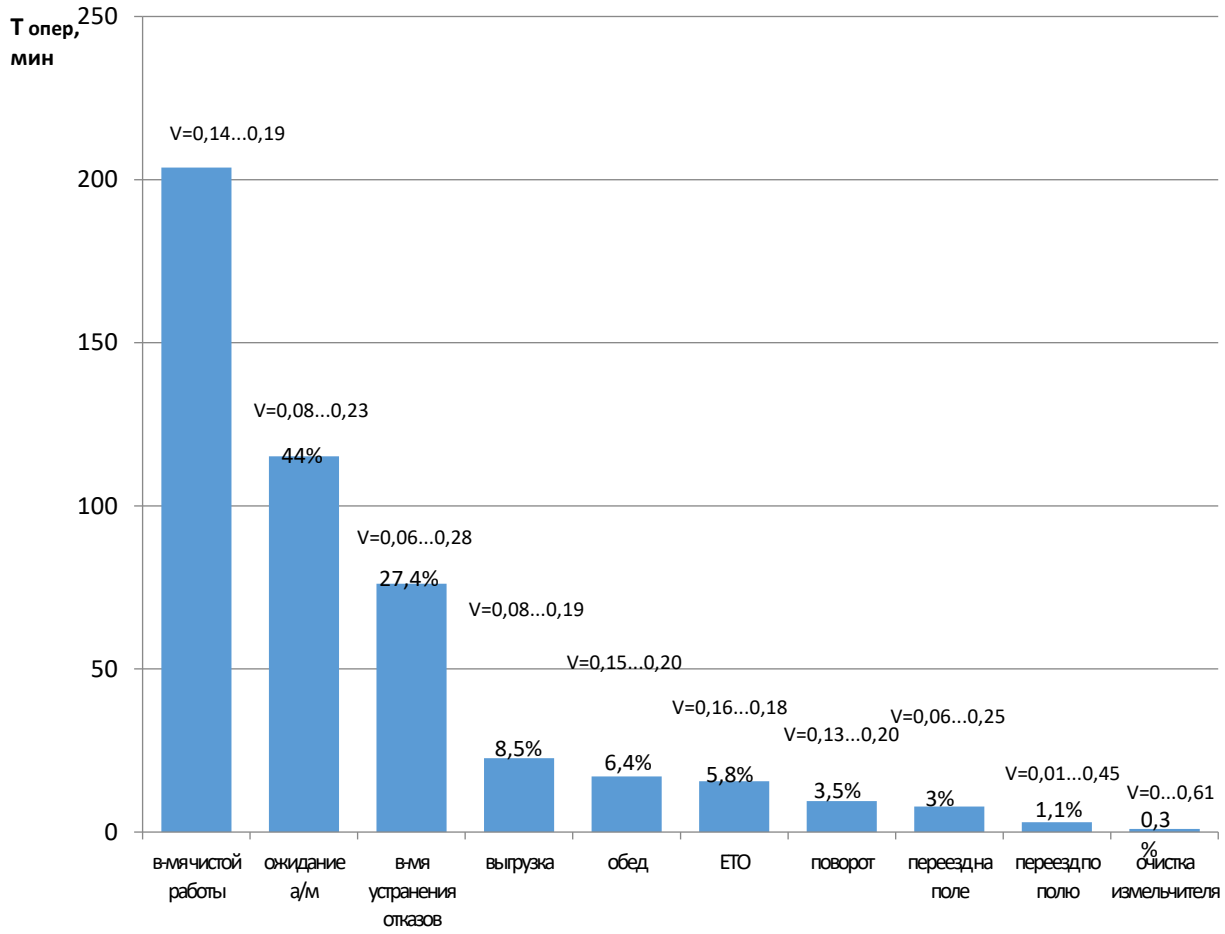


Рисунок 2 – Диаграмма составляющих времени смены уборочных работ

Проведенный хронометраж работы зерноуборочных машин, разных годов производства, позволил определить, что в среднем по Ставропольскому краю до 10,5 % времени простоя зерноуборочных машин приходится на ремонт и восстановление механических передач, в частности шпоночных соединений различных узлов. Поэтому требуется дальнейшие более углубленные исследования.

Для рациональной организации труда и проведения жатвы в заданные сроки, в ходе проведения уборочных работ в исследуемых хозяйствах следует увеличить состав зерноуборочных комбайнов и автомобилей для перевозки

зерна. Для снижения времени устранения отказов, например механических передач необходимо разработать комплекс мер по совершенствованию самой конструкции шпоночного соединения или способа быстрого их восстановления.

Список литературы

1. Павлюк Р. В., Пьянов В. С., Лебедев А. Т. Повышение эффективности использования зерноуборочных комбайнов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. №1. С. 18-19.
2. Павлюк Р. В., Лебедев А. Т. Анализ факторов, влияющих на надежность шпоночных соединений зерноуборочных комбайнов "ДОН-1500" // Машинно-технологическая станция. 2010. № 2. С. 45-47.
3. Павлюк Р.В., Варивода В.С. Применение инновационного неподвижного соединения в сервисе зерноуборочных комбайнов // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2013. Т. 3. № 6. С. 324-326.
4. Землянушнова Н. Ю. Основы производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования / Н. Ю. Землянушнова, А. Т. Лебедев, Р. В. Павлюк, Н. П. Доронина. Ставрополь, 2014. 124 с.
5. Лебедев А.Т. Надежность и эффективность шпоночных соединений / А. Т. Лебедев, Р. В. Павлюк, Р. А. Магомедов, П. А. Лебедев, А. В. Захарин // Ставрополь, 2015. 140 с.
6. Calculation of the transmitted torque upgraded fixed connection / R. V. Pavlyuk, A. T. Lebedev, A. V. Zacharin, P. A. Lebedev // Engineering for Rural Development. 2017. Vol. 16. P. 207–211.
7. Надежность и эффективность МТА при выполнении технологических процессов: монография / А. Т. Лебедев, О. П. Наумов, Р. А. Магомедов, А. В. Захарин, П. А. Лебедев, Р. В. Павлюк. Ставрополь : Изд-во «АГРУС», 2015. 332 с.
8. Павлюк Р. В. Ремонтный комплект для восстановления работоспособности шпоночных соединений // Вестник АПК Ставрополья. 2012. № 2 (6). С. 51-54.
9. Павлюк Р. В., Технологические методы повышения ресурса деталей машин / Р. В. Павлюк, Ю. И. Жевора, А. В. Захарин, Д. И. Грабельников //Научная мысль, 2016, №5. С. 119 -124.
10. Серегин А. А., Лебедев А. Т., Павлюк Р. В. Функциональное резервирование элементов механических приводов // Научная жизнь. 2016. № 11. С. 6-16.
11. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 2. С. 4-8.
12. Елизаров В.П., Артюшин А.А., Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 2 (31). С. 12-18.

References

1. Pavlyuk R. V., P'yanov V. S., Lebedev A. T. Povyshenie ehffektivnosti ispol'zovaniya zernouborochnyh kombajnov [Improving the efficiency of use of combine harvesters] // Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2010. No.1. pp. 18-19.
2. Pavlyuk R. V., Lebedev A. T. Analiz faktorov, vliyayushchih na nadezhnost' shponochnyh soedinenij zernouborochnyh kombajnov "DON-1500" [Analysis of factors affecting the reliability of the keyed connections of combine harvesters "DON-1500"] // Mashinno-tekhnologicheskaya stanciya. 2010. No. 2. pp. 45-47.
3. Pavlyuk R.V., Varivoda V.S. Primenenie innovacionnogo nepodvizhnogo soedineniya v servise zernouborochnyh kombajnov [Application of innovative fixed connection in the service of combine harvesters] // Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva. 2013. T. 3. No. 6. pp. 324-326.

4. Zemlyanushnova N. YU. Osnovy proizvodstva i remonta transportnyh i transportno-tekhnologicheskih mashin i oborudovaniya [Fundamentals of production and repair of transport and transport-technological machines and equipment] / N. YU. Zemlyanushnova, A. T. Lebedev, R. V. Pavlyuk, N. P. Doronina. Stavropol', 2014. 124 p.

5. Lebedev A.T. Nadezhnost' i ehffektivnost' shponochnyh soedinenij [Reliability and performance of keyed connections] / A. T. Lebedev, R. V. Pavlyuk, R. A. Magomedov, P. A. Lebedev, A. V. Zaharin // Stavropol', 2015. 140 p.

6. Calculation of the transmitted torque upgraded fixed connection / R. V. Pavlyuk, A. T. Lebedev, A. V. Zacharin, P. A. Lebedev // Engineering for Rural Development. 2017. Vol. 16. P. 207–211.

7. Nadezhnost' i ehffektivnost' MTA pri vypolnenii tekhnologicheskih processov: monografiya [Reliability and efficiency of MTA in the implementation of technological processes: monograph] / A. T. Lebedev, O. P. Naumov, R. A. Magomedov, A. V. Zaharin, P. A. Lebedev, R. V. Pavlyuk. Stavropol' : Izd-vo «AGRUS», 2015. 332 p.

8. Pavlyuk R. V. Remontnyj komplekt dlya vosstanovleniya rabotosposobnosti shponochnyh soedinenij [Repair kit for the restoration of key connections] // Vestnik APK Stavropol'ya. 2012. No. 2 (6). pp. 51-54.

9. Pavlyuk R. V., Tekhnologicheskie metody povysheniya resursa detalej mashin [Technological methods for increasing the life of machine parts] / R. V. Pavlyuk, YU. I. ZHevora, A. V. Zaharin, D. I. Grabel'nikov //Nauchnaya mysl', 2016, No.5. pp. 119 -124.

10. Seregin A. A., Lebedev A. T., Pavlyuk R. V. Funkcional'noe rezervirovanie ehlementov mekhanicheskih privodov [Functional redundancy of mechanical drive elements] // Nauchnaya zhizn'. 2016. No. 11. pp. 6-16.

11. ZHalnin EH.V., Cench YU.S., P'yanov V.S. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernouborochnyh kombajnov po funkcional'nym i konstruktivnym parametram [Methods of analysis of the technical level of combine harvesters by functional and design parameters] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2018. vol. 12. № 2. p. 4-8.

12. Elizarov V.P., Artyushin A.A., Cench YU.S. Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennoj sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Perspective directions of development of domestic agricultural machinery] // Vestnik VIEHSKH. 2018. No 2 (31). p. 12-18.

УДК 627.7.015

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МДО-ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВС ПРИ НАНО-ЛЕГИРОВАНИИ

THE STUDY OF THE PROPERTIES OF MAO-COATINGS FOR CYLINDER GROUP OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WHEN THE NANO-ALLOYING

***Д.А. МИЛОВАНОВ**, аспирант, младший научный сотрудник, **А.В. ЧАВДАРОВ**, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

***D.A. MILOVANOV**, PhD student, Junior researcher, **A.V. CHAVDAROV**, leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Микродуговое оксидирование (МДО) является одним из перспективных направлений научных исследований в области создания покрытий с особыми свойствами на поверхностях деталей машин. Покрытия, полученные методом МДО, относятся к области нано кристаллических неметаллических неорганических. Основные преимущества МДО покрытий: износостойкость, твердость, низкая пористость, теплостойкость*

Одним из перспективных направлений использования керамических покрытий являются покрытия для термоизоляции металла от высоких температур.

Целью исследования является получение МДО-покрытий для отражения тепла и снижения температуры деталей, на которые воздействуют высокие температуры.

Для проведения испытаний тестовые образцы были изготовлены из поршневого сплава методом чистового фрезерования. Токоподвод выполнялся из алюминиевой проволоки с поверхностной изоляцией для исключения на ее поверхности процесса МДО.

Процесс МДО выполнялся в электролитической ванне с водяной рубашкой охлаждения. Один конец токоподвода от источника питания был подключен к ванне, второй – к медной штанге с бобышкой для закрепления образца на алюминиевой проволоке.

В качестве базового электролита использовался слабощелочной раствор едкого калия 2г/л KOH в дистиллированной воде с добавлением метасиликата натрия в количестве 9 г/л. В качестве наноприсадок применялись: цитрат железа K(Fe(CN)6), оксид

***Abstract**. Microarc oxidation (MAO) is one of the promising areas of research in the field of creating coatings with special properties on the surfaces of machine parts. Coatings obtained by the MAO method belong to the field of nanotechnological non-metallic inorganic ones. The main advantages of MAO coatings: wear resistance, hardness, low porosity, heat resistance*

One of the promising areas for the use of ceramic coatings is a coating for thermal insulation of metal from high temperatures.

The aim of the study is to obtain MAO coatings for reflecting heat and reducing temperature, which are affected by high temperatures.

For testing, the test specimens were made from a piston alloy by the method of finishing milling. The current lead was made of aluminum wire with surface insulation to exclude the MAO process on its surface.

The MAO process is carried out in an electrolytic bath with a cooling water jacket. One end of the current lead from the power source was connected to the bathtub, the second - to a copper rod with a lug to fix the sample to the aluminum wire.

A slightly alkaline solution of potassium hydroxide 2g / l KOH in distilled water with the addition of sodium metasilicate in the amount of 9 g / l was used as the base electrolyte. As nano-additives, iron citrate K (Fe (CN)6), vanadium (III) oxide V2O3, sodium

ванадия (III) V2O3, вольфрамат натрия Na2WO4 и оксид меди (II) (окись меди) CuO.

Результатами исследований установлено, что применения керамического покрытия на поршнях ДВС бензиновых и дизельных с стандартными настройками и форсированием без покрытия и с керамическим покрытием показывает увеличение мощности за счет сохранения тепла, т.е. повышения КПД двигателя на 8-10%.

***Ключевые слова**: МДО, микродуговое оксидирование, керамическое покрытие алюминия, нанопокрытие, нанотехнологии.*

tungstate Na2WO4 and copper (II) oxide (copper oxide) CuO were used.

The results of the investigations established that the application of ceramic coating on the pistons of ICE petrol and diesel with standard settings and forcing without coating and with a ceramic coating shows an increase in power due to the preservation of heat, i.e. Increase the efficiency of the engine by 8-10%.

***Keywords**: MAO, microarc oxidation, ceramic coating of aluminum, nanocoating, nanotechnology.*

Микродуговое оксидирование (МДО) является одним из перспективных направлений научных исследований в области создания покрытий с особыми свойствами на поверхностях деталей машин [1]. Покрытия, полученные методом МДО, относятся к области нано кристаллических неметаллических неорганических. Из технологических преимуществ микродугового оксидирования можно выделить следующие наиболее важные [2]: износостойкость и твердость; низкая пористость; теплостойкость; экологичность.

Защитное действие многих систем покрытий основывается на формировании оксидных пленок $A1_2O_3$ или SiO_2, однако в последние годы все большее внимание привлекают коррозионностойкие многослойные покрытия, в которых затруднена взаимная диффузия элементов, покрытия со сложными оксидами, теплозащитные покрытия и способы модификации поверхности для образования плотных слоев или введения дисперсных оксидов [3]. Для улучшения сопротивления образованию и распространению трещин перспективным является легирование покрытий.

Нанесение керамических покрытий разного типа давно практикуется в Америке и Европе при сборке мощных двигателей; у большинства именитых производителей поршней можно заказать плазменное нанесение керамического покрытия, как доп. услугу за дополнительную плату.

Одним из перспективных направлений использования керамических покрытий являются покрытия для термоизоляции металла от высоких температур [4,5,6].

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) одной из самых теплонагруженных деталей является поршень, а точнее днище поршня, которое подвергается прямому тепловому воздействию от сгорающей топливно-воздушной смеси. Из-за этого воздействия и большой разницы температур поршни изготавливают неправильной формы (овальной, конусной), чтобы при неравномерном нагревании при работе ДВС поршень приобретал правильную цилиндрическую форму.

Целью исследования является получение МДО-покрытий для отражения тепла и снижения температуры деталей, на которые воздействуют высокие температуры.

МДО-покрытия получают на металлах так называемой «вентильной» группы, оксиды которых обладают полупроводниковыми свойствами. Очень большая группа деталей изготавливается из различных марок сталей. Для использования преимуществ МДО-слоя практикуется нанесение на внешнюю поверхность детали промежуточного «плакирующего» слоя из алюминиевого сплава газотермическим напылением, в частности, электродуговой металлизацией (ЭДМ) [7].

Исследования по совместимости наноприсадок с химическим составом обрабатываемых сплавов проводились на образцах из сплава АК-6.

Процесс МДО выполнялся в электролитической ванне (смотреть рисунок 1) с водяной рубашкой охлаждения. Один конец токоподвода от источника питания был подключен к ванне, второй – к медной штанге с закрепленным образцом на алюминиевой проволоке. Для интенсивного перемешивания раствора использовался воздушный барботаж.

Рисунок 1 - Ванна и источник питания и управления процессом МДО

Источник позволяет выполнять процесс МДО в анодно-катодном режиме. Изменение выходной мощности выполняется с помощью подключения конденсаторов с соответствующей емкостью. Контроль выполняется по четырем параметрам: анодный ток, катодный ток, анодное напряжение, катодное напряжение. Приборы имеют аналоговый выход для подключения к компьютеру или другому устройству для записи изменения параметров во времени. Точность измеряемых параметров 0,5%. Источник оснащен программируемым реле времени для установки временных интервалов процесса МДО.

В качестве базового электролита использовался слабощелочной раствор едкого калия 2г/л KOH в дистиллированной воде с добавлением метасиликата натрия в количестве 9 г/л. Перед добавкой наноприсадки раствор прорабатывался в течение 30 минут. В качестве наноприсадок применялись:

- синтетические частицы наноалмаза,
- цитрат железа $K(Fe(CN)_6)$,
- оксид ванадия (III) V_2O_3,
- оксид хрома (III) Cr_2O_3

- вольфрамат натрия Na_2WO_4,
- оксид меди (II) (окись меди) CuO.

Измерение толщины покрытия осуществлялось прибором «Константа 5» датчиком для измерения толщины на немагнитных материалах.

Визуальное исследование состояния МДО-поверхности после экспериментов и контрольное определение толщины покрытия на поперечных шлифах осуществлялось на цифровом микроскопе Levenhuk DTX 50.

Исследование фазового состава МДО-покрытия осуществлялось на рентгеновском дифрактометре «XRD-6000 Shimadzu».

Результаты экспериментального исследования процесса микродугового оксидирования при введении в электролит нано порошков представлены в Табл. 1.

Таблица 1

Результаты рентгеновского анализа МДО-покрытий

% добав.	Время Мин.	Толщ. мкм	Mg	Al	Si	добавка	Mn	Fe	Cu	Цвет
$0{,}5V_2O_3$	40	50-65	2,1	45,3	35,3	V 8,03	0,9	0,47	7,4	Корич
5 Cr_2O_3	40	55-60	3	40,7	36,8	Cr 8,8	0,7	0,6	8,8	зелен
2 цитр. Fe	30	50-60	-	41	43	Fe 5,4	0,9	5,4	8/5	Серый
5 $K(Fe(CN)_6)$	30	70-80	-	39	52	26,5	0,66	26,5	11	Темно-корич
-	30	35-40	1,5	36,3	51,62	-	0,9	0,6	8,2	Серый
1% алмаза	30	45-50	-	35,88	52,68	-	0,9	0,75	8,1	Темносер.

Установлено, что добавки в электролит соединений, оксиды которых не обладают полупроводниковыми свойствами, ограничивают возможность получения покрытий свыше 60мкм, что коррелирует с данными [8,9]. Введение в состав покрытия соединений меди и ванадия может привести к снижению коэффициента трения и уменьшению износа в парах трения. Установлено, что наиболее технологичной нанодобавкой являются соединения, которые имеют хорошую растворимость, например, вольфрамат натрия.

Рисунок 2 – Поршни дизельного двигателя до и после покрытия.

Были проведены исследования по применению керамического покрытия на поршнях в ДВС (бензиновых и дизельных) со стандартными настройками и форсированием. Результаты исследований для дизельных и бензиновых ДВС одинаковые. По результатам замеров на диностенде один и тот же двигатель с поршнями без покрытия и с керамическим покрытием показывает увеличение мощности за счет сохранения тепла, т.е. повышение КПД двигателя, на 8-10%.

Выводы:

1) Добавки в электролит соединений, оксиды которых не обладают полупроводниковыми свойствами, ограничивают возможность получения покрытий свыше 60мкм.

2) Введение в состав покрытия соединений меди и ванадия может привести к снижению коэффициента трения и уменьшению износа в парах трения.

3) Наиболее технологичной нанодобавкой являются соединения, которые имеют хорошую растворимость в растворе, например, вольфрамат натрия.

Список литературы

1 Хокинг, М. Металлические и керамические покрытия: получение, свойства, применение [Текст] / М. Хокинг, В. Васатасри, П. Сидки //Пер. с англ. – М.: Изд-во Мир. – 2000. – 518с.

2 Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) [Текст] / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин, Б. Л. Крит, А. М. Борисов. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

3 Ракоч, А. Г., Дуб А. В., Гладкова А. А. Анодирование легких сплавов при различных электрических режимах. Плазменно-электролитическая нанотехнология [Текст] / А. Г. Ракоч, А. В. Дуб, А. А. Гладкова. – М.: изд-во ООО «Старая Басманная», 2012. – 495 с.

4 Characteristation of discharge events during plasma electrolytic oxidation [Текст]/ C. S. Duneleavy, I. O. Golosnoy, J. A. Curran, T. W. Clyne // Surface & Coatings Technology. – 2009. – 203. – P. 3410-3419.

5 Повышение антифрикционных свойств износостойкости МДО-покрытий [Текст] / В. Н. Малышев, А. М. Вольхин, Б. М. Гантимиров, С. Л. Ким // Химическая физика и мозоскопия. – 2013. – Т. 15. – №2. – С. 285-291.

6 Malyshev, V. N. Antifriction Properties Increasing of Ceramic MDO-coatings [Текст] / V. N. Malyshev, A. M. Volkhin // Journal of Engineering Tribology. Proceedings of theinstitution of Mechanical Engineers. – Part: J. 2013. – Vol. 227.

7 Патент 2641427 Российская Федерация, B 23 P 6/02. Способ нанесения многокомпонентного покрытия при электродуговой металлизации [Текст]/ С.А. Соловьев, В.И. Денисов, Б.А. Матюшкин, А.А. Толкачев, А.В. Чавдаров. - № 2016129709; заявл. 20.07.2016; опубл. 17.01.2018 Бюл. № 2

8 Чавдаров, А.В. Условия существования и стадии роста покрытия при микродуговом оксидировании [Текст] / А.В. Чавдаров, Д.И. Скоропупов, П.Н. Першин // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т.128. – С.14-20

9 Артамонов, С.А. Математическое исследование кинетики роста МДО-покрытия при использовании нанолегирования с эффектом электрофореза [Текст] / С.А. Артамонов, Д.И. Скоропупов, Д.А. Милованов // Труды ГОСНИТИ. – 2018. – Т.130. – С.244-248.

References

1 Hoking, M. Metallicheskie i keramicheskie pokrytiya: poluchenie, svojstva, primenenie [Metallic and ceramic coatings: preparation, properties, application] / M. Hoking, V. Vasatasri, P. Sidki //Per. s angl. – M.: Izd-vo Mir. – 2000. – 518 p.

2 Mikrodugovoe oksidirovanie (teoriya, tekhnologiya, oborudovanie) [Microarc oxidation (theory, technology, equipment)] / I. V. Suminov, A. V. EHpel'fel'd, V. B. Lyudin, B. L. Krit, A. M. Borisov. – M.: EHKOMET, 2005. – 368 p.

3 Rakoch, A. G., Dub A. V., Gladkova A. A. Anodirovanie legkih splavov pri razlichnyh ehlektricheskih rezhimah. Plazmenno-ehlektroliticheskaya nanotekhnologiya [Anodizing light alloys under various electrical conditions. Plasma Electrolytic Nanotechnology] / A. G. Rakoch, A. V. Dub, A. A. Gladkova. – M.: izd-vo OOO «Staraya Basmannaya», 2012. – 495 p.

4 Characteristation of discharge events during plasma electrolytic oxidation [Tekst]/ C. S. Duneleavy, I. O. Golosnoy, J. A. Curran, T. W. Clyne // Surface & Coatings Technology. – 2009. – 203. – P. 3410-3419.

5 Povyshenie antifrikcionnyh svojstv iznosostojkosti MDO-pokrytij [Improving the antifriction properties of the wear resistance of MAO coatings] / V. N. Malyshev, A. M. Vol'hin, B. M. Gantimirov, S. L. Kim // Himicheskaya fizika i mozoskopiya. – 2013. – T. 15. – No. 2. – pp. 285-291.

6 Malyshev, V. N. Antifriction Properties Increasing of Ceramic MDO-coatings [Tekst] / V. N. Malyshev, A. M. Volkhin // Journal of Engineering Tribology. Proceedings of theinstitution of Mechanical Engineers. – Part: J. 2013. – Vol. 227.

7 Patent No. 2641427 Rossijskaya Federaciya, V 23 R 6/02. Sposob naneseniya mnogokomponentnogo pokrytiya pri ehlektrodugovoj metallizacii [Russian Federation, Method for applying a multicomponent coating during arc metallization]/ S.A. Solov'ev, V.I. Denisov, B.A. Matyushkin, A.A. Tolkachev, A.V. CHavdarov. - № 2016129709; zayavl. 20.07.2016; opubl. 17.01.2018 Byul. No. 2

8 CHavdarov, A.V. Usloviya sushchestvovaniya i stadii rosta pokrytiya pri mikrodugovom oksidirovanii [The conditions of existence and the stage of growth of the coating during microarc oxidation] / A.V. CHavdarov, D.I. Skoropupov, P.N. Pershin // Trudy GOSNITI. – 2017. – T.128. – pp.14-20

9 Artamonov, S.A. Matematicheskoe issledovanie kinetiki rosta MDO-pokrytiya pri ispol'zovanii nanolegirovaniya s ehffektom ehlektroforeza [Mathematical study of the kinetics of growth of MAO-coating using nanopoly with the effect of electrophoresis] / S.A. Artamonov, D.I. Skoropupov, D.A. Milovanov // Trudy GOSNITI. – 2018. – T.130. – pp.244-248.

УДК 631.345

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УБОРКИ БЕЛОГО ЛЮПИНА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ОЧЕСЫВАЮЩЕЙ ЖАТКОЙ ТИПА «ОЗОН»

RESULTS OF FIELD RESEARCH OF HARVESTING OF WHITE LUPINE BY MODERNIZED COMBING HEADER "OZONE

***М.А. МОСЯКОВ**, аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация*

***M.A. MOSYAKOV**, post-graduate student, Russian state agrarian University – Timiryazev Moscow state agrarian University, Moscow, Russian Federation*

***Аннотация**. В статье акцентируется внимание на актуальности использования зернобобовых культур. Подчеркивается одна из основных целей возделывания данных культур — это получение высокобелкового пищевого, кормового или технического сырья. Представлено растение белый люпин, включенное в реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ. Посевные площади, которого увеличиваются и это связано с остро стоящей проблемой производства растительного белка.*

Рассматривается уборка белого люпина по технологии очеса растений на корню. В полевых исследованиях использовалась очесывающая жатка типа «ОЗОН» ПАО «Пензмаш». Произведена модернизация жатки для уборки белого люпина с изменением конструкции очесывающих гребенок в соответствии с решениями, предложенными в патентах на полезные модели РФ №172995 и №178721. Проведены экспериментальные исследования новых рабочих органов и определены технологические параметры и режимы работы очесывающей жатки на уборке белого люпина. Использованы методы планирования эксперимента, исследования проводились по плану 33. Полевые исследования проводились в хозяйствах Мичуринского района Тамбовской области на уборке белого люпина сорта «Дега».

Результаты, полученные в ходе эксперимента, были подвержены статистической обработке, выполненной в программе Statistic 13.0 с получением двумерных сечений исследуемых факторов. Анализ полученных данных показывает, что

***Abstract.** The article emphasizes the relevance of the use of leguminous crops. One of the main aims of cultivating these crops is emphasized: obtaining high-protein food, fodder or technical raw materials. The plant is a white lupine included in the register of breeding achievements that are allowed to be used on the territory of the Russian Federation. Crop areas, which are increasing and this is due to the acute problem of production of vegetable protein.*

The harvesting of white lupine using the technology of plant hair on the root is considered. In the field studies, a stripping reaper of the "OZON" type of PAO "Penzmash" was used. The header was modernized to harvest white lupine with a change in the design of combing combs in accordance with the solutions proposed in the patents for utility models RF № 172995 and № 178721. Experimental studies of new working organs have been carried out and technological parameters and operating conditions of combing header on white lupine harvesting have been determined. The methods of planning the experiment were used, the studies were carried out according to plan 33. Field studies were carried out in the Michurinsky Districts of the Tambov Region to harvest white lupine of the Degas variety.

The results obtained during the experiment were subjected to statistical processing performed in the program Statistic 13.0 to obtain two-dimensional cross sections of the investigated factors. The analysis of the obtained data shows that

оптимальные значения исследуемых факторов находятся в следующих пределах: кинематический показатель $\lambda = 24 \dots 27$*; высота положения жатки от почвы до гребенки в нижнем положении* $h_ж = 0{,}38 \dots 0{,}42$ м *и высота положения точки контакта обтекателя с растением* $h_0 = 0{,}7 \dots 0{,}75$ м.

Ключевые слова*: очесывающее устройство, белый люпин, уборка, полевые исследования.*

the optimal values of the investigated factors are within the following limits: kinematic index $\lambda = 24 \dots 27$*; the height of the header from the soil to the comb in the lower position* $h_g = 0{,}38 \dots 0{,}42$ *m and the height of the contact point of the fairing with the plant* $h_0 = 0{,}7 \dots 0{,}75$ *m.*

Keywords: *combing device, white lupine, cleaning, field research.*

Основным поставщиком растительного белка в России как для пищевых, так и для кормовых нужд является соя, но производимого ее количества недостаточно. Поэтому ежегодно эту зернобобовую культуру ввозят в огромном количестве как сырой, так и переработанной, в виде шрота. Постоянно растущие цены на сою удорожают себестоимость производства кормов. Это подталкивает производителей рассматривать другие зернобобовые культуры с высоким содержанием белков и жиров, как основную альтернативу сои [1, 2].

Для зернобобовых характерны: неодновременность созревания семян, повышенная влажность стеблей и листьев растений во время уборки, низкое содержание семян в общей массе, склонность к макро- и микротравмированию семенного материала, растрескиванию бобов и осыпанию семян на корню [3, 4].

Цель исследований – обеспечение полноты сбора урожая белого люпина модернизированной очесывающей жаткой типа «ОЗОН» производства ПАО «Пензмаш».

В 2016 году в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ, была включена зернобобовая культура белый люпин**,** посевная площадь под которой в России может составить 5,0 млн. га.

Возделывают белый люпин, используя ту же систему машин, что и для зерновых культур. Длина вегетационного периода составляет в среднем 115-130 дней, уборка приходится на третью декаду сентября и, нередко, этот период совпадает с периодом дождей. Культура отличается высокой потенциальной продуктивностью**,** с урожайностью семян до 40…50 ц/га, а зеленой массы - до 1000 ц/га и при влажности семян более 20% уборка этой массы сопровождается забиванием молотильного устройства комбайна, что приводит к потерям части урожая. Для решения существующей проблемы необходимо рассмотреть возможность применения на уборке белого люпина технологии очеса растений на корню, позволяющей повысить полноту сбора семян, так как она в меньшей степени зависит от погодных условий [5, 6].

Технология уборки очесом растений на корню, позволяет снизить нагрузку на молотильно-сепарирующую систему, уменьшить затраты энергии, снизить потребление топлива, а также потери семян, значительно сократить сроки уборки урожая. Очесывающие жатки прекрасно работают при повышенной влажности убираемых культур [7, 8, 13, 14].

Применение данной технологии, возможно, осуществить на специально выведенном сорте «Дега», созданном во Всероссийском НИИ люпина совместно с Российским государственным аграрным университетом – МСХА имени К. А. Тимирязева. Данному сорту присуще формирование бобов как правило в одном верхнем ярусе на главном стебле и укороченных боковых ветвях, устойчивость к растрескиванию бобов, осыпанию семян на корню и полеганию [9, 10].

Для подтверждения в производственных условиях, были произведены полевые испытания в хозяйствах Мичуринского района Тамбовской области в 2015-2016 гг. на уборке белого люпина сорта «Дега». Для этого использовалась очесывающая жатка «ОЗОН» производства ПАО «Пензмаш» с новыми рабочими органами [11, 12], навешанная на комбайн КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12» (Рис.1).

Рисунок 1 - Работа комбайна в загоне: 1 – комбайн КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS12»; 2 – очесывающая жатка «ОЗОН»

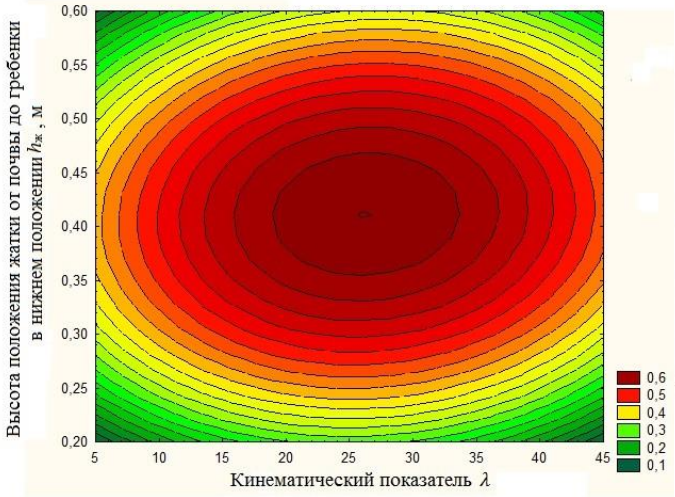
На основании априорной информации и результатов исследований размерно-массовых характеристики физико-механических свойств растений белого люпина, результатов поисковых опытов, а также исходя из задач исследования, были выявлены наиболее существенные факторы**,** влияющие на потери за жаткой $p_ж$ в наибольшей степени. В основном, влияют три следующих фактора: кинематический показатель λ; высота положения жатки от почвы до гребенки в нижнем положении $h_ж$, м; высота расположения точки контакта обтекателя с растением h_0, м (Табл. 1).

Таблица 1

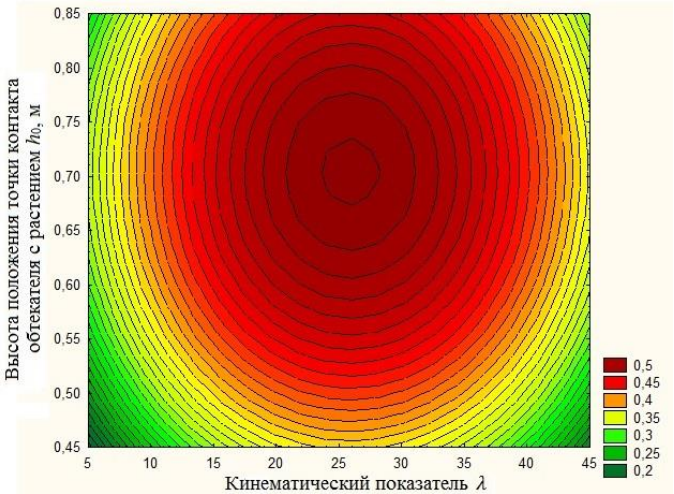
Факторы и область их исследования

Фактор	Обозначение	Уровень реального значения фактора			Код	Уровень кодированного значения фактора		
		Нижний	Основной	Верхний		Нижний	Основной	Верхний
Кинематический показатель	λ	10	25	40	X_1	-1	0	+1
Высота положения жатки от почвы до гребенки в нижнем положении, м	$h_ж$	0,25	0,4	0,55	X_2	-1	0	+1
Высота положения точки контакта обтекателя с растением, м	h_0	0,5	0,65	0,8	X_3	-1	0	+1

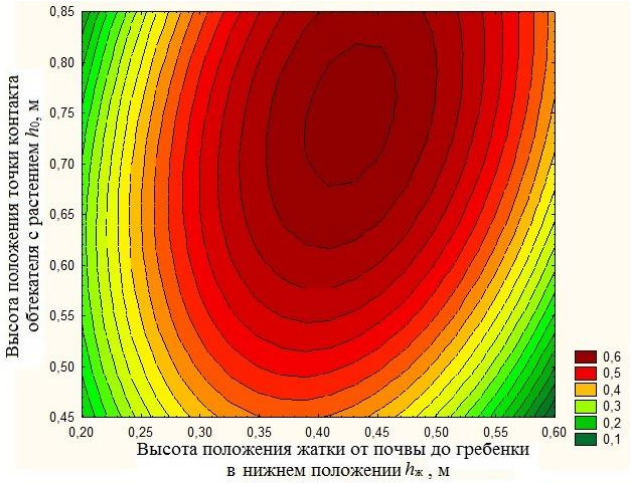
При исследовании влияния факторов на потери семян белого люпина провели полнофакторный эксперимент по типу 2^3. Результаты, полученные в ходе эксперимента, были подвержены статистической обработке. Обработка выполнялась в программе MathCAD, при помощи программы Statistic 13.0 выполнено построение двумерных сечений рисунок 2.



а)



б)



в)

Рисунок 2 - Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие потери семян за жаткой $p_ж$ от: а) кинематического показателя (λ) и высоты положения жатки от почвы до гребенки в нижнем положении ($h_ж$,м); б) кинематического показателя (λ) и высоты расположения точки контакта обтекателя с растением (h_0, м); в) высоты положения жатки от почвы до гребенки в нижнем положении ($h_ж$, м) и высоты расположения точки контакта обтекателя с растением (h_0, м).

После обработки результатов многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии второго порядка, описывающие зависимость потерь семян, от выбранных факторов $p_ж = (\lambda, h_ж, h_0)$ в закодированном виде:

$$Y = 1{,}65 + 0{,}022 \cdot X_1 + 4{,}83 \cdot X_2 + 2{,}77 \cdot X_3 - 0{,}04 \cdot X_1^2 - 0{,}07 \cdot X_2^2 - 2{,}59 \cdot X_3^2 - 0{,}006 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0{,}004 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2{,}42 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

Раскодированное уравнение регрессии (1) вид:

$$Y = 1{,}65 + 0{,}022 \cdot \lambda + 4{,}83 \cdot h_ж + 2{,}77 \cdot h_0 - 0{,}04 \cdot \lambda^2 - 0{,}07 \cdot {h_ж}^2 - 2{,}59 \cdot {h_0}^2 - 0{,}006 \cdot \lambda \cdot h_ж - 0{,}004 \cdot \lambda \cdot h_0 + 2{,}42 \cdot h_ж \cdot h_0 \quad (2)$$

Полевые исследования были направлены на установление достоверности выведенных теоретических зависимостей, рациональных режимов и определение количественных показателей работы предлагаемой очесывающей жатки с новыми рабочими органами в полевых условиях.

Для обеспечения качественной работы модернизированной очесывающей жатки с уровнем потерь $p_ж$ не более 0,5 % необходимо выполнить следующие условия: кинематический показатель $\lambda = 24 \ldots 27$; высота положения жатки от почвы до гребенки в нижнем положении $h_ж = 0{,}38 \ldots 0{,}42$ м и высота положения точки контакта обтекателя с растением $h_0 = 0{,}7 \ldots 0{,}75$ м.

Список литературы

1. Aldoshin, N.V. Damage of white lupine grain during harvesting. - Technoforum 2015. “New trends in machinery and technologies for biosystems” – ISBN 978-80-552-1325-5 – Slovakia. Nitra. Slovenska polnohospodarska univerzita v Nitre, 2015 – s. 14-18.

2. Мосяков, М.А. Технологические особенности уборки белого люпина / М.А. Мосяков // Сборник 8-ой Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Агроинженерные инновации в сельском хозяйстве». – М.: Изд-во ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. – С. 202-206.

3. Мосяков, М.А. Особенности уборки зернобобовых культур / М.А. Мосяков // Сборник Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Инновационная деятельность в модернизации АПК». – Ч.1. – М.: Изд-во Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. – С.298-302.

4. Ahmet INCE, Sait M.SAY, Orhan KARA, Emin BILGILI Comparing of Different Harvesting Systems in Wheat Harvesting Tarm Makinalan Bilimi Dergisi Joumal of Agricultural Machinery Science 2011, 7(11), 89-93.

5. Алдошин, Н.В., Лылин Н.А., Мосяков М.А. Жатка «Озон» на уборке белого люпина // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: Матер. Международной науч.-метод. конф. 10 января 2017. Т. II. – М.: Изд-во ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. С. 102-109.

6. Мосяков М.А. Уборка белого люпина очесывающими устройствами / М.А. Мосяков // Сборник Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 100-летию И.С. ШАТИЛОВА. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2017. – С.305-306.

7. Алдошин, Н.В. Выбор кинетического параметра работы очесывающей жатки «ОЗОН» / Н.В. Алдошин, М.А. Мосяков // Сборник Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России». – Т. 3. – М.: Изд-во ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2017. – С.13

8. Мосяков, М.А. Особенности уборки зернобобовых культур / М.А. Мосяков // Сборник Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Инновационная деятельность в модернизации АПК». – Ч.1. – М.: Изд-во Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. – С.298-302.

9. Мосяков, М.А. Оценка потерь и повреждаемости зерна при уборке зернобобовых культур / М.А. Мосяков // Сборник Международной научно-методической конференции «Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве». – Т.I. – М.: Изд-во ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С.232-238.

10. Парфенов, В.С. Теоретическое обоснование основных конструктивных параметров волнообразного ротора / В.С. Парфенов, А.В. Яшин, Ю.В. Полывяный // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – С.157-160.

11. Очесывающее устройство с комбинированным рабочим органом для очеса зернобобовых культур№178721 МПК A01D41/08 / Н.В. Алдошин, А.А. Золотов, Н.А. Лылин, М.А. Мосяков, Малла Бахаа. 18.04.2018. Бюл. №11. – 6

12. Очесывающее устройство для крупносемянных культур: Патент РФ № 172995, МПК A01D41/08 / Н.В. Алдошин, А.А. Золотов, Н.А. Лылин, А.И. Панов, А.А. Манохина, М.А. Мосяков, Д.Н. Алдошин, А.М. Воронов. Опубл. 03.08.2017. Бюл. № 22. – 6

13. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 2. С. 4-8.

14. Елизаров В.П., Артюшин А.А., Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 2 (31). С. 12-18.

References

1. Aldoshin, N.V. Damage of white lupine grain during harvesting. - Technoforum 2015. “New trends in machinery and technologies for biosystems” – ISBN 978-80-552-1325-5 – Slovakia. Nitra. Slovenska polnohospodarska univerzita v Nitre, 2015 – s. 14-18.

2. Mosyakov, M.A. Tekhnologicheskie osobennosti uborki belogo lyupina [Technological features of cleaning white lupine] / M.A. Mosyakov // Sbornik 8-oj Mezhdunarodnoj

nauchno-tekhnicheskoj konferencii molodyh uchenyh i specialistov «Agroinzhenernye innovacii v sel'skom hozyajstve». – M.: Izd-vo FGBNU FNAC VIM, 2017. – pp. 202-206.

3. Mosyakov, M.A. Osobennosti uborki zernobobovyh kul'tur [Features of harvesting leguminous crops] / M.A. Mosyakov // Sbornik Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Innovacionnaya deyatel'nost' v modernizacii APK» [Collection of the International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Innovative activities in the modernization of the agricultural sector."]. – CH.1. – M.: Izd-vo Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii, 2016. – pp.298-302.

4. Ahmet INCE, Sait M.SAY, Orhan KARA, Emin BILGILI Comparing of Different Harvesting Systems in Wheat Harvesting Tarm Makinalan Bilimi Dergisi Joumal of Agricultural Machinery Science 2011, 7(11), 89-93.

5. Aldoshin, N.V., Lylin N.A., Mosyakov M.A. ZHatka «Ozon» na uborke belogo lyupina // Sovremennye tendencii razvitiya tekhnologij i tekhnicheskih sredstv v sel'skom hozyajstve [Reaper "Ozone" for cleaning white lupine // Modern trends in the development of technologies and technical means in agriculture]: Mater. Mezhdunarodnoj nauch.-metod. konf. 10 yanvarya 2017. T. II. – M.: Izd-vo FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2017. pp. 102-109.

6. Mosyakov M.A. Uborka belogo lyupina ochesyvayushchimi ustrojstvami [Cleaning White Lupine Scrubbing Devices] / M.A. Mosyakov // Sbornik Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii molodyh uchyonyh i specialistov, posvyashchyonnoj 100-letiyu I.S. SHATILOVA. – M.: Izd-vo RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2017. – pp.305-306.

7. Aldoshin, N.V. Vybor kineticheskogo parametra raboty ochesyvayushchej zhatki «OZON» [Selection of the kinetic parameter of the work of the stripping header "OZON"] / N.V. Aldoshin, M.A. Mosyakov // Sbornik Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Agrarnaya nauka v usloviyah modernizacii i innovacionnogo razvitiya APK Rossii». – T. 3. – M.: Izd-vo FGBOU VO Ivanovskaya GSKHA, 2017. – p.13

8. Mosyakov, M.A. Osobennosti uborki zernobobovyh kul'tur [Features of harvesting leguminous crops] / M.A. Mosyakov // Sbornik Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Innovacionnaya deyatel'nost' v modernizacii APK» [Collection of the International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Innovative activities in the modernization of the agricultural sector"]. – CH.1. – M.: Izd-vo Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii, 2016. –pp.298-302.

9. Mosyakov, M.A. Ocenka poter' i povrezhdaemosti zerna pri uborke zernobobovyh kul'tur [Estimation of losses and damageability of grain when harvesting leguminous crops] / M.A. Mosyakov // Sbornik Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoj konferencii «Sovremennye tendencii razvitiya tekhnologij i tekhnicheskih sredstv v sel'skom hozyajstve» [The collection of the International scientific-methodical conference "Modern trends in the development of technologies and technical means in agriculture."]. – T.I. – M.: Izd-vo FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2017. – pp.232-238.

10. Parfenov, V.S. Teoreticheskoe obosnovanie osnovnyh konstruktivnyh parametrov volnoobraznogo rotora [Theoretical substantiation of the main design parameters of a wave-like rotor] / V.S. Parfenov, A.V. YAshin, YU.V. Polyvyanyj // Resursosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Resource-saving technologies and technical means for crop and livestock production: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. – Penza: RIO PGSKHA, 2014. – pp.157-160.

11. Ochesyvayushchee ustrojstvo s kombinirovannym rabochim organom dlya ochesa zernobobovyh kul'tur [Stripping device with a combined working body for stripping leguminous

crops] No.178721 MPK A01D41/08 / N.V. Aldoshin, A.A. Zolotov, N.A. Lylin, M.A. Mosyakov, Malla Bahaa. 18.04.2018. Byul. No.11. – 6

12. Ochesyvayushchee ustrojstvo dlya krupnosemyannyh kul'tur [Stripping device for large seed crops]: Patent RF No. 172995, MPK A01D41/08 / N.V. Aldoshin, A.A. Zolotov, N.A. Lylin, A.I. Panov, A.A. Manohina, M.A. Mosyakov, D.N. Aldoshin, A.M. Voronov. Opubl. 03.08.2017. Byul. No. 22. – 6

13. ZHalnin EH.V., Cench YU.S., P'yanov V.S. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernouborochnyh kombajnov po funkcional'nym i konstruktivnym parametram [Methods of analysis of the technical level of combine harvesters by functional and design parameters] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2018. vol. 12. № 2. p. 4-8.

14. Elizarov V.P., Artyushin A.A., Cench YU.S. Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennoj sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Perspective directions of development of domestic agricultural machinery] // Vestnik VIEHSKH. 2018. No 2 (31). p. 12-18.

УДК 631.171: 631.5

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПЛУГ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

COMBINED PLOW FOR INTRODUCING MINERAL FERTILIZERS

***Э. М.-Д. НАГИЕВ**, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, **Г.Н. КУРБАНОВ**, старший научный сотрудник, **И.О. МАМЕДОВ**, главный конструктор, заведующий лабораторией, **М.Ф. МАМЕДОВ**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, **М.В. БАГИРОВА**, учёный-агроном, главный специалист, **Т.М. МАМЕДОВ**, инженер-механик, научный сотрудник, **Ш.Г. ГАСАНОВА**, инженер-технолог, старший научный сотрудник, Научно – Исследовательский Институт «Агромеханика», Азербайджан*

***EH. M.-D. NAGIEV**, candidate of technical Sciences, associate Professor, head of laboratory, **G.N. KURBANOV**, senior researcher, **I.O. MAMEDOV**, chief designer, head of the laboratory, **M.F. MAMEDOV**, candidate of technical Sciences, leading researcher, **M.V. BAGIROVA**, scientist-agronomist, chief specialist, **T.M. MAMEDOV**, mechanical engineer, researcher, **SH.G. GASANOVA**, engineer-technologist, senior researcher, research Institute "Agromechanics", Azerbaijan*

***Аннотация**. Изложены результаты исследований комбинированного плуга, совмещающего операции вспашки почвы и внесения минеральных удобрений. Использование комбинированного плуга полностью исключает операцию по предпахотному разбрасыванию минеральных удобрений разбрасывателями и связанные с ней расходы труда и средств и в тоже время обеспечивает высокую эффективность использования удобрений.*

***Ключевые слова**: пшеница, удобрение, вспашка, плуг, высевающий аппарат.*

***Abstract**. The results of studies of the combined plow, combining the operation of plowing the kidneys and applying mineral fertilizers. The use of a combined plow completely eliminates the operation of pre-ploughing of mineral fertilizers by spreaders and the associated costs of labor and funds and at the same time provides high efficiency of fertilizer use.*

***Keywords**: Grain, fertilizer, tillage, plough, apparatus sowing.*

В Азербайджане на душу населения приходится 0,18 га пахотных земель и это намного ниже среднемировых показателей. Урожаем, полученным на этой площади, приходится обеспечивать население пшеницей, овощами, продуктами животноводства и промышленность сырьём. Это вызывает необходимость использовать в земледелии интенсивные технологии [1- 3, 11, 13].

Используемые в ряде стран мира, например в Канаде и России, комбинированные агрегаты для предпосевной обработки почвы, могут совмещать несколько операций [12]. Однако, в наших условиях, где площади сравнительно малы, их использование экономически невыгодно [4-9].

Используя многолетний опыт в нашей республике, для вспашки почвы рекомендуется применять 4-х корпусные плуги [10].

В настоящее время перевозка и разбрасывание минеральных удобрений проводится в основном машинами марки 1-РМГ-4.

Проведение в отдельности этих технологических операции приводит к увеличению затрат труда, расхода топлива и потере времени. Поэтому целесообразно объединить эти технологические операции.

Цель исследований – разработка, изготовление и исследование новой машины, совмещающей операции вспашки и внесения удобрений.

Учитывая вышеизложенное, нами разработан комбинированный плуг для внесения минеральных удобрений.

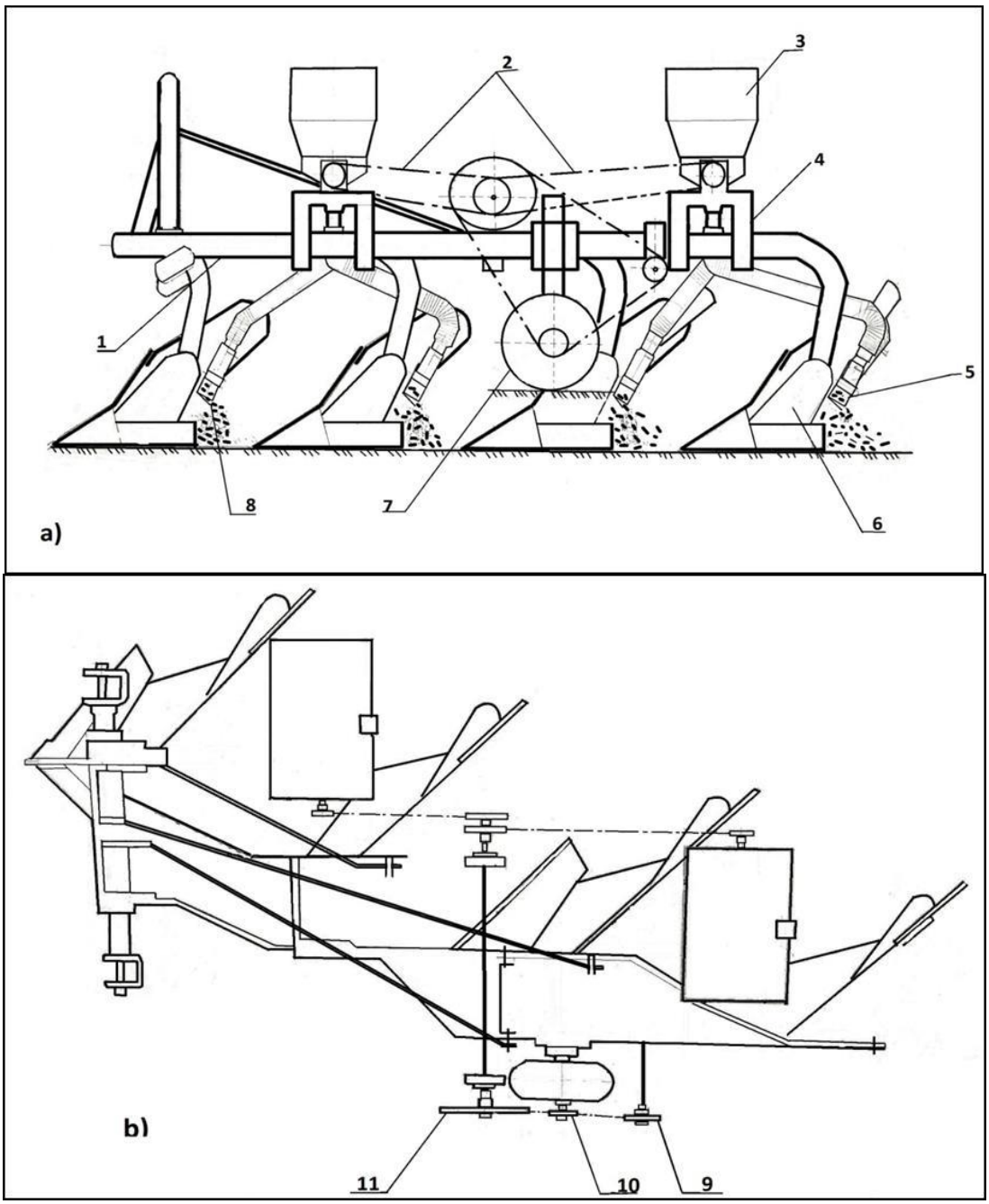


Рисунок 1 - Комбинированный плуг: а) вид сбоку; б) вид сверху; 1- рама плуга, 2-цепная передача, 3-удобритель, 4-кронштейн для крепления удобрительного аппарата,5-тукопроводы, 6-корпус плуга, 7-опорное колесо, 8-отражательная пластина, 10-натяжное приспособление, 11-ведущая звездочка, 12-промежуточная звёздочка

Как видно из Рис.1. на плуг смонтированы два разбрасывателя минеральных удобрений марки АТП-2. Высевающие аппараты приводятся в движение от опорного колеса плуга при помощи цепной передачи. Норма высева удобрений регулируется с помощью звёздочек.

Технологическая схема работы комбинированного плуга представлена на Рис. 1. Комбинированный плуг состоит из 4-х корпусного плуга SP-12 турецкого производства, на котором монтированы два туковысевающих аппарата марки АТП-2 (3). Туковысевающие аппараты (3) получают вращение от опорного колеса плуга (7) посредством цепной передачи (2). Для предотвращения проскальзывания, опорное колесо снабжено ребордами (шпорами). Получившие вращение от опорного колеса (7) туковысевающие аппараты (3), посредством четырех тукопроводов (5), распределяют удобрения по дну борозды. Для равномерного распределения удобрений перед тукопроводами установлена отражательная пластина (8). Удобрения, вынесенные наружу из тукопроводов 5, отражаясь от пластины (8), равномерно распределяются по дну борозды и заделываются почвой.

Использование комбинированного плуга полностью исключает операцию по предпахотному разбрасыванию минеральных удобрений разбрасывателями и связанные с ней расходы труда и средств и в то же время, обеспечивает высокую эффективность использования, т.е. внесение удобрений под пахоту способствует равномерному внесению и уменьшению потерь удобрений.

Выполнение вспашки и внесения удобрений за один проход трактора устраняет чрезмерное уплотнение почвы, уменьшает расход топлива. Кроме того, обеспечивается выполнение операций за короткий агротехнический срок.

Во время исследований рабочая скорость агрегата составила 4,5…5,5 км/ч (1,25 …1,53 м/с), рабочая ширина захвата 1,51 м, глубина обработки (средняя) 25 см, норма высева минеральных удобрений 65…520 кг/га (Рис.2). Агрегатируется с тракторами класса 30 кН.

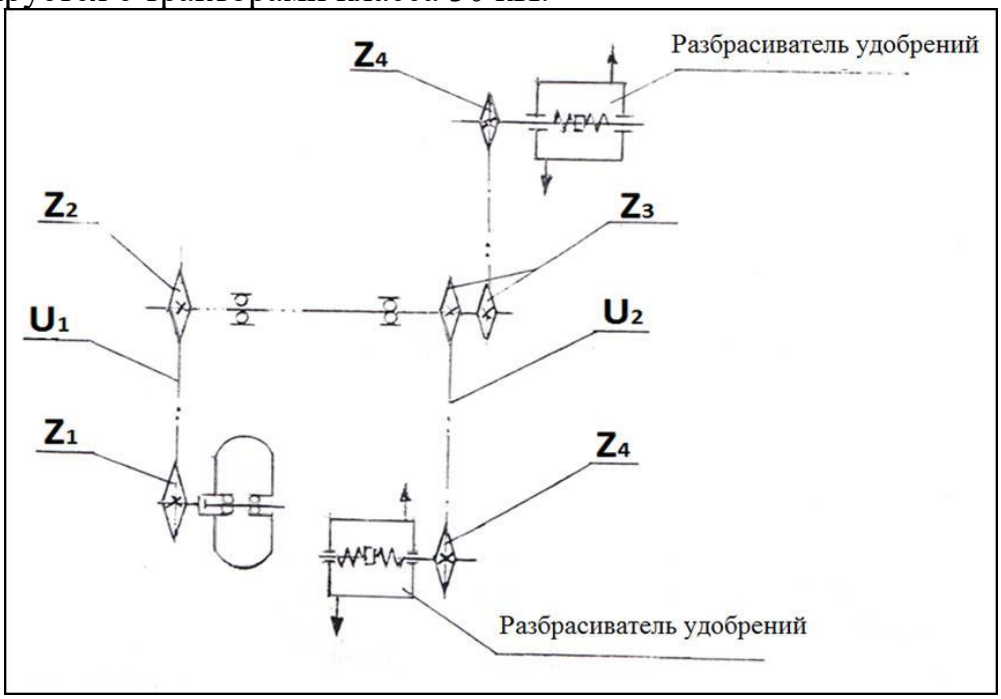


Рисунок 2 - Кинематическая схема разбрасывателя удобрений

Норма высева минеральных удобрений регулируется заменой звёздочек (Рис.2). Например, если число зубьев звездочек Z_1; Z_2; Z_3 и Z_4 составляет соответственно 12; 63; 7 и 15, норма высева на один га составляет 65 кг. В общем, изменяя число зубьев звездочки Z_1 от 12 до 37, можно изменять норму внесения минеральных удобрений от 65 до 202,7 кг на один гектар.

Однако, т.к. звездочка Z_1 находится на опорно-приводном колесе, а увеличение числа зубьев звёздочки приводит к увеличению её диаметра, поэтому увеличение числа зубьев более 37 приводит к соприкосновению звездочки с почвой.

Учитывая вышеизложенное, дальнейшее увеличение нормы высева целесообразно проводить звездочкой Z_3. Так, изменяя число зубьев звездочки Z_3 с 7 до 17, норму внесения минеральных удобрений на один гектар можно изменять от 202,7 кг до 520 кг.

Экономическая оценка комбинированного плуга проведена по существующей методике. Внедрение комбинированного плуга экономически очень выгодно. Вычисления показывают, что, по сравнению с обычным способом (проведение операций в отдельности) совмещение операций уменьшает затраты труда на 14,65%, эксплуатационные затраты на 18,3% и приведенные затраты на 21,72%.

Годовой экономический эффект одной машины, по разнице приведенных затрат, составляет 3936 манатов.

1. На основе использованной литературы, патентных поисков и поиска по интернету разработан и изготовлен комбинированный плуг, объединяющий две технологические операции – пахоту и внесение минеральных удобрений.

2. Использование комбинированного плуга полностью исключает операцию по предпахотному разбрасыванию минеральных удобрений разбрасывателями и связанные с ней расходы труда и средств и в то же время обеспечивает высокую эффективность использования удобрений.

3. Во время хозяйственных испытаний установлены: скорость 4,5…5,5 км/ч (1,25… 1,53 м/с), рабочая ширина захвата 1,51 м, глубина обработки 20…25 см, норма высева удобрений составила 65…520 кг/га.

4. По сравнению с раздельным выполненным операций, использование комбинированного плуга способствует уменьшению затрат труда на 14,65% и эксплуатационных задержек на 18,3%.

5. Годовой экономический эффект одной машины, по разнице приведенных затрат, составляет 3936 манатов.

Список литературы

1. President.az. Заключительная речь по итогам социально-экономического развития при Кабинете Министров за девять месяцев 2016 года

2. aqro.gov.az. Официальный сайт Министерства Сельского Хозяйства Азербайджанской Республики. Мовсумов З. Гусейнов О. 1 января 2018 г.

3. Рекомендации Азербайджанской ССР по выращиванию зерновых колосовых культур. Азерб. ССР. МСХ. Главное управление Науки и Пропаганды. Баку. 1981.

4. Pitstick Farms – John Deere 9560 R и 9530 T на 5-7-2013, www.tractordata. com.

5. Жукова О. Современные технологии и техника для предпосевной обработки почвы. //Техника и оборудование для села. №12. – 2010,с.13…15.

6. Дёмшин С.А., Владимиров Е.А. Расчёт оптимальной ширины захвата агрегата для обработки почвы и посева. //Техника и оборудование для села. №5. – 2010,с. 3…6.

7. Киселёв С.Н. Основная обработка почвы ротационными копателями. Ж.Техника и оборудование для села. 2010,№9, с. 42…44

8. Рязанов В.М. Машины европейского уровня // Техника и оборудование для села. №7. – 2010, с. 12…13

9. Уборочно –повообрабатывающий агрегат на базе комбайна TORUM / Маслов Г.Г и др. // Техника и оборудование для села. №2. – 2010, с. 18…19

10. Фаталиев К.Г., Нагиев Э.М. Проблемы в горном земледелий и пути их решения. В книге Сборник научных трудов. Азерб. НИИ «Агромеханика». Том. XX. Гянджа, 2014. С.24…26.

11. Лачуга Ю.Ф., Савченко И.В., Чекмарев П.А., Шогенов Ю.Х., Кирсанов В.В., Шумов Ю.А., Голубев Д.А., Измайлов А.Ю., Мазитов Н.К., Кряжков В.М., Лобачевский Я.П., Елизаров В.П., Смирнов И.Г., Шайхов М.К., Жук А.Ф., Марченко О.С., Сорокин Н.Т., Белых С.А., Рычков В.А., Солдатова Т.Г. и др. Влагоаккумулирующие технологии, техника для обработки почв и использование минеральных удобрений в экстремальных условиях // Научное издание / Рязань, 2014.

12. Кондратов А.Ф., Лобачевский Я.П., Кондратов В.А., Медведчиков В.М., Шаров В.В., Воробьев В.В., Демидов В.П., Ляпин В.Г., Чулкина В.А. Современные технологии и средства механизации обработки почвы, посева, посадки, внесения удобрений и защиты растений. Новосибирск, 2001.

13. Марченко Н.М., Марченко А.Н., Лобачевский Я.П., Личман Г.И., Педай Н.П., Михеев В.В., Рогачев В.Р., Тыкушин А.А. Способ и устройство дифференцированного припосевного внесения основных и стартовых доз минеральных удобрений. патент на изобретение RUS 2452167 01.11.2010

References

1. President.az. Zaklyuchitel'naya rech' po itogam social'no-ehkonomicheskogo razvitiya pri Kabinete Ministrov za devyat' mesyacev 2016 goda [Final speech on the results of socio-economic development under the Cabinet of Ministers for the first nine months of 2016].

2. aqro.gov.az. Oficial'nyj sajt Ministerstva Sel'skogo Hozyajstva Azerbajdzhanskoj Respubliki [Official website of the Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan]. Movsumov Z. Gusejnov O. 1 yanvarya 2018.

3. Rekomendacii Azerbajdzhanskoj SSR po vyrashchivaniyu zernovyh kolosovyh kul'tur. Azerb. SSR. MSKH. Glavnoe upravlenie Nauki i Propagandy. Baku [Recommendations of the Azerbaijan SSR on the cultivation of cereals. Azerb. SSR. MoA. General Directorate of Science and Propaganda. Baku]. 1981.

4. Pitstick Farms – John Deere 9560 R i 9530 T na 5-7-2013, www.tractordata. com.

5. ZHukova O. Sovremennye tekhnologii i tekhnika dlya predposevnoj obrabotki pochvy. //Tekhnika i oborudovanie dlya sela [Modern technologies and equipment for pre-sowing tillage. // Equipment and equipment for the village]. No.12. – 2010,p.13…15.

6. Dyomshin S.A., Vladimirov E.A. Raschyot optimal'noj shiriny zahvata agregata dlya obrabotki pochvy i poseva. //Tekhnika i oborudovanie dlya sela [Calculation of the optimal width of the unit for tillage and seeding. // Equipment and equipment for the village]. No. 5. – 2010,p. 3…6.

7. Kiselyov S.N. Osnovnaya obrabotka pochvy rotacionnymi kopatelyami. ZH.Tekhnika i oborudovanie dlya sela [The main tillage soil rotary diggers. Equipment and equipment for the village]. 2010, No. 9, p. 42…44

8. Ryazanov V.M. Mashiny evropejskogo urovnya // Tekhnika i oborudovanie dlya sela [European level machines // Machinery and equipment for the village]. No.7. – 2010, p. 12…13

9. Uborochno –povoobrabatyvayushchij agregat na baze kombajna TORUM [Harvesting and processing unit based on the combine TORUM] / Maslov G.G i dr. // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. No.2. – 2010, p. 18…19

10. Fataliev K.G., Nagiev EH.M. Problemy v gornom zemledelij i puti ih resheniya [Problems in mountain farming and their solutions]. V knige Sbornik nauchnyh trudov. Azerb. NII «Agromekhanika». Tom. HKH. Gyandzha, 2014. p.24…26.

11. Lachuga YU.F., Savchenko I.V., CHekmarev P.A., SHogenov YU.H., Kirsanov V.V., SHumov YU.A., Golubev D.A., Izmajlov A.YU., Mazitov N.K., Kryazhkov V.M., Lobachevskij YA.P., Elizarov V.P., Smirnov I.G., SHajhov M.K., ZHuk A.F., Marchenko O.S., Sorokin N.T., Belyh S.A., Rychkov V.A., Soldatova T.G. i dr. Vlagoakkumuliruyushchie tekhnologii, tekhnika dlya obrabotki pochv i ispol'zovanie mineral'nyh udobrenij v ehkstremal'nyh usloviyah [Moisture-accumulating technologies, equipment for tillage and the use of mineral fertilizers in extreme conditions] // Nauchnoe izdanie / Ryazan', 2014.

12. Kondratov A.F., Lobachevskij YA.P., Kondratov V.A., Medvedchikov V.M., SHarov V.V., Vorob'ev V.V., Demidov V.P., Lyapin V.G., CHulkina V.A. Sovremennye tekhnologii i sredstva mekhanizacii obrabotki pochvy, poseva, posadki, vneseniya udobrenij i zashchity rastenij [Modern technologies and means of mechanization of tillage, planting, planting, fertilizing and plant protection]. Novosibirsk, 2001.

13. Marchenko N.M., Marchenko A.N., Lobachevskij YA.P., Lichman G.I., Pedaj N.P., Miheev V.V., Rogachev V.R., Tykushin A.A. Sposob i ustrojstvo differencirovannogo priposevnogo vneseniya osnovnyh i startovyh doz mineral'nyh udobrenij [Method and device for differential pre-sowing application of basic and starting doses of mineral fertilizers]. patent na izobretenie RUS 2452167 01.11.2010

УДК 631.331.54.04

ВЫРАВНИВАТЕЛЬ ПОЧВЫ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЬНА – ДОЛГУНЦА
SOIL LEVELER FOR FLAX CULTIVATION

***М.В. НИКИФОРОВ**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия, **И.В. ГОРБАЧЁВ**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член – корреспондент Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Россия, **В.В. ГОЛУБЕВ**, кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, заведующий кафедрой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия*

***M.V. NIKIFOROV**, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia, **I.V. GORBACHYOV**, doctor of agricultural Sciences, Professor, cor. memb. RAS, Russian state agrarian University – Moscow state agrarian Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia, **V.V. GOLUBEV**, candidate of technical Sciences, associate Professor, the Head of the Department, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia*

***Аннотация**. Проведённые лабораторно – полевые исследования рекомендуемых для возделывания льна – долгунца выравнивающих рабочих органов показали на несоответствие предъявляемым агротехническим требованиям к качеству предпосевной обработке почвы. Для предпосевной обработки почвы, обеспечивающей равномерность последующего высева мелкосеменных культур, на основании патентного поиска разработана конструкция выравнивателя почвы. Отличительным признаком функционирования выравнивателя почвы является совмещение технологических операций выравнивания поверхностного слоя и уплотнения семенного ложа, обеспечивающего требуемые свойства почвенной бороздки и поверхностного слоя, равномерное распределение высеваемого материала на требуемой глубине. Использование предложенной конструкции выравнивателя позволяет повысить качество предпосевной обработки почвы на 12,0…15,0 %, что приводит к увеличению урожайности льна до 17,0 %, в сравнении с серийными выравнивающими рабочими органами.*

***Abstract**. The laboratory and field studies recommended for the cultivation of flax leveling working bodies showed a discrepancy between the requirements of agrotechnical requirements for the quality of pre-sowing tillage. For pre-sowing tillage, ensuring the uniformity of the subsequent sowing of small-seed crops, on the basis of patent search, the design of the soil equalizer was developed. A distinctive feature of the operation of the equalizer of the soil is the combination of technological operations of the alignment of the surface layer and compaction of the seed bed, providing the required properties of the soil furrows and the surface layer, uniform distribution of the planted material at the desired depth. The use of the proposed design of the equalizer allows to improve the quality of pre-sowing tillage by 12.0...15.0 %, which leads to an increase in the yield of flax to 17.0 %, in comparison with serial leveling working bodies.*

***Ключевые слова**: почва, выравнивание, предпосевная обработка почвы, полевая всхожесть, гребнистость, комбинированный агрегат, лён, мелкосеменные культуры, лабораторно – полевые исследования.*

***Keywords**: Soil, alignment, pre-sowing soil cultivation, field germination, the unevenness, combined unit, flax, small-seed crops, laboratory-field studies.*

При возделывании мелкосеменных культур, к которым по геометрическому признаку относятся семена льна, клевера, рапса, трав [1, 2, 3, 4], весомая роль отведена технологическому процессу предпосевной обработки почвы [5, 6]. Одной из технологических операций в комплексе мероприятий по предпосевной подготовке почвы является выравнивание поверхностного горизонта почвы. Совмещение технологических операций выравнивания с уплотнением приповерхностного слоя почвы повышает эффективность функционирования выравнивателя, обеспечивая качественную подготовку почвы, снижение энергоёмкости процесса за счёт исключения рабочих органов для сплошного или локального прикатывания [5, 7]. Выравнивание и прикатывание, как совмещённая технологическая операция используется не только в сельском хозяйстве [7, 8], но и в других отраслях промышленности – строительстве дорог, сооружений. В доступных информационных источниках широко представлена информация при взаимодействии деформатора разнообразной формы с грунтом при многообразии режимов работы. Поэтому основным назначением выравнивателей грунта является максимальное уплотнение обрабатываемого материала, обеспечивая необходимый уклон или соответствующий профиль поверхности.

Почва, как многофазная среда, требует локального, кратковременного воздействия. Учёт степени изменения исходных физико-механических и технологических свойств почвы [9, 10] от воздействия рабочих органов обеспечит возможность управления процессом деформации почвы на поверхности и в семенном ложе за счёт обоснованных параметров и режимов работы выравнивателя. Выравниватели, как рабочие органы почвообрабатывающих и посевных машин [5, 7] почвы, нашли отражение в конструктивных решениях культиваторов, борон, сеялок, комбинированных агрегатах и комплексах. Отличительным признаком работы выравнивателя при посеве мелкосеменных культур является не только деформация поверхностных неровностей, но и создание оптимального уплотнения семенного ложа почвы, которое для мелкосеменных культур составляет не более 30,0 мм на почвах со среднесуглинистым и легкосуглинистым механическим составом [8].

Целью исследования является разработка конструкции рабочего органа, обеспечивающего выравнивание поверхностного горизонта почвы с локальным уплотнением на глубине семенного ложа без увеличения эрозионно-опасных почвенных агрегатов, с учётом ресурсосбережения технологической операции.

Выполненными патентными исследованиями конструкций выравнивателей почвы установлено, что большинство устройств не обоснованы для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры. На основании выполненных исследований рекомендуется использовать

следующие выравниватели – пассивные, активные, планирующие, полозовидные, ротационные и комбинированные [7 с.661] при предпосевной обработке почвы под мелкосеменные культуры. Однако, как показали результаты полевых испытаний [11 с.43-48], в том числе и при возделывании льна – долгунца, рекомендуемые для возделывания трав ротационные выравниватели не обеспечивают необходимого снижения гребнистости, поскольку не в полной мере удовлетворяют предъявляемым агротехническим требованиям.

Техническое решение, направленное на исключение выявленных недостатков по качеству соответствия агротехническим требованиям предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры, отражено в конструкции инновационного выравнивателя почвы (заявка на патент РФ № 2018111823/13 (018361) от 02.04.18г.). Разработанный выравниватель используется для предпосевной обработки почвы под посев мелкосеменных культур в комбинации с различными рыхлительными рабочими органами – культиваторами, боронами, шпоровыми катками. Выравниватель почвы (Рис.) включает в себя следующие основные элементы.

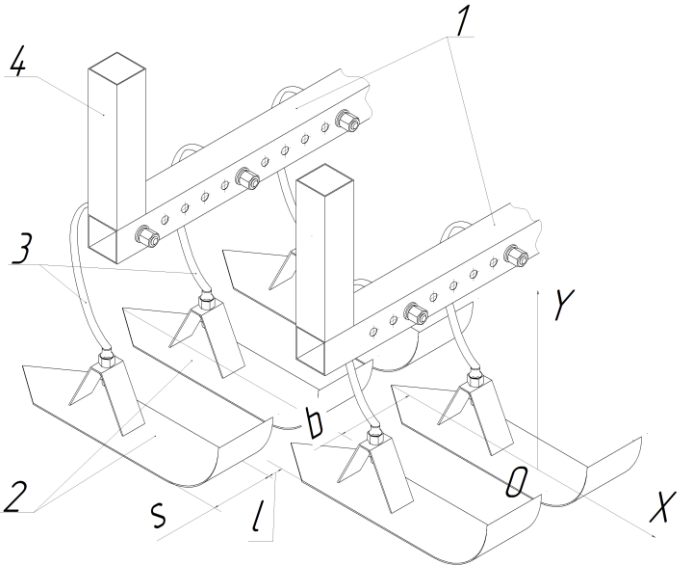


Рисунок – Выравниватель почвы для возделывания мелкосеменных культур: 1 – брус крепления подвесного механизма выравнивателей; 2 – выравнивающие полозья; 3 – подвесной механизм; 4 – крепление к сельскохозяйственной машине

Выравнивающий полоз 2 служит для взаимодействия с дневной поверхностью почвы и деформирует гребни, оставшиеся от предшествующей обработки почвы – агрофона. Изогнутая передняя часть выравнивающего полоза с заданным радиусом кривизны позволяет деформировать гребнистую поверхность, сдвигая почвенные агрегаты в почву без образования эрозионно-опасных почвенных агрегатов. Упругое соединение 3 осуществляет предохранительную и регулировочную функцию поверхностно распределённой нагрузки на почву, создавая оптимальную плотность в семенном ложе почвы. Наличие скоса на задней части выравнивателя позволяет перераспределять нагрузку при наезде на препятствие и исключить переуплотнение поверхности почвы. Расчётное количество выравнивателей закрепляется на брусе 1,

составляя блок выравнивания. В зависимости от необходимого количества блоков выравнивания, отдельным модулем производится соединение к почвообрабатывающей или посевной машине с применением крепления 4.

Количество рабочих органов (n) выравнивателя в комбинации с другими рыхлительными или сошниковыми группами зависит от рабочей ширины захвата машины и способа посева. Расстояние между выравнивателями регулируют, исходя из условия необходимого расстояния (b) между рядками высеваемой культуры. При предельных значениях междурядий (b_1), (b_2) в зависимости от типа высеваемой культуры, значение ширины (s) каждого полоза имеет постоянное значение

$$s = b - l = const; \text{ мм}, \quad (1)$$

где b – требуемое расстояние междурядий, мм;

l – расстояние между боковыми кромками смежных выравнивающих полозьев 2, мм.

Расстояние между боковыми кромками смежных выравнивателей устанавливают в диапазоне от 15 до 40 мм, исходя из условия комковатости на поверхности почвы. Согласно агротехническим требованиям в обработанном слое допускаются комки почвы размером по наибольшему диаметру до 2,5 см – не более 80,0 %; от 5,0 до 10,0 см – не более 10,0 %. Следовательно, максимальное расстояние между полозьями не должно превышать 50,0 мм, и быть не менее 10,0 мм.

Изогнутая форма передней рабочей грани выравнивателя 2 определяется уравнением

$$y = k \cdot x^2; \text{ мм}, \quad (2)$$

где y – вертикальная координата точки передней рабочей грани изогнутой части выравнивателя 2, мм;

k – коэффициент, учитывающий условие крошения исходя из предшествующей обработки почвы, мм$^{-1}$;

x – горизонтальная координата точки передней рабочей грани изогнутой части выравнивателя 2, мм;

Значение показателя (k) находится в диапазоне от 0,2 до 0,5 мм$^{-1}$, обеспечивая требуемое крошение почвенных агрегатов, в соответствии с предъявляемыми агротехническими требованиями.

Использование предложенной конструкции выравнивателя с учётом исходных свойств почвы снизило количество гребней на поверхностном почвенном горизонте и обеспечило создание требуемой плотности (1,25…1,27 г/см^3) в семенном ложе на глубине до 30 мм.

На основании патентных исследований разработан инновационный выравниватель почвы, обеспечивающий дифференцированное взаимодействие с поверхностным слоем с учётом исходного состояния почвы. Теоретическое обоснование формы и размеров рабочей поверхности подтверждены результатами предварительных лабораторно-полевых исследований на опытном поле ФГБОУ ВО Тверская ГСХА. Установлено, что оптимальные геометрические характеристики выравнивателя следующие: полоз лыжеобразной формы имеет значение загиба в диапазоне от 80,0 до 150,0 мм по

высоте при распределённой нагрузке на почву, составляющей 50,0…55,0 Н/см^2 и скорости движения в диапазоне 2,6…2,8 м/с. Следующим этапом исследования является доработка подвесного механизма 3, обеспечивающего широкий спектр регулировок поверхностнораспределённой нагрузки, с учётом исходного состояния почвы, а также степени выравненности и уплотнения почвы. Обоснование конструкции подвесного механизма позволит повысить надёжность функционирования выравнивателя, с учётом наличия препятствий в виде камней, огрехов и крупных сорняков.

Список литературы

1. Сухопалова, Т.П. Влияние предшественников льна и промежуточных культур в звене севооборота на урожайность и качество льнопродукции [Текст] / Т.П. Сухопалова // Достижение науки и техники АПК. – 2014. – № 9. – С. 23 – 25.
2. Шевченко, А.П. Теоретические исследования процесса посева семян льна – долгунца [Текст] / А.П. Шевченко, М.А. Бегунов, В.С. Коваль // Вестник Омского ГАУ. – 2017. – № 3. – С. 187 – 196.
3. Феськова, Е.В. Технологические особенности измельчения и фракционирования семян льна масличного [Текст] / Е.В. Феськова, В.Н. Леонтьев, П.Н. Саввин и др. // Вестник ВГУИТ. – 2015. – № 3. С. 23 – 27.
4. Фирсов, А.С. Повышение эффективности рабочих органов машин для посева льна и других мелкосеменных культур. Монография [Текст] / А.С. Фирсов, В.В. Голубев / Тверь. – ТГСХА. – 2018. – 121 с.
5. Понажёв, В.П. Технология и организация производства высококачественной продукции льна – долгунца [Текст] / В.П. Понажёв, Л.Н. Павлова, Е.И. Павлов и др. / М.: Росинформагротех. – 2004. – 148 с.
6. Раднаев, Д.Н. Агротехническая оценка посевных агрегатов [Текст] / Д.Н. Раднаев // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 4. – С. 101 – 104.
7. Аушев, М.Х. Обоснование конструктивно – технологической схемы комбинированного почвообрабатывающего агрегата для предпосевной подготовки почвы [Электронный ресурс] / М.Г. Аушев, Б.И. Хамхоев, Л.М. Хажметов и др. / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99. – С. 660 – 670. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_21695028_51956460.pdf
8. Никифоров, М.В. Анализ конструктивных особенностей рабочих органов для выравнивания почвы при посеве мелкосеменных культур. [Текст] / М.В. Никифоров, В.В. Голубев, А.В. Кудрявцев / Конкурентоспособность и инновационная активность АПК регионов. Сборник научных трудов по материалам Международной научно – практической конференции 6 – 8 февраля 2018 года. Тверь. – ТГСХА. – 2018. С. 202 – 205.
9. Сафонов, В.В. Полевые исследования технологических свойств кочек [Текст] / В.В. Сафонов, А.В. Кудрявцев, В.Ю. Кудрявцев // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 2 (6). – С. 29 – 35.
10. Андреев, А.Н. Методика лабораторных исследований выравнивателя. [Текст] / М.В. Никифоров, В.В. Голубев, А.Н. Андреев / Конкурентоспособность и инновационная активность АПК регионов. Сборник научных трудов по материалам Международной научно – практической конференции 6 – 8 февраля 2018 года. Тверь. – ТГСХА. – 2018. С. 208 – 211.
11. Голубев, В.В. Методика проведения агротехнического полевого опыта [Текст] / В.В. Голубев, А.В. Кудрявцев, А.С. Фирсов и др. / Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. - № 4. – С. 43 – 48.

References

1. Suhopalova, T.P. Vliyanie predshestvennikov l'na i promezhutochnyh kul'tur v zvene sevooborota na urozhajnost' i kachestvo l'noprodukcii [The influence of the predecessors of flax and intermediate crops in the link of crop rotation on the yield and quality of flax products] / T.P. Suhopalova // Dostizhenie nauki i tekhniki APK. – 2014. – No. 9. – pp. 23 – 25.
2. SHevchenko, A.P. Teoreticheskie issledovaniya processa poseva semyan l'na – dolgunca [Theoretical studies of sowing seeds of flax seed] / A.P. SHevchenko, M.A. Begunov, V.S. Koval' // Vestnik Omskogo GAU. – 2017. – No. 3. – pp. 187 – 196.
3. Fes'kova, E.V. Tekhnologicheskie osobennosti izmel'cheniya i frakcionirovaniya semyan l'na maslichnogo [Technological features of grinding and fractionation of seeds of flax oilseed] / E.V. Fes'kova, V.N. Leont'ev, P.N. Savvin i dr. // Vestnik VGUIT. – 2015. – No. 3. pp. 23 – 27.
4. Firsov, A.S. Povyshenie ehffektivnosti rabochih organov mashin dlya poseva l'na i drugih melkosemennyh kul'tur. Monografiya [Improving the efficiency of the working bodies of machines for planting flax and other small-seed crops. Monograph] / A.S. Firsov, V.V. Golubev / Tver'. – TGSKHA. – 2018. – 121 p.
5. Ponazhyov, V.P. Tekhnologiya i organizaciya proizvodstva vysokokachestvennoj produkcii l'na – dolgunca [Technology and organization of production of high-quality flax fiber products] / V.P. Ponazhyov, L.N. Pavlova, E.I. Pavlov i dr. / M.: Rosinformagrotekh. – 2004. – 148 p.
6. Radnaev, D.N. Agrotekhnicheskaya ocenka posevnyh agregatov [Agrotechnical assessment of sowing units] / D.N. Radnaev // Vestnik KrasGAU. – 2010. – No. 4. – p. 101 – 104.
7. Aushev, M.H. Obosnovanie konstruktivno – tekhnologicheskoj skhemy kombinirovannogo pochvoobrabatyvayushchego agregata dlya predposevnoj podgotovki pochvy [Justification of the constructive - technological scheme of the combined tillage unit for pre-sowing soil preparation] / M.G. Aushev, B.I. Hamhoev, L.M. Hazhmetov i dr. / Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – No. 99. – pp. 660 – 670. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_21695028_51956460.pdf
8. Nikiforov, M.V. Analiz konstruktivnyh osobennostej rabochih organov dlya vyravnivaniya pochvy pri poseve melkosemennyh kul'tur. [Analysis of the design features of the working bodies for leveling the soil when sowing small-seed crops] / M.V. Nikiforov, V.V. Golubev, A.V. Kudryavcev / Konkurentosposobnost' i innovacionnaya aktivnost' APK regionov [Competitiveness and innovative activity of agrarian and industrial complex of regions]. Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno – prakticheskoj konferencii 6 – 8 fevralya 2018 goda. Tver'. – TGSKHA. – 2018. pp. 202 – 205.
9. Safonov, V.V. Polevye issledovaniya tekhnologicheskih svojstv kochek [Field studies of technological properties of bumps] / V.V. Safonov, A.V. Kudryavcev, V.YU. Kudryavcev // Agrotekhnika i ehnergoobespechenie. – 2015. – No. 2 (6). – pp. 29 – 35.
10. Andreev, A.N. Metodika laboratornyh issledovanij vyravnivatelya. [Methods of laboratory studies equalizer.] / M.V. Nikiforov, V.V. Golubev, A.N. Andreev / Konkurentosposobnost' i innovacionnaya aktivnost' APK regionov. Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno – prakticheskoj konferencii 6 – 8 fevralya 2018 goda. Tver [February 6 - 8, 2018 Tver]'. – TGSKHA. – 2018. pp. 208 – 211.
11. Golubev, V.V. Metodika provedeniya agrotekhnicheskogo polevogo opyta [Methodology for agrotechnical field experience] / V.V. Golubev, A.V. Kudryavcev, A.S. Firsov i dr. / Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. – 2017. - No. 4. – pp. 43 – 48.

УДК 631.314.082.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

THE RESULTS OF DETERMINATION OF DENSITY OF SOIL IN FIELD CONDITIONS

***М.В. НИКИФОРОВ**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия, **И.В. ГОРБАЧЁВ**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член – корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Россия, **А.В. КУДРЯВЦЕВ**, кандидат технических наук, доцент, **В.В. ГОЛУБЕВ**, Феральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», кандидат технических наук, доцент кафедры, заведующий кафедрой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия*

***M.V. NIKIFOROV**, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia, **I.V. GORBACHYOV**, doctor agricultural Sciences, Professor, cor. memb. RAS, Russian state agrarian University – MTAA named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia, **A.V. KUDRYAVCEV**, candidate of technical Sciences, associate Professor, **V.V. GOLUBEV**, candidate of technical Sciences, associate Professor, Tver state agricultural Academy, Tver, Russia*

***Аннотация**. Для автоматизации регулирования технологических режимов и конструктивных параметров почвообрабатывающих машин в процессе их функционирования требуется измерительные приспособления и исполнительный механизм, воздействующий на рабочие органы. Предложенные конструкции приборов, апробированные в лабораторно-полевых условиях, позволяют измерять ФМТС почвы в естественных условиях, без нарушения сложения пахотного горизонта. Одновременная обработка непрерывно накапливаемых данных по измеряемым показателям позволяет с приемлемой погрешностью характеризовать обрабатываемый участок поля. Дальнейшее использование данных в системе «почва – почвообрабатывающая машина – почва» и элементов регулирования позволит автоматизировать процесс обработки почвы, в*

***Abstract**. To automate the regulation of technological modes and design parameters of tillage machines in the process of their operation requires measuring devices and actuator acting on the working bodies. The proposed design of the devices, tested in the laboratory and field conditions, allow to measure the soil in natural conditions, without breaking the addition of the arable horizon. Simultaneous processing of continuously accumulated data on the measured parameters allows to characterize the treated area of the field with an acceptable error. Further use of data in the system "soil-tillage machine-soil" and control elements will automate the process of tillage, depending on the agrotechnical requirements for the technological operation, taking into*

зависимости от агротехнических требований на выполняемую технологическую операцию, с учётом условий функционирования почвообрабатывающей машины.

***Ключевые слова**: Почва, почвообработка, измерение плотности, измерение прочности, автоматизация процесса, лабораторные испытания, полевые испытания.*

account the operating conditions of the tillage machine.

***Keywords**: Soil, tillage, density measurement, strength measurement, process automation, laboratory testing, field testing.*

Рассматривая почву как многофазную среду, можно отметить в ней наличие твёрдых, жидких и газообразных частиц, перемешанных между собой [1]. Поэтому обоснованный выбор параметров и режимов работы машин и орудий для обработки почвы должен основываться на свойствах почвы, определённых в её естественном состоянии в процессе её основной или предпосевной обработки. Среди физико-механических и технологических свойств (ФМТС) почвы выделяются основные – твёрдость и плотность почвы в естественных условиях, значения которых влияют на выбор режимов проведения основных технологических операций, параметров и режимов работы машин и орудий, используемых для их осуществления [2, 3].

Если твёрдость почвы, в соответствии с ГОСТ 20915 – 2011 (Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний), является общей характеристикой почвенного покрова, то плотность обрабатываемого почвенного горизонта является частным показателем. Исходное значение, а также изменение степени уплотнения почвы оказывает значимое влияние на технологические режимы и конструктивные параметры при работе почвообрабатывающих машин, в том числе при выполнении предпосевной обработки [4].

На основании выполненного анализа обеспечения приборами испытаний почвообрабатывающих машин, рабочих органов и почвенного профиля, можно выделить приборы, которые характеризуются дискретными и непрерывными определениями ФМТС почвы [5, 6]. Применение данных приборов не позволяет в полной мере охарактеризовать обрабатываемый участок поля. Невозможно также изменение технологических режимов работы и конструктивных параметров рабочих органов в процессе функционирования почвообрабатывающих машин и орудий [7-9]. В соответствии с выполненным анализом научно-исследовательской и патентно-лицензионной информации в ФГБОУ ВО Тверская ГСХА разработан способ экспресс-определения плотности почвы и изготовлено устройство для его осуществления [10].

Целью разработки является непрерывное измерение плотности почвы в процессе осуществления её предпосевной обработки.

Метод определения плотности почвы в естественном состоянии заключается в следующем. Вначале производится забор образца почвы, затем осуществляется срез излишков почвы пластиной, после чего осуществляется взвешивание образца почвы и передача результата дистанционно в кабину трактора на индикатор часового типа, на котором отображена тарированная

шкала плотности в установленных единицах измерения – г/см^3 (грамм на сантиметр в кубе).

Устройство для экспресс-определения плотности почвы (Рис. 1) состоит из рамы 1 с закрепленным редуктором 2 и прорезиненной бесконечной лентой 3. Привод рабочих элементов осуществляется через шлицевое соединение 4, посредством которого крутящий момент передается от вала отбора мощности (ВОМ) трактора через предохранительную муфту 7.

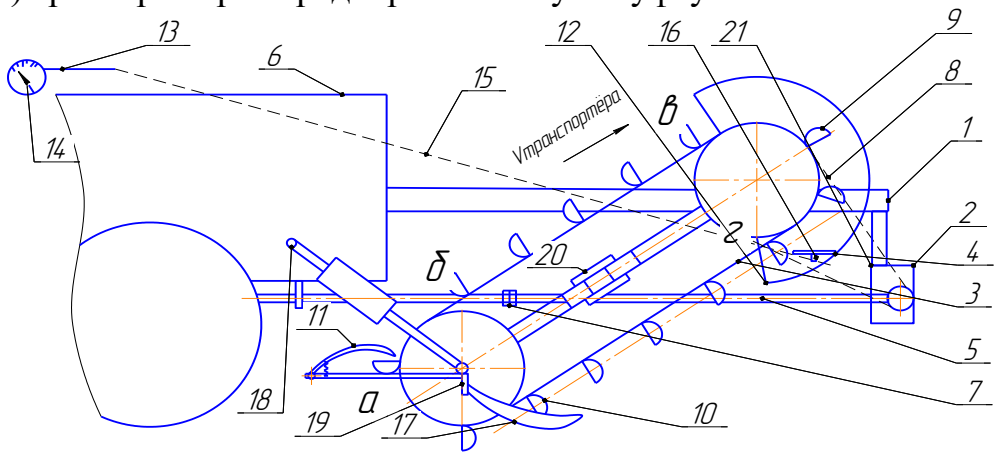


Рисунок 1 — Схема работы почвенного плотномера: 1 – рама; 2 – редуктор; 3 - бесконечная прорезиненная лента; 4 – шлицевое соединение; 5 – ВОМ трактора; 6 – трактор; 7 - предохранительная муфта; 8 – клиноременная передача; 9 – ролик; 10 – ковши чашевидной формы; 11 – пластина отрезная; 12 – весовое устройство; 13 – тросовый механизм; 14 – индикатор часового типа; 15 – рычаг; 16 – возвратная пружина; 17 – опорный башмак; 18 – гидроцилиндр; 19 – регулировочный механизм; 20 – натяжной ролик; 21 – натяжной механизм

От редуктора через клиноременную передачу 8 приводится в движение ролик 9, вращающий бесконечную прорезиненную ленту 3. Количество ковшей «k» 10 на прорезиненной ленте определяется выражением

$$k = \frac{l}{t_k}, \text{ шт.,} \quad (1)$$

где t_k – расстояние между ковшами 10, *м;*

l – длина бесконечной прорезиненной ленты 3, *м.*

Расстояние между ковшами 10 выражается формулой

$$t_k = \frac{60 \cdot U_k}{n_z}; \text{ м,} \quad (2)$$

где U_k – относительная скорость движения ковшей, *м/с;*

n_z – частота вращения бесконечной прорезиненной ленты, *мин*$^{-1}$.

Ковши чашевидной формы служат для забора образцов почвы на глубину, равную диаметру «D_k» ковшей 10, определяемому из выражения

$$D_k = k^{-1} \cdot \frac{W}{100}; \text{ м,} \quad (3)$$

где k – коэффициент, учитывающий условие крошения исходя из предшествующей обработки почвы, мм$^{-1}$;

W – относительная влажность почвенного профиля, %.

Работа прибора осуществляется после предварительной подготовки устройства, которое закрепляют впереди трактора с приводом от ВОМ трактора. Из транспортного в рабочее положение устройство переводится на

скорости не более 10 км/ч и без резких поворотов трактора. На участке «а – б» (см. Рис. 1) при помощи пластины 11 производится срез излишков почвы, которая захвачена ковшом 10.

Изготовленный макетный образец прибора для экспресс-определения плотности почвы был испытан на почвенном канале и на полигоне инженерного факультета. Почва для испытания по типу – дерново-подзолистая, по гранулометрическому составу – средне- и легкосуглинистая. Повторность проведения экспериментов – трёхкратная. Исследование влияния линейной скорости трактора на значение погрешности плотности и относительной скорости бесконечной прорезиненной ленты проводилось по разработанной методике проведения эксперимента [11]. После проведения опытов, полученные данные обрабатывались статистически.

В результате проведенных экспериментов по материалам обработанных данных построены графические зависимости (Рис. 2). Анализ графических зависимостей, полученных на основании экспериментальных данных изменения плотности почвы от скорости движения трактора и транспортера, показал, что наибольшее значение отклонения плотности от действительной величины наблюдается при увеличении скоростных режимов трактора и транспортера.

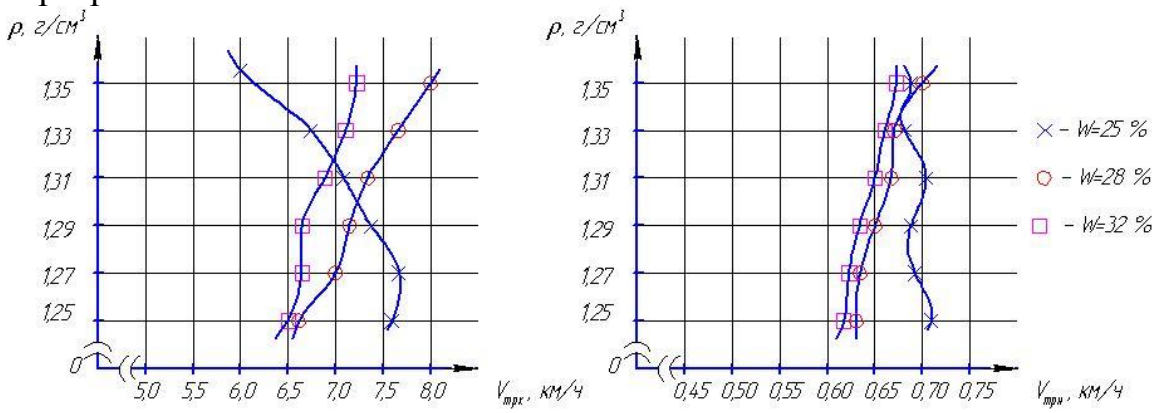


Рисунок 2 – Зависимости значений плотности от исследуемых факторов

Значительное влияние на расхождение параметров плотности почвы оказывает влажность почвенных образцов – при оптимальной влажности почвы – 28 %, значения действительной и измеренной плотности почвы имеют расхождения не более 1,0…1,5 %.

На основании данных лабораторно-полевых исследований установлена возможность определения исходной плотности почвы в процессе её обработки. Полученные значения позволят реализовать возможность регулирования режимов рабочих органов при предпосевной обработке почвы. Следующим этапом лабораторно-полевых исследований является разработка модели и устройства для автоматизированного регулирования [12] технологических режимов работы и конструктивных параметров рабочих органов в составе почвообрабатывающих машин и орудий при предпосевной обработке почвы.

Список литературы

1. Витковская, С.Е. Изменение строения профиля и агрохимическиех параметров дерново – подзолистой почвы при окультуривании [Текст] / С.Е. Витковская, А.И. Иванов, П.А. Филиппов // Агрохимия. – 2014. – № 7. – С. 9 – 16.

2. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Физические аспекты суглинистой почвы. Брянск, 2015.

3. Лобачевский Я.П. Прочностные и деформационные свойства связанных задерненных почв // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 3. С. 18-20.

4. Темиров, И.Г. О некоторых свойствах почвы пахотного слоя перед основной обработкой под хлопчатник [Электронный ресурс] / И.Г. Темиров // Молодой учёный. – 2016. – № 12. – Часть XI. – С. 1096 – 1098. Режим доступа: https://moluch.ru/archive/116/31692/

5. Ананьев, И.П. Каталог готовой товарной наукоёмкой продукции. Научное издание [Электронный ресурс] / И.П. Ананьев, Е.В. Балашов, Ю.П. Барышев и др. / Санкт-Петербург. – ГНУ АФИ Россельхозакадемии. – 2010. – 74 с. Режим доступа: http://www.agrophys.com/Agrophys_files/Preagro/catalogue1.pdf

6. Червань, А.Н. Данные агрофизических свойств почв в формировании почвозащитных систем земледелия с применением ГИС – технологий на примере Браславского рафона Витебской области [Электронный ресурс] / А.Н. Червань, В.Б. Цырибко, А.М. Устинова / Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1 (56). – С. 25 – 36. Режим доступа: http://aw.belal.by/russian/science/soilandagro_pdf/56/56-3.pdf

7. Лобачевский, Я.П. Технологические основы проектирования комбинированного агрегата для поверхностной обработки почвы республики Судан на примере проекта «Джазира» [Текст] / Я.П. Лобачевский, А.Х. Эльшейх // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2008. – № 3. – С. 57 – 60.

8. Селиванов, Н.И. Управление режимом рабочего хода трактора на обработке почвы [Текст] / Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 10. – С. 206 – 212.

9. Щербаков, В.М. Автоматизация процесса проектирования линейчатых поверхностей плужных корпусов [Текст] / В.М. Щербаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университете. – 2004. – № 2. – С. 173 – 175.

10. Устройство для экспресс-определения плотности почвы: пат. 2337345, МКИ 7 G01N9/02, G01N33/24 / В.В. Голубев, В.Ю. Романенко, Д.М. Рула; заявитель ФГОУ ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия». – № 2006134268; заявл. 10.06.2006.; опубл. 27.10.2008. // Изобретения, полезные модели / ФИПС. - № 3 - 7 с.

11. Курдюмов, В.И. Влияние влажности на плотность почвы и качество гребня [Текст] / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.В. Бирюков // Вестник УГСХА. – 2010. – № 1 (11). – С. 131 – 133.

12. Соковиков, В.К. Устойчивость комбинированной системы регулирования пахотного агрегата [Текст] / В.К. Соковиков, И.Н. Елисеенко/ Автоматизация мобильных сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. Труды ЛСХИ. – 1977. – т. 334. – С. 45 – 47.

References

1. Vitkovskaya, S.E. Izmenenie stroeniya profilya i agrohimicheskiekh parametrov dernovo – podzolistoj pochvy pri okul'turivanii [Changes in the structure of the profile and agrochemical parameters of soddy - podzolic soil during cultivation] / S.E. Vitkovskaya, A.I. Ivanov, P.A. Filippov // Agrohimiya. – 2014. – No. 7. – pp. 9 – 16.

2. Lobachevskij YA.P., Starovojtov S.I. Fizicheskie aspekty suglinistoj pochvy. Bryansk, 2015.

3. Lobachevskij YA.P. Prochnostnye i deformacionnye svojstva svyazannyh zadernennyh pochv // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2011. № 3. S. 18-20.

4. Temirov, I.G. O nekotoryh svojstvah pochvy pahotnogo sloya pered osnovnoj obrabotkoj pod hlopchatnik [On some properties of the soil of the arable layer before the main processing under cotton] / I.G. Temirov // Molodoj uchyonyj. – 2016. – No. 12. – CHast' XI. – S. 1096 – 1098. Rezhim dostupa: https://moluch.ru/archive/116/31692/

5. Anan'ev, I.P. Katalog gotovoj tovarnoj naukoyomkoj produkcii. Nauchnoe izdanie [Catalog of finished commodity high-tech products. Scientific publication] / I.P. Anan'ev, E.V. Balashov, YU.P. Baryshev i dr. / Sankt-Peterburg. – GNU AFI Rossel'hozakademii. – 2010. – 74 p. URL: http://www.agrophys.com/Agrophys_files/Preagro/catalogue1.pdf

6. CHervan', A.N. Dannye agrofizicheskih svojstv pochv v formirovanii pochvozashchitnyh sistem zemledeliya s primeneniem GIS – tekhnologij na primere Braslavskogo rafona Vitebskoj oblasti [Data of agrophysical properties of soils in the formation of soil-protective farming systems using GIS - technologies on the example of Braslav rafon of the Vitebsk region] / A.N. CHervan', V.B. Cyribko, A.M. Ustinova / Pochvovedenie i agrohimiya. – 2016. – No. 1 (56). – pp. 25 – 36. URL: http://aw.belal.by/russian/science/soilandagro_pdf/56/56-3.pdf

7. Lobachevskij, YA.P. Tekhnologicheskie osnovy proektirovaniya kombinirovannogo agregata dlya poverhnostnoj obrabotki pochvy respubliki Sudan na primere proekta «Dzhazira» [Technological basis for the design of a combined unit for surface tillage of the Republic of Sudan on the example of the Jazeera project] / YA.P. Lobachevskij, A.H. EHl'shejh // Vestnik FGOU VPO MGAU. – 2008. – No. 3. – p. 57 – 60.

8. Selivanov, N.I. Upravlenie rezhimom rabochego hoda traktora na obrabotke pochvy [Controlling the working stroke of the tractor on the soil] / Vestnik KrasGAU. – 2013. – No. 10. – pp. 206 – 212.

9. SHCHerbakov, V.M. Avtomatizaciya processa proektirovaniya linejchatyh poverhnostej pluzhnyh korpusov [Automation of the process of designing plow body ruled surfaces] / V.M. SHCHerbakov // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universitete. – 2004. – No. 2. – pp. 173 – 175.

10. Ustrojstvo dlya ehkspress-opredeleniya plotnosti pochvy [Device for rapid determination of soil density]: pat. No. 2337345, MKI 7 G01N9/02, G01N33/24 / V.V. Golubev, V.YU. Romanenko, D.M. Rula; zayavitel' FGOU VPO «Tverskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya». – No. 2006134268; zayavl. 10.06.2006.; opubl. 27.10.2008. // Izobreteniya, poleznye modeli / FIPS. - No. 3 - 7 p.

11. Kurdyumov, V.I. Vliyanie vlazhnosti na plotnost' pochvy i kachestvo grebnya [Effect of moisture on soil density and ridge quality] / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, I.V. Biryukov // Vestnik UGSKHA. – 2010. – No. 1 (11). – pp. 131 – 133.

12. Sokovikov, V.K. Ustojchivost' kombinirovannoj sistemy regulirovaniya pahotnogo agregata [Stability of the combined system of regulation of arable farm] / V.K. Sokovikov, I.N. Eliseenko/ Avtomatizaciya mobil'nyh sel'skohozyajstvennyh agregatov i ih sistem upravleniya. Trudy LSKHI. – 1977. – t. 334. – pp. 45 – 47.

УДК 637.134

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГАЦИИ НА РОТОРНОМ ДИСПЕРГАТОРЕ

ANALYSIS OF THE PROCESS OF DISPERSION AT A ROTARY DISPERSER

М.Н. НОВРУЗ, *кандидат технических наук,* ***В.К. ЗАКИР****, старший научный сотрудник,* ***М.А. ЕЛМАН,*** *старший научный сотрудник, Научно – Исследовательский Институт "АГРОМЕХАНИКА", Азербайджан*

M.N. NOVRUZ*, candidate of technical science,* ***V.K. ZAKIR****, senior researcher,* ***M.A. ELMAN,*** *senior researcher, Scientific Research Institute "AGROMEKHANIKA", Azerbaijan*

Аннотация*. Основными силами в процессе работы роторного диспергатора являются центробежные силы и силы поверхностного натяжения. Их соотношение позволило установить, что моделирование роторного диспергатора подчиняется критерию Вебера (We ≥17), при превышении которого и происходит разрушение частиц жирового шарика.*

Ключевые слова*: ротор, статор, диспергатор, эмульсия, диспергация.*

Abstract*. The main forces in the process of the rotor disperser are centrifugal forces and surface tension forces. Their relationship allowed us to establish that the modeling of the rotor dispersant is subject to Weber's criterion (We ≥17), which, if exceeded, destroys the particles of the fat globule.*

Keywords*: rotor, stator, disperser, emulsion, dispersion.*

Одной из качественных характеристик эмульсий является стабильность во времени. Разделение эмульсий на фазы вызвано всплыванием более лёгких частиц. Повышение стабильности эмульсий, в частности искусственного молока, также позволяет избежать заметных потерь жира при его транспортировании и хранении в связи с тем, что с течением времени происходит разделение фаз отстаиванием, и в результате некоторое количество жира теряется с потребительской тарой. Таким образом, неограниченное уменьшение размеров частиц дисперсной фазы эмульсий всегда было и остаётся актуальным. Количество энергии, необходимое для гомогенизации и диспергации до определённого размера, зависит от многих факторов: размеров частиц, формы, прочности, влажности, состояния рабочих органов машин и многих других. Поэтому установление аналитической зависимости между расходом энергии и физико-механическими свойствами исходного материала возможно лишь в общем виде [1, 2, 3, 4, 5].

Целью исследования является анализирование условий прохождения процесса дробления жидкой фазы эмульсии, определение воздействия характера интенсивность действия механических факторов на степень деформации в начальной стадии дробления.

Проведен анализ процесса диспергации, определены воздействие на этот процесс характерных конструктивных признаков роторного диспергатора.

При приготовлении искусственного молока наиболее энергоѐмким является процесс диспергации и гомогенизации.

Механизмы диспергации эмульсий связывают с такими физическими явлениями как вытягиванием частиц дисперсной фазы и их дроблением в результате действия градиента скорости, разрывом жидких частиц дисперсной фазы за счѐт относительной скорости подвижных и неподвижных частей, дроблением в результате истирания, дроблением частиц обусловленным воздействием возмущений среды, удар выходящей с большой скоростью из-под ротора плоской струи о металлическую стенку наружной и внутренней обечайки статора окружающую ротор на близком расстоянии. [8, 12, 42, 53, 108, 116]:

Интенсивное дробление частиц дисперсной фазы в роторных диспергаторах происходит за счѐт их вытягивания в нити и разрыва этих нитей на части при ускорении потока жидкости на выходе из ротора в статор. Вытягивание сферических образований в нитеобразные определяется тем, что ускорение потока распределено вдоль направления движения смеси. Фронтальные элементы образований раньше тыльных их частей подвергаются ускорению и более длительное время пребывают под воздействием повышенных скоростей движения смеси. В результате сферические частицы удлиняются. При малой разности скоростей фронтальных и тыльных частей частицы дисперсной фазы происходит только ее деформирование. Чем выше разность скоростей, тем интенсивнее частица вытягивается в нить, тем тоньше эта нить и мельче частички ее распада. Разрыв жировых шариков происходит в момент разгона смеси из ротора в статор за счет большого градиента скорости. Диаметр раздробленных частиц вычисляется по формуле:

$$d = k \cdot \frac{\sigma^{1/2} \cdot Q^{1/2} \cdot \rho^{1/4}}{L^{1/2} \cdot \Delta\rho^{3/4}}, \text{ м} \quad (1)$$

где k – безразмерный коэффициент, зависящий от конструкции диспергирующей головки; ρ – плотность эмульсии, кг/м^3; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Дж/м^2; Q – производительность диспергатора, кг/с; L – размер щели, m; $\Delta\rho$ – разность плотностей жира и плазмы, кг/м^3.

Разрушению частицы дисперсной фазы препятствует ее поверхностное натяжение. Соотношение разрушающей силы и силы поверхностного натяжения определяется критерием Вебера (We):

$$We = \frac{(v_ч - v_с)^2 \cdot \rho_1 \cdot r}{\sigma}, \quad (2)$$

где $v_ч$ – относительная скорость частицы, м/с; $v_с$ – относительная скорость среды, м/с; ρ_1- плотность частицы, кг/м^3 ; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Дж/м^2; r – радиус частицы, м.

Алгоритм расчѐта несколько видоизменяется, если дробятся не жировые шарики, а их конгломераты. В этом случае силами, удерживающими целостность конгломерата, являются не силы поверхностного натяжения, а адгезионные силы сцепления отдельных шариков друг с другом. В этом случае вместо силы поверхностного натяжения сферической частицы $F_п$:

$$F_п = \frac{2 \cdot \sigma}{r} \cdot S_м, \text{ Н} \quad (3)$$

где σ– коэффициент поверхностного натяжения, Дж/m^2; r– радиус частицы,m; $S_м$ – площадь миделевого сечения шарообразной частицы, $S_м = \pi d/4, m^2$.

Должна использоваться сила адгезионного сцепления $F_а$:

$$F_а = F_{уд} \cdot S_1 \cdot \left(\frac{r}{r_э}\right)^2, Н \quad (4)$$

где $F_{уд}$ – удельная сила адгезионного сцепления частиц, Н; S_1 – площадь контакта частиц, удерживаемых одна возле другой силами адгезии, m^2;

$r_э$ – эквивалентный размер конгломерата, m, r – радиус частиц, из которых слагается конгломерат, m.

Выражение для критерия Вебера (We) преобразуется к виду:

$$We(t) = [v_с(t) - v_ч(t)]^2 \cdot \frac{\rho_с}{2 \cdot F_{уд}} \cdot \left[\frac{r_э(t)}{r(t)}\right]^2 \quad (5)$$

где $v_с$ – скорость среды, м/с; $v_ч$– скорость частицы, м/с; $\rho_с$ – плотность жидкой среды, кг/$м^3$; $F_{уд}$ – удельная сила адгезионного сцепления частиц, *Н*; $r_э$ – эквивалентный размер конгломерата, *м*; r – радиус частиц, из которых слагается конгломерат, *м*.

С использованием этого выражения для критерия Вебера формула для расчѐта критического значения эквивалентного радиуса конгломерата $r_{кр}(t)$ примет вид:

$$r_{кр}(t) = r \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot We_{кр} \cdot F_{уд}}{[v_с(t) - v_ч(t)]^2 \cdot \rho_с}}, m \quad (6)$$

где r – радиус частиц, из которых слагается конгломерат, *м*; – критическое значение критерия Вебера; $F_{уд}$ – удельная сила адгезионного сцепления частиц, *Н*; $v_с$ – скорость среды, *м/с*; $v_ч$– скорость частицы, *м/с*; $\rho_с$ – плотность жидкой среды, кг/$м^3$.

В остальных моментах алгоритм дробления конгломерата частиц повторяет алгоритм дробления частиц.

При превышении критерием Вебера критического значения развивается один из механизмов разрушения. Для разных механизмов разрушения критические значения критерия Вебера различны. Разрушение частиц заканчивается спустя некоторое время после достижения критического значения критерия Вебера. Это время называется временем разрушения. По физическому смыслу оно является временем, в течение которого развивается деформация частиц до достаточно большой степени.

Таким образом, из всех известных механизмов разрушения жирового шарика реальным для нашего процесса диспергации является только механизм с вытягиванием частиц дисперсной фазы и их дроблением в результате действия градиента скорости, разрывом жидких частиц дисперсной фазы за счет относительной скорости подвижных и неподвижных частей и дроблением в результате истирания.

Характерными конструктивными признаками роторного диспергатора является ротор, наружная и внутренняя обечайка статора, а зазор δ между

ротором и обечайками статорами одной ступени лежит в пределах 0,1- 0,5 мм (Рис. 1).

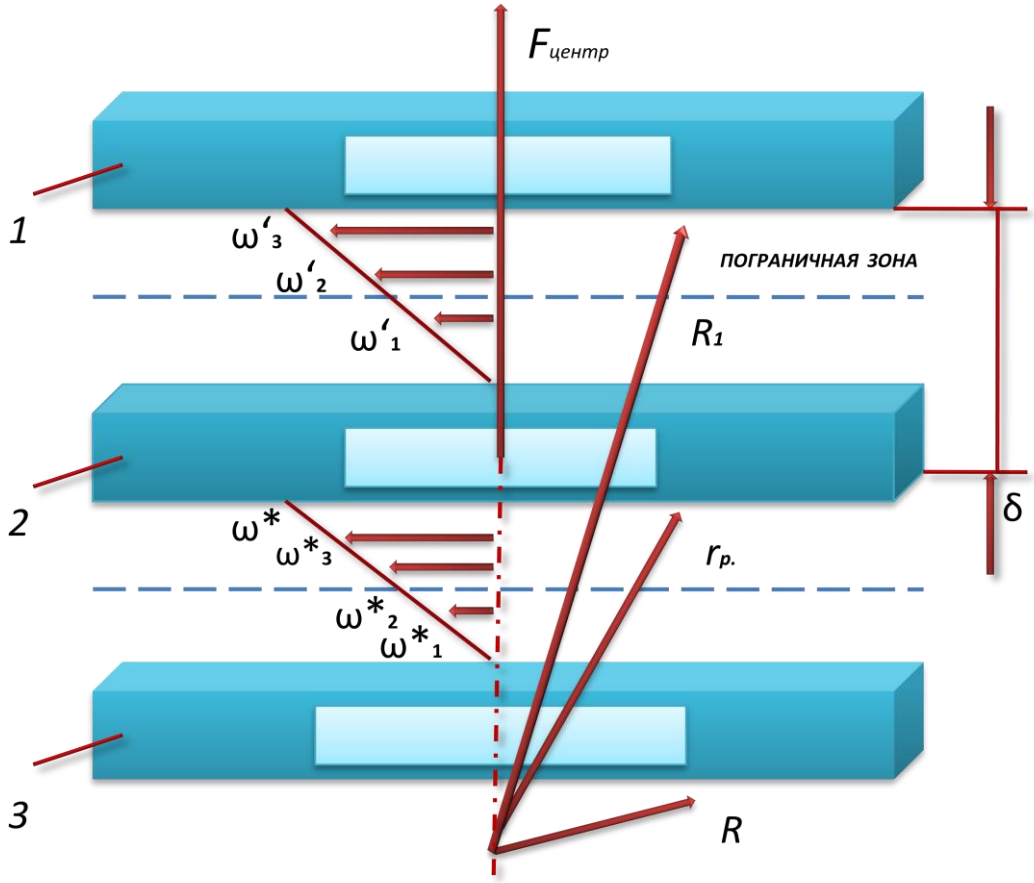


Рисунок 1 – Схема роторного диспергатора: 1 – наружная обечайка статора; 2 – ротор; 3 – внутренняя обечайка статора; *R* – радиус внутренней обечайки статора; R_1 – радиус наружной обечайки статора; $r_р$ – радиус ротора; *δ* – зазор щели между ротором и статором; *ω*,ω´*– градиенты частоты вращения ротора; $F_{центр}$ – центробежная сила.

Для роторного диспергатора характерно две ступени: первая ступень – внутренняя обечайка статора – ротор; вторая ступень – ротор – наружная обечайка статора, с зазором 0,1-0,5 мм между ротором и обечайками статора и большим шагом расположения каналов по боковым стенкам ротора и обечаек статора. Наиболее активной рабочей зоны является щель между ротором и обечайками статора. Роль самой щели сводиться лишь к тому, что она создаѐт условия, способствующие движению частиц с ускорением. При вращении ротора его каналы периодически совмещаются с каналами внутренней и наружной обечайки статора. В период времени, когда каналы ротора перекрыты стенкой обечаек статора, в роторе давление возрастает, а при совмещении канала ротора с каналом обечаек статора давление за короткий промежуток времени сбрасывается и в результате этого в канал обечаек статора распространяется импульс давления. Скорость потока жидкости в канале обечаек статора является переменной величиной. При распространении в канале обечаек статора импульса избыточного давления в след за ним возникает кратковременный импульс пониженного давления, так как совмещение каналов ротора и обечаек статора завершилось, и подача жидкости

в канал обечаек статора происходит только за счет транзитного течения из радиального зазора между ротором и обечайками статора. Объем жидкости, вошедший в канал обечаек статора, стремится к выходу из канала и инерционные силы создают растягивающие напряжения в жидкость, что вызывает кавитацию. Кавитационные пузырьки растут при понижении давления до давления насыщенных паров обрабатываемой жидкости при данной температуре, схлопываются или пульсируют при увеличении давления в канале статора. Часть кавитационных пузырьков выносится из наружной обечайки статора в емкость. В связи с тем, что скорость потока жидкости в канале обечаек статора имеет флутации, поток имеет развитую турбулентность. При вращении ротора в щели между ротором и обечайками статора возникают большие сдвиговые напряжения. Рабочие поверхности ротора, имеющие насечки, воздействуют на жидкую гетерогенную среду за счет механического контакта, создавая срезывающие и сдвиговые усилия (Рис. 2).

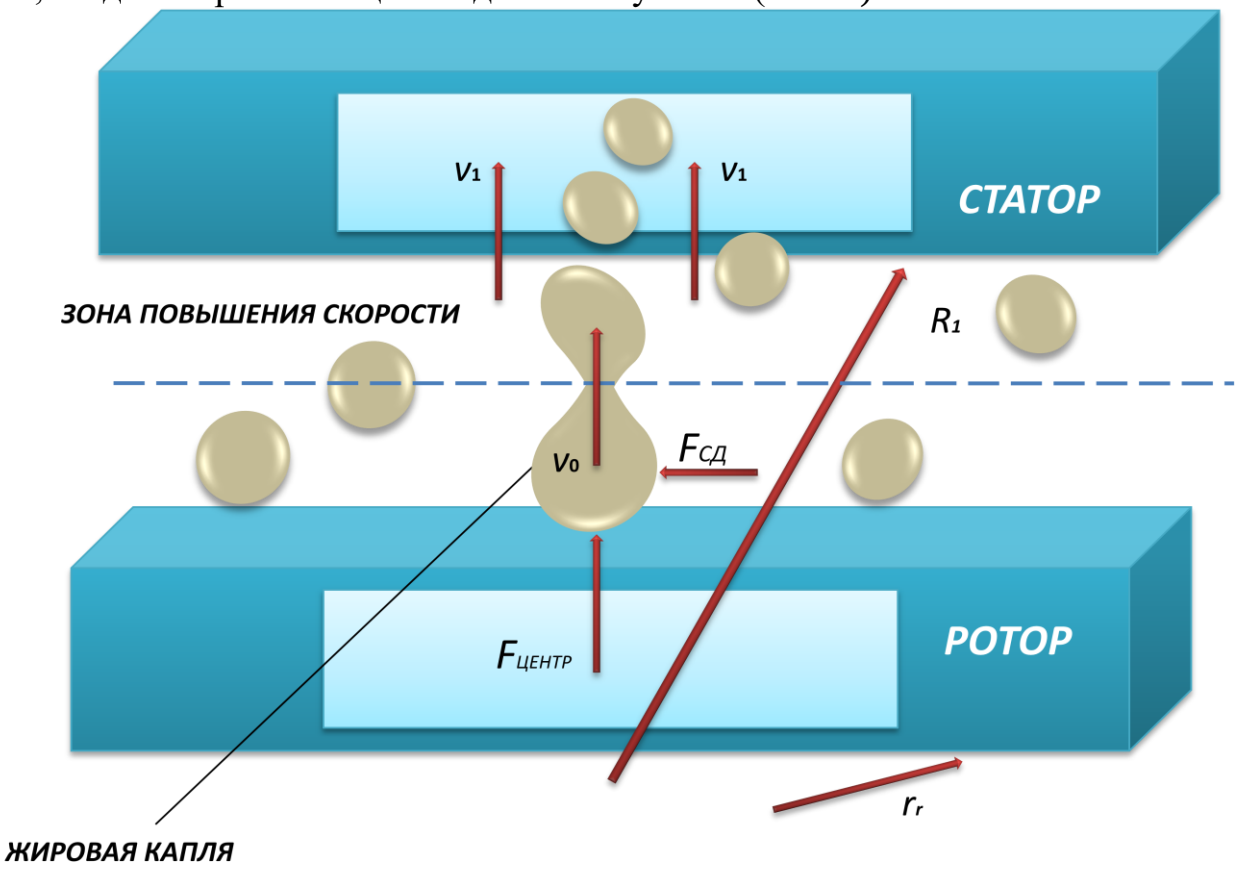


Рисунок 2 – Схема процесса диспергации: v_1 – скорость частицы жира в статоре; v_0 – скорость частицы жира на выходе из ротора; $F_{СД}$ – сила сдвигового усилия; $F_{центр}$ – центробежная сила; ω – частота вращения ротора; d – диаметр жирового шарика; R_1– радиус наружной обечайки статора; $r_р$ –радиус ротора.

Скорость потока v_0 имеет наибольшее значение в начале щели на радиусе $r_р$. По мере расширения потока к выходу скорость увеличивается до величины v_1. На основании уравнения неразрывности скорости на радиусе R_1:

$$v_1 = v_0 \frac{R_1}{r_р}, \text{ м/с} \quad (7)$$

Действительная скорость истечения v_1 меньше теоретической, причѐм величина отклонения зависит от вязкости жидкости и высоты щели. Несмотря на изменение скорости между ротором и обечайками статора при изменении давления диспергации, число Re для потока жидкости не зависит от давления диспергации и при работе с данным продуктом остаѐтся постоянным при любых режимах работы:

$$Re = \frac{v_1 \cdot 2 \cdot h}{v} = \frac{2 \cdot V}{\pi \cdot d \cdot v} = \frac{2 \cdot m}{v}, \quad (8)$$

где v_1 – скорость частиц в наружной обечайке статора, *м/с*; h – высота щели между ротором и обечайками статора, м; d – диаметр внутренней обечайки статора, *м*; v – кинематическая вязкость жидкости,$м^2/с$.

Следовательно, число Re для потока в роторе и статоре зависит от производительности машины, размеров окон и вязкости жидкости. Обычно при работе гомогенизаторов число Re = 25000–35000.

Резкое падение давления в роторе происходит на входе во внутреннюю обечайку статора, причѐм основная часть энергии расходуется на сообщение жидкости кинетической энергии, а остальная – на преодоление сопротивления над ротором. Относительно малая величина давления в начале обусловлена тем, что большая часть сопротивления трения преодолевается в результате увеличения скоростного напора при скорости расширяющегося потока от v_0 до v_1.

Анализируя условия, в которых происходит процесс дробления жидкой фазы эмульсии, можно сделать вывод о том, что он начинается с первоначальной деформации жидких капель, взвешенных в жидкой среде. Степень деформации в начальной стадии дробления характеризует интенсивность действия механических факторов.

В роторных диспергаторах поток эмульсии подвергается в зоне ротора последовательным механическим воздействиям, при которых диспергирующую роль могут играть такие факторы как:

– относительное смещение жидких частиц эмульсии с резкой переменой скорости в связи с переформированием потока в месте перехода жидкости из ротора в наружную обечайку статора;

– относительное смещение жидких частиц эмульсии при наличии высокого градиента скорости поперѐк потока эмульсии в узкой щели между ротором и обечайками статора;

– удар плоской струи, выходящей с большой скоростью из-под ротора, о металлическую стенку наружной и внутренней обечайки статора, окружающую ротор на близком расстоянии.

Последующее механическое действие на эмульсию при ее движении в щели и при ударе струи за пределами статора заметно не влияет на дисперсность эмульсии, несмотря на изменение градиента скорости при движении потока в щели и скорости выходящей струи, в широком диапазоне. На дисперсность эмульсии не влияет также изменение длины пути, проходимого эмульсией под ротором.

Отсутствие выраженного действия скорости удара на выходе струи и поперечного градиента скорости в щели на дисперсность объясняется тем, что они действуют в то время, когда процесс раздробления частиц эмульсии уже завершѐн в результате их деформации при выходе из обечаек статора, поэтому последующее влияние вторичных факторов не может проявиться.

При переходе жировой капли из зоны малых скоростей в зону высоких, передние части капли жира включаются в поток в щели со скоростью частицы жира в наружной обечайки статора v_1, вытягиваются и отрываются от неѐ, а оставшаяся часть, ещѐ принадлежащая к потоку со скоростью v_0, продолжает проходить через пограничное сечение и постепенно отдавать свой материал вновь образованным частицам.

При большой разности скорость частицы жира в наружной обечайке статоре v_1 и скорость частицы жира в роторе v_0 капля может расчленяться последовательным отрывом частиц без промежуточного растягивания всей капли в цилиндр или шнур. При малой разности скоростей частицы жира в наружной обечайки статоре v_1 и скорости частицы жира в роторе v_0 вся капля может миновать пограничное сечение, не успев расчлениться, но окажется деформированной до неустойчивого состояния, поэтому возвращение ее к первоначальному виду в условиях потока в щели окажется невозможным. Под механическим действием потока и сил поверхностного натяжения произойдѐт расчленение капли на более мелкие частицы.

Такое толкование механизма дробления капель объясняет экспериментально установленную зависимость дисперсности эмульсии от скорости в начале щели. Чем выше скорость частицы жира в наружной обечайке статора v_1, тем интенсивнее вытягивается жидкая нить из капли в пограничной зоне, тем тоньше эта нить и мельче частицы после ее распада.

Зависимость дисперсности от скорости частицы жира в наружной обечайке статора v_1 объясняет связь, установленную практикой между эффектом диспергации и давлением, так как для любых данных условий скорость определяется давлением.

Установлено, что основными силами в процессе работы роторного диспергатора являются центробежные силы и силы поверхностного натяжения. Их соотношение позволило установить, что моделирование роторного диспергатора подчиняется критерию Вебера (We ≥17), при превышении которого и происходит разрушение частиц жирового шарика.

Список литературы

1. Нужин Е.В. Гомогенизация и гомогенизаторы / Е.В. Нужин, А.К. Гладушняк. Монография – Одесса: Печатный дом, 2007. – 264 с.

2. Чернец М. Повышение износостойкости и долговечности элементов гомогенизаторов давления. (Монография) / М. Чернец, К. Лукасик, А. Некоз. – Дрогобыч: КОЛО, 2004. – 268 с.

3. Орлов П.В. Аппаратурное оформление процессов диспергирования в пищевой промышленности/ П.В. Орлов, А.В. Лымарь //Научный журнал НИУ ИТМО, СПб.: Вып. 1(15). – 2013. – С. 126-134.

4. Борисенко Е.В. Физико-химические основы производства эмульсий /Е.В. Борисенко// Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – Саратов.– 2002, №2. – С. 26-32.

5. Долинский А.А. Диспергирование жировых шариков при вакуумной гомогенизации / А.А. Долинский, Ю.А. Шурчкова, В.К. Буримский [и др.] // Молочная промышленность. – 2003. – № 2. – С. 55–56.

6. Морозов Н.М. Стратегия механизации и автоматизации животноводства // Техника в сельском хозяйстве. 2004. №3. С 9-12.

7. Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Ивженко А.А., Левченко Л.В. Анализ конструкций гомогенизаторов молочной промышленности/ Научное специализированное издание Технические науки. Труды Таврического государственного агротехнологического университета Мелитополь – 2016 Выпуск 16. Том 1, с. 9-15.

8. Самойчук К.О., Ивженко А.А. Механизмы диспергирования жировой фазы в пульсационном аппарате с вибрирующим ротором / Научное специализированное издание Технические науки. Труды Таврического государственного агротехнологического университета Мелитополь – 2013 Выпуск 3. Том 7, с. 11-20.

9. Пат.129840. Российская Федерация, МПК B01F 7/28. Роторно-диспергирующий аппарат/ Носырев Д.Я., Бахарев А. П., Мишкин А. А., Еремеев В.А. Заявл.: 09.01.2013; Опубликовано: 10.07.2013, Бюл. № 19.

10. Пат. 138 569. Российская Федерация, МПК B01F 7/00. Многорядный роторно - импульсный диспергатор/ Дмитриченко М. И., Гончаров М. В., Алексеев Г. В., Ивлева Е. Н., Гришанова Е. А. Заявл.: 16.11.2012; Опубликовано: 20.03.2014, Бюл. № 8.

References

1. Nuzhin E.V. Gomogenizaciya i gomogenizatory [Homogenization and homogenizers] / E.V. Nuzhin, A.K. Gladushnyak. Monografiya – Odessa: Pechatnyj dom, 2007. – 264 p.

2. CHernec M. Povyshenie iznosostojkosti i dolgovechnosti ehlementov

1. gomogenizatorov davleniya. (Monografiya) [Increased wear resistance and durability of elements

2. pressure homogenizers. (Monograph)] / M. CHernec, K. Lukasik, A. Nekoz. – Drogobych: KOLO, 2004. – 268 p.

3. Orlov P.V. Apparaturnoe oformlenie processov dispergirovaniya v pishchevoj promyshlennosti [Hardware design of dispersion processes in the food industry]/ P.V. Orlov, A.V. Lymar' //Nauchnyj zhurnal NIU ITMO, SPb.: Vyp. 1(15). – 2013. – p. 126-134.

4. Borisenko E.V. Fiziko-himicheskie osnovy proizvodstva ehmul'sij [Physico-chemical basis for the production of emulsions] /E.V. Borisenko// Pishchevye ingredienty: syr'e i dobavki [Food ingredients: raw materials and additives]. – Saratov.– 2002, No. 2. – p. 26-32.

5. Dolinskij A.A. Dispergirovanie zhirovyh sharikov pri vakuumnoj gomogenizacii [Dispersion of fat globules with vacuum homogenization] / A.A. Dolinskij, YU.A. SHurchkova, V.K. Burimskij [i dr.] // Molochnaya promyshlennost'. – 2003. – No. 2. – pp. 55–56.

6. Morozov N.M. Strategiya mekhanizacii i avtomatizacii zhivotnovodstva [Strategy of mechanization and automation of livestock] // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2004. No. 3. pp 9-12.

7. Dejnichenko G.V., Samojchuk K.O., Ivzhenko A.A., Levchenko L.V. Analiz konstrukcij gomogenizatorov molochnoj promyshlennosti/ Nauchnoe specializirovannoe izdanie Tekhnicheskie nauki. Trudy Tavricheskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta Melitopol' [Analysis of the designs of homogenizers of the dairy industry / Scientific specialized edition Technical Sciences. Works of Tavrichesky State Agrotechnological University Melitopol] – 2016 Vypusk 16. Tom 1, p. 9-15.

8. Samojchuk K.O., Ivzhenko A.A. Mekhanizmy dispergirovaniya zhirovoj fazy v pul'sacionnom apparate s vibriruyushchim rotorom / Nauchnoe specializirovannoe izdanie

Tekhnicheskie nauki. Trudy Tavricheskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta Melitopol' [The mechanisms of dispersion of the fatty phase in a pulsating apparatus with a vibrating rotor / Scientific specialized edition Technical Sciences. Works of Tavrichesky State Agrotechnological University Melitopol] – 2013 Vypusk 3. Tom 7, pp. 11-20.

9. Pat.129840. Rossijskaya Federaciya, MPK B01F 7/28. Rotorno-dispergi-ruyushchij apparat [Rotary Dispersing Apparatus]/ Nosyrev D.YA., Baharev A. P., Mishkin A. A., Eremeev V.A. Zayavl.: 09.01.2013; Opublikovano: 10.07.2013, Byul. No. 19.

10. Pat. 138 569. Rossijskaya Federaciya, MPK B01F 7/00. Mnogoryadnyj rotorno - impul'snyj dispergator [Multi-row rotary pulse disperser]/ Dmitrichenko M. I., Goncharov M. V., Alekseev G. V., Ivleva E. N., Grishanova E. A. Zayavl.: 16.11.2012; Opublikovano: 20.03.2014, Byul. No. 8.

УДК 621.436

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАПСОВОГО МАСЛА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

USE OF RAPESEED OIL IN DIESEL ENGINES AS FUEL

С.Ю. УЮТОВ, *аспирант,* ***Е.В. ОВЧИННИКОВ****, н.с.,* ***М.Н. КОЧЕТКОВ****, к.т.н., вед.н.с.,* ***Г.С. САВЕЛЬЕВ****, д.т.н., профессор, ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

S.YU. UYUTOV*, graduate student,* ***E.V. OVCHINNIKOV****, sci. researcher.,* ***M.N. KOCHETKOV****, cand. tech. sci., senior sci. researcher,* ***G.S. SAVEL'EV****, Dr tech. sci., Professor, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Одной из основных проблем использования рапсового масла в дизеле является повышенная температура воспламенения рапсового масла относительно дизельного топлива. Из-за этой особенности в некоторых случаях, таких как холостой ход, происходит попадание рапсового масла в картер двигателя, что негативно влияет на работу двигателя. Для устранения данной проблемы в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ была разработана система автоматического переключения двух видов топлив, с дизельного топлива на рапсовое масло и обратно.*

Ключевые слова*: Рапсовое масло, вязкость, дизельное топливо, топливный насос высокого давления.*

Abstract*. One of the main problems of using rapeseed oil in diesel is the increased ignition temperature of rapeseed oil relative to diesel fuel. Because of this feature, in some cases, such as idling, there is a hit of rapeseed oil in the crankcase of the engine, which adversely affects the operation of the engine. To eliminate this problem, the fgbi FSC VIM has developed a system for automatic switching of two types of fuels, from diesel fuel to rapeseed oil and back.*

Keywords*: Rapeseed oil, viscosity, diesel fuel, high pressure fuel pump.*

Повышенная вязкость чистого рапсового масла (РМ) осложняет его применение в дизельных двигателях, однако при подогреве рапсового масла до температуры 70–90 ºС его вязкость снижается до значений, обеспечивающих фильтрацию и прокачиваемость в топливной системе низкого давления [1, 2]. Указанный диапазон температур соответствует температуре топлива в головке топливного насоса высокого давления (ТНВД) при дополнительном подогреве топлива от охлаждающей жидкости в теплообменнике, установленном в топливной магистрали от бака до топливоподкачивающего насоса [3].

Рапсовое масло является полувысыхающим маслом и в процессе длительного хранения, особенно при высоких температурах, может образовывать пленку [4]. Во избежание залипания деталей топливной аппаратуры при работе на чистом РМ, перед постановкой трактора на длительное хранение, требуется промывка топливной системы при работе на дизельном топливе (ДТ) [5].

Автоматизированная двух топливная система адаптированного к работе на рапсовом масле трактора состоит (рис. 1.) из двух баков и двух линий топливоподающей аппаратуры, задача которых доставить топливо от бака к ТНВД. Первая линия состоит из основного бака для РМ, подогревателя, фильтра

грубой очистки, топливоподкачивающий насос, два фильтра тонкой очистки, редукционного клапана. Вторая линия состоит из бака для ДТ, фильтра грубой очистки, электрического топливного насоса, фильтра тонкой очистки, редукционного клапана. Две линии подключаются через трехходовой электромагнитный клапан к ТНВД. Сливные магистрали подключаются к трехходовому электромагнитному клапану и далее в зависимости от типа используемого топлива в один из баков. Переключение типа топлива осуществляется в автоматическом режиме управляющим модулем, который управляет электромагнитным клапаном и электрическим топливным насосом, получая данные от датчиков температуры топлива, датчика температуры охлаждающей жидкости, датчика давления топлива, датчика положения рейки ТНВД [6].

При работе двигателя на высоковязких биодизельных топливах на режимах пуска, прогрева, холостого хода и нагрузке менее 25%, электромагнитный клапан рециркуляции, по сигналам от блока управления включает рециркуляцию и отключает охлаждение отработавших газов в охладителе. Исполнительное устройство переводит заслонку в положение, соответствующее максимальной подаче отработавших газов во впускной коллектор. Одновременно включается генератор, в котором содержится кислородосодержащий активатор горения. Генератор обеспечивает подачу во впускной коллектор кислородосодержащий активатор горения до 0,5% от объема, поступающего в двигатель топливовоздушной смеси. Одна заправка генератора обеспечивает его беспрерывную работу в течение не менее 24 часов [7].

Предусмотрено ручное переключение топлива для принудительной работы либо на РМ, либо на ДТ при помощи двух выключателей. Первый включает ручное управление, второй переключает тип топлива. При использовании второго бака (для дизельного топлива) управляющий модуль включает световой индикатор использования второй линии топливоподачи. При снижении давления топлива ниже 1,2 атм. в головке ТНВД управляющий модуль включает сигнальный индикатор о необходимости замены топливных фильтров тонкой очистки и прочистки фильтров грубой очистки [8,9].

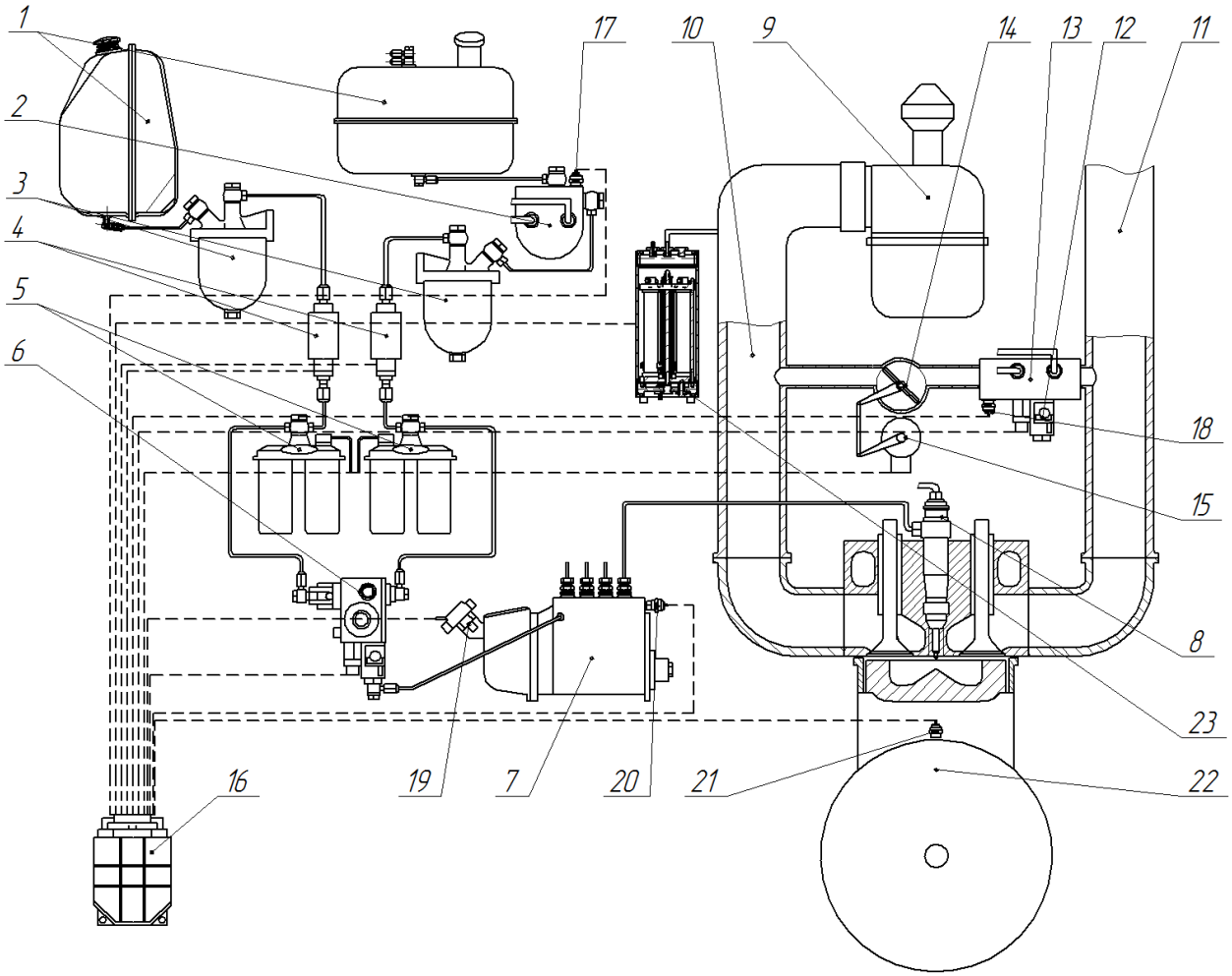


Рисунок 1 - Автоматизированная двух топливная система адаптированного к работе на рапсовом масле трактора: топливные баки 1, подогреватель топлива 2, фильтры грубой очистки 3, топливоподкачивающие насосы 4, фильтры тонкой очистки 5, электромагнитный клапан переключения топлива 6, топливный насос высокого давления 7, форсунки 8, воздушный фильтр 9, впускной коллектор 10, выпускной коллектор11, электромагнитный клапан рециркуляции 12, охладитель отработавших газов 13, регулируемая заслонка 14, исполнительное устройство 15, блок управления 16, датчик температуры топлива 17, датчик температуры отработавших газов 18, датчик подачи топлива 19, датчик давления топлива 20, датчик частоты вращения 21, маховик 22, генератор с активатором горения 23.

Предлагаемая схема обеспечивает работу двигателя, работающего на высоковязких биодизельных топливах при режимах: холостого хода, малой нагрузки, в момент пуска и прогрева двигателя исключая неблагоприятные воздействия топлив на системы двигателя. В частности, от попадания топлив в систему смазки, от повышенного нагарообразования в цилиндропоршневой группе, так же снижаются выбросы вредных веществ с отработавшими газами в окружающий воздух [10].

Данная система обеспечивает повышение эксплуатационных свойств дизельного двигателя при использовании на высоковязких биодизельных топливах в автотракторной технике, а также исключает неблагоприятные воздействия топлив на системы двигателя.

При существующих затратах на топливо 20-30% от себестоимости сельхоз продукции, использование рапсового масла в качестве топлива, обеспечит существенное снижение себестоимости продукции на те же показатели и принесет дополнительную прибыль от реализации шрота, который по сути является отходами от производства рапсового масла, а также высокопротеиновой кормовой добавкой для животноводства.

Список литературы

1. Измайлов А.Ю., Савельев Г.С., Кочетков М.Н.СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАПСОВОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ/ Сельскохозяйственные машины и технологии/ -2009. -№ 5. -С. 20-23.
2. Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ БИТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ДИЗЕЛЕЙ, АДАПТИРОВАННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ НА РАПСОВОМ МАСЛЕ //В сборнике: Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. ВИМ/ -2015. -С. 92-96.
3. Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В. СПОСОБ СНИЖЕНИЯ НАГАРООБРАЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ, РАБОТАЮЩЕМ НА ТОПЛИВЕ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА патент на изобретение RUS 2539307 07.06.2013
4. Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В.СИСТЕМА ПИТАНИЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ патент на изобретение RUS 2538470 07.06.2013
5. Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю., Родионов А.В., Родионов А.В.СИСТЕМА ПИТАНИЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ патент на полезную модель RUS 169838 27.05.2016
6. Савельев Г.С., Измайлов А.Ю., Краснощеков Н.В., Кочетков М.Н., Кауров Е.Т. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ РАПСОВОГО МАСЛА // Москва, 2010.
7. Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Овчинников А.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НАНОПРОДУКТА В ВИДЕ ДОБАВКИ В БИОТОПЛИВО ИЗ РАПСОВОГО МАСЛА// В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно--технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства/ -2013. -С. -218-223.
8. Савельев Г.С., Кочетков М.Н. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ ЕГО АДАПТАЦИИ К РАБОТЕ НА РАПСОВОМ МАСЛЕ // Транспорт на альтернативном топливе. 2009. Т. 10. № 4. С. 60-67.
9. Савельев Г.С., Кочетков М.Н. ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОАВТОНОМНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: РАПСОВОЕ МАСЛО В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ // Экологический вестник России. 2009. № 3. С. 28-29.
10. Савельев Г.С., Кочетков М.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАПСОВОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ // Транспорт на альтернативном топливе. 2009. Т. 7. № 1. С. 62-66.

References

1. Izmajlov A.YU., Savel'ev G.S., Kochetkov M.N.SOVREMENNYE VOZMOZHNOSTI ISPOL'ZOVANIYA RAPSOVOGO MASLA V KACHESTVE TOPLIVA V DIZEL'NYH DVIGATELYAH [MODERN OPPORTUNITIES FOR USING RAPEX OIL AS FUEL IN DIESEL ENGINES]/ Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii/ -2009. -No. 5. -pp. 20-23.
2. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V. AVTOMATIZIROVANNAYA BITOPLIVNAYA SISTEMA DIZELEJ, ADAPTIROVANNYH DLYA RABOTY NA RAPSOVOM MASLE [AUTOMATED BIOFLOWER SYSTEM OF DIESELS ADAPTED FOR WORK ON RAPEX OIL] //V sbornike: Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizacii Gosudarstvennoj programmy razvitiya sel'skogo hozyajstva Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. VIM/ -2015. -pp. 92-96.
3. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Ovchinnikov A.V. SPOSOB SNIZHENIYA NAGAROOBRAZOVANIYA V DVIGATELE, RABOTAYUSHCHEM NA TOPLIVE IZ RASTITEL'NOGO MASLA patent na izobretenie [METHOD TO REDUCE CENTRAL FORMATION IN ENGINE OPERATING FUEL OIL FROM VEGETABLE OIL invention patent] RUS 2539307 07.06.2013
4. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Ovchinnikov A.V.SISTEMA PITANIYA AVTOTRAKTORNOGO DIZELYA patent na izobretenie [AUTOMATIC DIESEL POWER SUPPLY SYSTEM invention patent] RUS 2538470 07.06.2013
5. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Uyutov S.YU., Rodionov A.V., Rodionov A.V.SISTEMA PITANIYA AVTOTRAKTORNOGO DIZELYA patent na poleznuyu model' [AUTOMATIC DIESEL POWER SUPPLY SYSTEM Utility Model Patent] RUS 169838 27.05.2016
6. Savel'ev G.S., Izmajlov A.YU., Krasnoshchekov N.V., Kochetkov M.N., Kaurov E.T. REKOMENDACII PO PROIZVODSTVU I ISPOL'ZOVANIYU BIODIZEL'NOGO TOPLIVA IZ RAPSOVOGO MASLA [RECOMMENDATIONS ON THE MANUFACTURING AND USE OF BIODIESEL FUEL FROM RAPE OIL] // Moskva, 2010.
7. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Ovchinnikov A.V. REZUL'TATY ISPYTANIJ PO ISPOL'ZOVANIYU NANOPRODUKTA V VIDE DOBAVKI V BIOTOPLIVO IZ RAPSOVOGO MASLA [TEST RESULTS FOR THE USE OF NANOPRODUCT IN THE FORM OF ADDITIVE INTO BIOFUEL FROM RAPE OIL]// V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno--tekhnicheskoj konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva/ -2013. -pp. -218-223.
8. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N. RASCHET PARAMETROV TOPLIVNOJ SISTEMY TRAKTORNOGO DIZELYA PRI EGO ADAPTACII K RABOTE NA RAPSOVOM MASLE [CALCULATION OF PARAMETERS OF THE FUEL SYSTEM OF A TRACTOR DIESEL WHEN ADAPTING IT TO WORK ON RAPEX OIL] // Transport na al'ternativnom toplive. 2009. T. 10. No. 4. pp. 60-67.
9. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N. OBOSNOVANIE EHNERGOAVTONOMNOSTI SEL'SKOHOZYAJSTVENNYH PREDPRIYATIJ: RAPSOVOE MASLO V KACHESTVE TOPLIVA V DIZEL'NYH DVIGATELYAH [JUSTIFICATION OF ENERGY AUTONOMOUSNESS OF AGRICULTURAL ENTERPRISES: RAPE OIL AS FUEL IN DIESEL ENGINES] // EHkologicheskij vestnik Rossii. 2009. No. 3. pp. 28-29.
10. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N. ISPOL'ZOVANIE RAPSOVOGO MASLA V KACHESTVE TOPLIVA V DIZEL'NYH DVIGATELYAH [JUSTIFICATION OF ENERGY AUTONOMOUSNESS OF AGRICULTURAL ENTERPRISES: RAPE OIL AS FUEL IN DIESEL ENGINES]// Transport na al'ternativnom toplive. 2009. T. 7. No. 1. pp. 62-66.

УДК 631.171:633/635

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ ФУНДУКА ОТ ПЛЮСКИ
DEVICE CLEANING GREEN PEEL FROM THE HAZELNUT

***Э.А. ПАШАЕВ**, канд. техн. наук, доцент, **И.О. МАМЕДОВ**, инженер, **К.Г. ЯКУБОВ**, д-р техн. наук, **А.М. ДЖАФАРОВА**, инженер, Научно – Исследовательский Институт «АГРОМЕХАНИКА», г. Гянджа, Азербайджан*

***EH.A. PASHAEV**, cand. tech. sci., associate Professor, **I.O. MAMEDOV**, engineer, **K.G. YAKUBOV**, Dr tech. sci., **A.M. DZHAFAROVA**, engineer, research Institute "AGROMECHANIKA", Ganja, Azerbaijan*

***Аннотация**. Азербайджанская Республика является аграрной страной, в связи с чем на эту отрасль уделяется особое внимание на государственном уровне. На этом же уровне определены приоритетные направления сельского хозяйства, это в основном табаководство, хлопководство, шелководство и производство орехоплодных, в основном фундук, который только в 2017-ом году из-за продажи за рубеж доход составил 105 млн. долларов. Только в 2017-ом году было посажено 18,2 тыс. га новых фундуковых насаждений. В производстве урожая фундука для выполнения главных технологических процессов существуют различные машины и оборудования. Исследования показали, что в производстве фундука одним из трудоемких работ является очистка фундука от плюски. Обычно это работа выполнялась вручную. Несмотря на то, что для выполнения этого процесса были предложены различные технологии, в хозяйствах таких машин до сих пор нет. В статье также приведены примеры некоторых устройство для очистки орехоплодных от околоплодника. Поэтому целью настоящей работы является изготовление энергосберегающей и простой по конструкции устройства для очистки фундука от плюски.*

***Ключевые слова**: камера, лоток, ротор, лопасть, редуктор, муфта, ременная передача, рама, барабан, плюска.*

***Abstract**. As the Azerbaijan Republic is an agrarian country, special attention is paid to this field by the state. Priority areas in agrarian sector by the state are particularly tobacco- growing, cotton-growing, sericulture, nut-growing, especially, hazelnuts. So, hazelnut production in 2017 was 105 million dollars. Only, in 2017 18, 2 thousand hectares hazelnut plantations was built. There are certain machinery and equipment performing main technological operations in the hazelnut growing. The investigations show that one of the difficult operation in the hazelnut production is cleaning green peel from the hazelnut. Usually it is done by manuel labor. Though some initiatives have been done to solve this problem , significant results have not been achieved.*

In the article several such constructions are offered at the inventive level. So the goal is to create device cleaning green peel from the hazelnut with low- energy and simple construction.

***Keywords**: camera, lotock, rotor, lopost, reducer, muff, transmission belt, ram, drum, plank, hazelnut, green peel.*

Азербайджанская Республика является аграрной страной. Поэтому на этот отрасль на государственном уровне уделяется особое внимание.

Данное время техническую политику в сельском хозяйстве республики выполняет ОАО «Агролизинг» с помощью, которого в

настоящее время из-за рубежа привезено 35.000 шт. с/х машин и оборудований, и роздано фермерам со скидкой 40%.

Кроме этого, на минеральные удобрения скидка составляет 70%, на каждый гектар зерновых - 50%, а также со скидкой выделяется топливо и моторное масло.

При таких условиях успешно развивается сельхоз производство по всем направлениям.

Приоритетными направлениями установлены: табаководство, хлопководство, шелководство и производство орехоплодных. Только в 2017 году из-за продажи за рубеж доход составил 105 млн. долларов.

По данным республики за 2016-ый год из 55 310,2 га садов фундука 31 814,3 га дает урожай. Валовой сбор составил 34 270,7 тонн, средняя урожайность составила 10,8 цен/га. Азербайджан после Турции, Украины и России занимает 4-е место в мире по производству фундука.

Такие районы Азербайджана как Закатала, Гаях, Кабала, Балакин, Хачмас, Гусар, Огуз, Шеки, Шабрен, Губа, Исмаилы, в последние времена Евлах занимаются выращиванием и производством фундука.

Основная причина роста производства фундука заключается в росте потребности, а также увеличении дохода в виде валюты. Достаточно отметить, что в 2017-ом году республика получила доход в размере 105 млн. долларов.

Производство орехоплодных в нашей республике в последние годы развивается успешно. Площади фундуковых садов в Азербайджане составляли в 2000-ом году 18 тыс.га, в 2013-ом году 30 тыс.га, в 2015-ом году 32,7 тыс.га, а в 2017-ом году – 55 тыс.га. Только в 2017-ом году было посажено 18,2 тыс. га новых фундуковых насаждений. Государство для этих целей выделило кредит на сумму примерно 5,8 млн. долларов.

В производстве урожая фундука для выполнения главных технологических процессов существуют различные машины и оборудования – посадка саженцев, обработка междурядий, методы борьбы с вредителями и болезнями, обрезка, уборка урожая и т.д.

Исследования показали, что в производстве фундука одним из трудоемких работ является очистка фундука от плюски. Обычно это работа выполняется вручную. Несмотря на то, что для выполнения этого процесса были предложены различные технологии в хозяйствах, таких машин до сих пор нет [1,2].

Основная причина этого заключается в не усовершенствовании устройств и в определенных конструктивных недостатках.

Последнее время в республике с помощью АО «Агролизинг» начали внедрять машины марки «İtimat tarim makinası» (44000$) [7], «Yaşar tarim makinası» (38000$), «Teknik hamitqüven makinası» (34000$) [8] для очистки фундука от плюски турецкого производства.

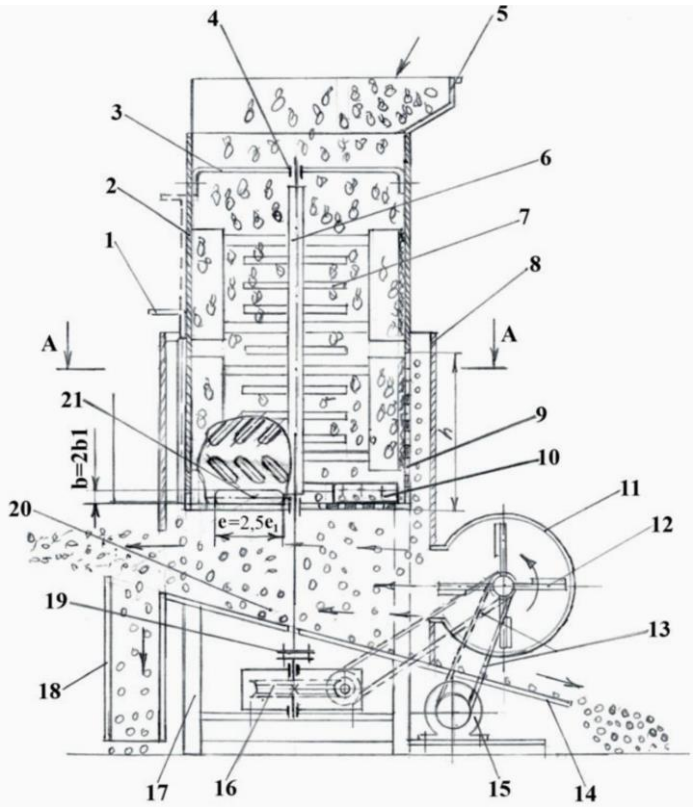
В связи с тем, что устройство дорогостоящее и сложно конструктивное, с экономической точки зрения не выгодно для малых фермерских хозяйств республики.

Основная цель данной работы заключается в изготовлении энергосберегающего и простого устройства для очистки фундука от плюски.

В свое время со стороны ученых АзНИИМЭСХ-а («Агромеханика») было изготовлено устройство для очистки фундука от плюски (авторское свидетельство №1584172 [3]).

Кроме этого на уровне авторского свидетельства под номерами №1253582, №1482650, №1584172, №1514318 [4,5,6] создано устройство для очистки плодов от околоплодника и выделение семян из косточковых культур, содержащее двухсекционный перфорированный цилиндрический барабан с прорезями, расположенный внутри него ротор с установленными на нем радиальными лопастями с закрепленными на их концах эластичными L-образными планками и гребенчатыми скребками с зубьями трапецеидальной формы.

На основании литературных и патентных поисков нами разработана принципиально новая установка для очистки плюски плодов фундука. Новизна состоит в том, что рабочая камера в виде перфорированного цилиндрического барабана установлена в вертикальном положении на ось, который перпендикулярно прикреплен резиновыми лопастями, а на поверх нее смесительные штифты с закрепленными к ним L-образными эластичными и прямоугольными планками. Тем самым, достигается более качественное быстрое очищение фундук от плюски, происходящее за счет самостоятельного падения под воздействием тяжести собственного веса вниз. Без надобности протаскивания в рабочую камеру.



Разрез А- А

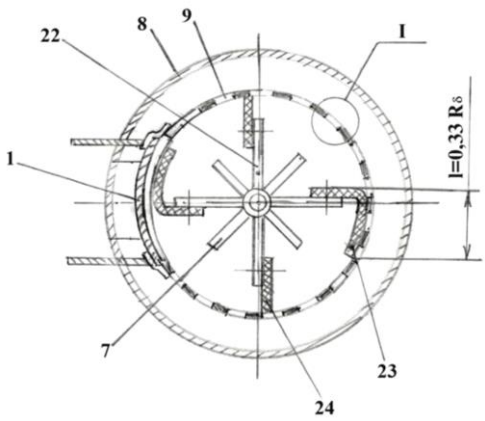


Рисунок - Устройство для очистки фундука от плюски: 1– выходное окно; 2– рабочая камера; 3– кронштейн; 4– подшипник; 5– приемный лоток; 6– ротор; 7– штифты; 8– цилиндрический кожух; 9– малые отверстие; 10– лопасть; 11– кожух;

12– вентилятор; 13– ременная передача; 14– планка; 15– электродвигатель; 16– червячный редуктор; 17– рама; 18– камера; 19– фланцевая муфта; 20– камера сортировки; 21– продольные отверстия; 22– тяга; 23– L-образные планки; 24– прямоугольные планки.

Такая конструкция предлагаемого устройства обуславливает повышение качества очистки фундука от плюски, а также повышение производительности самой установки.

Установка для очистки фундука от плюски работает следующим образом.

При включении устройства электродвигатель (15) приводит во вращательное движение посредством ременной передачи (13) и червячного редуктора (16), подсоединенного к ней через фланцевую муфту (19), вертикально расположенный двухсекционный ротор (6), на ось которого перпендикулярно прикреплены снизу резиновая лопасть (10) и поверх нее смесительные штифты (7), к каждой из которых закреплены с помощью тяги (22) поочередно L-образные эластичные планки (23) и прямоугольные эластичные планки (24). Вращательное движение обеспечивается подшипником (4), корпус которого поддерживается кронштейном (3). Плоды покрытые околоплодником, а конкретно фундуки покрытые плюсками, загружают в приемный лоток (5), откуда они за счет падения вниз под воздействием тяжести собственного веса, без надобности протаскивания, попадают в вертикально установленную на раме (17) рабочую камеру (2) в виде перфорированного цилиндрического барабана с большими (21), в нижней части и малыми продольными отверстиями (9) в боковых частях, где прижимаются под большим давлением к стенкам рабочей камеры L – образной (23) и прямоугольной (24) эластичными планками. Под воздействием сил трения связь с плюской разрушая освобождает фундук. Отделенные плюски частично удаляются из рабочей камеры через малые продольные отверстия (9) расположенные в ее боковых частях. Не прижатые эластичными планками (23, 24) к стенкам рабочей камеры (2) и сконцентрированные в ее центральной части фундуки с плюсками повторно перемешиваясь штифтами (7) направляются к стенкам камеры. Фундуки, очищенные от плюски эластичными планками (23, 24) и штифтами (7), но не удаленные через малые продольные отверстия (9) расположенные в боковых частях рабочей камеры, падают под воздействием собственного веса на дно рабочей камеры (2). Отделенные от фундуков плюски, ввиду легкости их веса, поднимаются к верхней части рабочей камеры (2). Очищенные плоды фундука из дна рабочей камеры (2), удаляются резиновой лопастью (10) через большие продольные отверстия (21) в нижней части рабочей камеры. Извлеченные из рабочей камеры измельченные плюски и очищенные фундуки, посредством цилиндрического кожуха направляются в камеру сортировки (20). Процесс сортировки производится посредством продувки, вентилятором (12), приводимым в движение посредством ременной передачи (13), электродвигателем (15). Очищенный полностью фундук под

воздействием тяжести собственного веса падает вниз к направляющей планке (14) и посредством нее выводится наружу. Относительно, легкие и неочищенные полностью плоды фундука, попадают в камеру (18) и отводятся наружу. Очищенная плюска и измельченные легкие частицы под воздействием продувки отдуваются в сторону от установки. В рабочей камере относительно тяжелые по весу очищенные фундуки опускаясь вниз концентрируются на дне, а относительно легкие по весу плюски поднимаются к верху. После полного вывода из камеры очищенных фундуков, открывается окно для вывода (1) через которое с помощью эластичных пластин (23, 24) и резиновой лопасти (10) удаляются оставшиеся в камере плюски частицы. Закрывают окно для вывода (1) и в установку во включенном состоянии выгружают новую партию плодов с околоплодниками и операция повторяется.

На основание литературных и патентных поисков был разработано энергосберегающее, простое по конструкции устройство для очистки фундука от плюски.

Список литературы

1. Г.П.Варламов «Машины для уборки фруктов». Москва «Машиностренне» 1978 г.
2. Влашик Л.Г., Хашир А.А. «Технологическая оценка различных сортов фундук для переработки». Кубанский Аграрный Университет. Электронный научный журнал. Краснодар, 2005 г.
3. ФИПС. Изобретения. Полезные модели. М, а.с № 1584172. 1989.
4. ФИПС. Изобретения. Полезные модели. М, а.с № 1253582. 1981.
5. ФИПС. Изобретения. Полезные модели. М, а.с № 1482650. 1984.
6. ФИПС. Изобретения. Полезные модели. М, а.с № 1514318. 1989.
7. https://itimattarimmak.com
8. http://teknikmakine.net

References

1. G.P.Varlamov «Mashiny dlya uborki fruktov». Moskva ["Machines for harvesting fruit." Moscow] «Mashinostrenie» 1978.
2. Vlashik L.G., Hashir A.A. «Tekhnologicheskaya ocenka razlichnyh sortov funduk dlya pererabotki». Kubanskij Agrarnyj Universitet. EHlektronnyj nauchnyj zhurnal. Krasnodar ["Technological evaluation of various varieties of hazelnuts for processing." Kuban Agrarian University. Electronic scientific journal. Krasnodar], 2005.
3. FIPS. Izobreteniya. Poleznye modeli. [Inventions. Utility models] M, a.s No. 1584172. 1989.
4. FIPS. Izobreteniya. Poleznye modeli. [Inventions. Utility models] M, a.s No. 1253582. 1981.
5. FIPS. Izobreteniya. Poleznye modeli. [Inventions. Utility models] M, a.s No. 1482650. 1984.
6. FIPS. Izobreteniya. Poleznye modeli. [Inventions. Utility models] M, a.s No. 1514318. 1989.
7. https://itimattarimmak.com
8. http://teknikmakine.net

УДК 621.89 + 665.7.035

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ МДО-ПОКРЫТИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

TRIBOLOGICAL STUDIES OF WEAR RESISTANT MAO-COATINGS IN ECOLOGICAL LUBRICANTS

***Н.С. ПОЧЕС, В.Н. МАЛЫШЕВ**, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Россия, **N. DÖRR,** ACT Research, Австрия*

***N.S. POCHES, V.N. MALYSHEV**, Gubkin Russian state University of oil and gas (NIU) I.M. Gubkina, Russia, **N. DÖRR**, ACT Research, Austria*

***Аннотация**. Исследование посвящено вопросам износостойкости МДО-покрытий, сформированных на алюминиевых сплавах Д16 и В95 (аналогах сплавов 2024 и 7075) в экологических смазочных материалах и представляет собой обобщение и анализ результатов испытаний. Показано, что покрытия, сформированные на сплаве В95 при больших контактных давлениях, демонстрируют коэффициент трения ниже, чем на сплаве Д16, и меньший износ, при всех видах контакта. Влияние смазочной среды также сказывается на результатах испытаний.*

***Ключевые слова**: микродуговое оксидирование, триботехнические характеристики, экологические смазочные материалы, покрытия.*

***Abstract**. The study is devoted to the problems of wear resistance of MAO-coatings formed on aluminum alloys D16 and B95 (analogues of alloys 2024 and 7075) in ecological lubricants and represents a generalization and analysis of test results. It is shown that coatings formed on alloy B95 at high contact pressures demostrate a friction coefficient lower than on alloy D16, and a lesser wear, for all types of contact. The influence of the lubricating medium also affects the test results.*

***Keywords**: Microarc oxidation, tribological properties, ecological lubricants, coatings.*

Традиционно вопрос повышения работоспособности пар трения решается двумя путями: подбором оптимальных, в требуемом температурном диапазоне, смазочных сред и модификацией поверхностного слоя пар трения для повышения стойкости к изнашивающим нагрузкам [1].

Перспективным направлением в первом случае является развитие и использование экологически безопасных смазочных материалов. В настоящее время большую часть применяемых смазочных материалов составляют минеральные масла, от утилизации которых система очистки окружающей среды сильно перегружена [2-4]. При этом природоохранное законодательство постоянно ужесточается и, как следствие, затраты на утилизацию смазочных материалов будут увеличиваться, что сделает более выгодным развитие производства экологобезопасных продуктов [5].

С точки зрения модификации поверхностей одной из перспективных технологий является процесс микродугового оксидирования (МДО) [6-7], позволяющий получать покрытия с широким набором свойств: высокой износостойкостью, теплостойкостью, коррозионной и эрозионной стойкостью, высокими эксплуатационными показателями [8-9]. Суть данной технологии

заключается в создании на поверхности изделий в условиях воздействия микродуговых разрядов высокопрочного керамикоподобного покрытия, состоящего преимущественно из окислов алюминия, в том числе наиболее прочной его фазы – α-Al_2O_3 (корунда) и других соединений. Также известно [10], что механические свойства покрытия зависят от механических свойств материала подложки.

Целью данной работы являлось исследование влияния материала основы на триботехнические характеристики МДО-покрытий при трении в экологических смазочных материалах.

Образцы для испытаний были выполнены из алюминиевых сплавов Д16 и В95. Для формирования покрытий были использованы два типа щелочных электролитов (далее электролит №1 и №2). Перед формированием покрытий образцы предварительно притирались, затем производилась формовка покрытий в режимах, представленных в Табл. 1.

Таблица 1

Режимы формирования покрытия

Плотность тока, А/дм^2	6 – 7
Напряжение на аноде, В	550 – 600
Напряжение на катоде, В	150 – 260
Время, мин	55 – 60

После этого образцы снова притирались с использованием алмазной пасты, полировались, производился контроль толщины и определялась их пористость методом компьютерного анализа изображений [11].

Испытания на трение и износ проводились по двум схемам: «шарик по диску» и «штифт по диску». В ходе экспериментов контролировались коэффициент трения и величина износа.

В данном виде испытаний использовались: шарик диаметром 10 мм из стали 100Cr6 (аналог стали ШХ15) и диски с МДО-покрытием размером Ø24х6. В Табл. 2 приведены значения толщины и пористости МДО-покрытий, в зависимости от используемого электролита.

Таблица 2

Средние значения толщины и пористости покрытия в зависимости от используемого электролита

Состав электролита	Средняя толщина покрытия, мкм		Средняя пористость покрытия, %	
	Д16	В95	Д16	В95
№1	84	150	26,6	24
№2	77	127	35,7	13,5

В качестве смазочных материалов использовались масла на основе полиальфаолефинов (PAO), полиэтиленгликоля (PEG) и диизотридецил адипата (DITA).

Испытания проводились на машине трения SRV3, которая реализует схему трения «шарик по диску».

Исследования проводились при возрастающей и постоянной нагрузке. При выполнении экспериментов с возрастающей нагрузкой параметры были следующие: частота колебаний 50 Гц; перемещение 1 мм; температура

окружающей среды 40 °С; нагрузка увеличивалась от 400 Н до 600 Н на 25 Н каждые 7 минут; длительность 80 минут; 2 измерения на один тип смазочного материла.

По результатам испытаний с возрастающей нагрузкой отбирались лучшие образцы масел для экспериментов с постоянным значением нагрузки.

При испытаниях с постоянной нагрузкой менялась длительность и нагрузка. Время эксперимента составляла 60 минут, а нагрузка – 400 и 600 Н.

На данном этапе образцы были выполнены в виде штифтов размером Ø10х8 с МДО-покрытием. В качестве контртела был использован диск диаметром 110 мм из стали 100Cr6 (аналог стали ШХ15).

Для испытания на трение использовалась экспериментальная установка, реализующая схему трения «штифт по диску», рабочая часть которой приведена на Рис. 1.

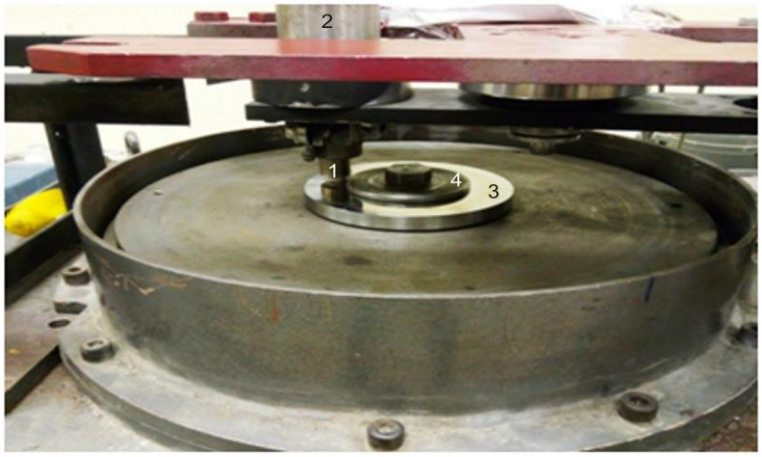


Рисунок 1 – Рабочая часть установки: 1 – Образец с МДО-покрытием; 2 – нагружающее устройство; 3 – стальной диск; 4 – прижимная пластина

При выполнении исследований измерения повторялись дважды и параметры были следующие: нагрузка 200 Н; частота вращения диска 38 об/мин; длительность 60 минут; два вида испытаний: со смазочным материалом на контакте и со смазкой, оставшейся в порах (аварийный режим).

На основании результатов испытаний по схеме «шарик по диску» в качестве смазочных материалов для схемы «штифт по диску» были отобраны масла PEG, PAO и DITA, кроме того, состав смазочных материалов расширялся путем добавления присадок. К каждому маслу добавлялась противоизносная присадка на основе диалкидитиофосфата цинка (ZDDF) в количестве 1600 ppm (0,16 %).

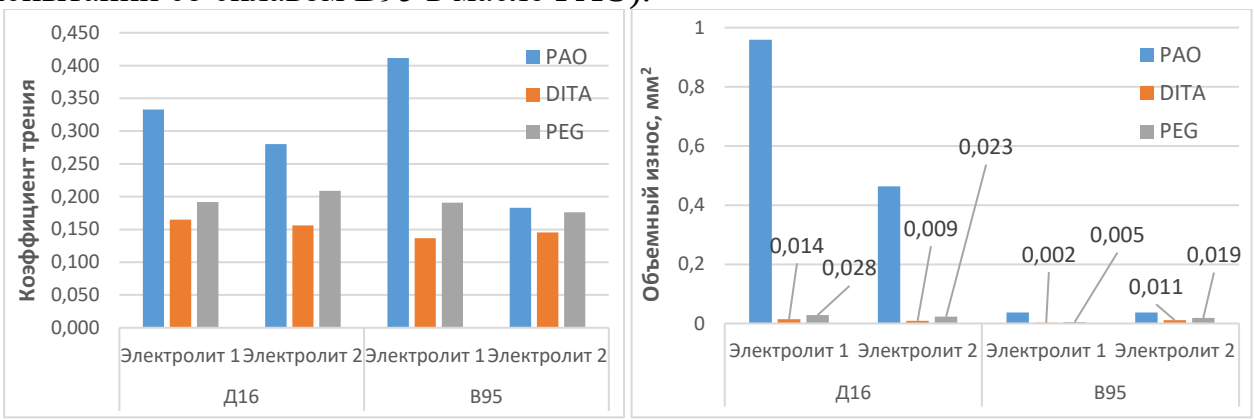
В Табл. 3 приведены значения толщины и пористости МДО-покрытий в зависимости от используемых электролитов.

Таблица 3

Средние значения толщины покрытия в зависимости от используемого электролита.

Состав электролита	Средняя толщина покрытия, мкм		Средняя пористость покрытия, %	
	Д16	В95	Д16	В95
№1	100	150	34,7	24
№2		127		13,5

Результаты испытаний по схеме «шарик по диску» с возрастающей нагрузкой приведены на Рис. 2. Заметно снижение коэффициента трения при испытании образцов из сплава В95, относительно тех же из Д16 (кроме испытаний со сплавом В95 в масле PAO).



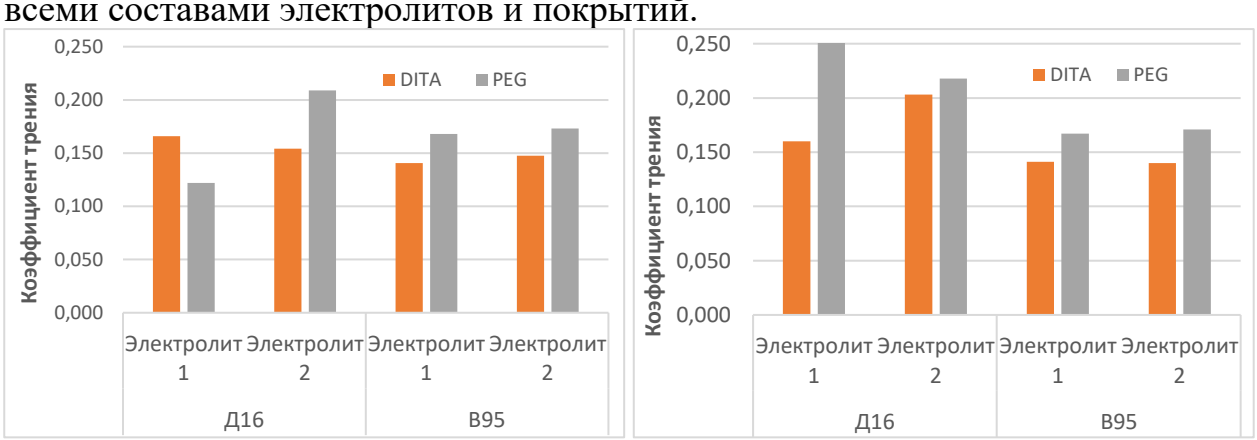
а) *б)*

Рисунок 2 – Средние значения коэффициентов трения (а) и объемного износа (б) после испытаний с возрастающей нагрузкой по схеме «шарик по диску».

Также стоит отметить существенное снижение износа МДО-покрытий, сформированных на сплаве В95 при трении в масле PAO, в то время как МДО-покрытия на сплаве Д16 имели разрушения до основы.

При испытаниях с постоянной нагрузкой 400 и 600 Н в маслах PEG и DITA были получены результаты, приведенные на Рис. 3.

Масло PEG при нагрузке 400 Н и с покрытиями, сформированными в первом электролите на сплаве Д16, показало лучший результат, однако на покрытиях, сформированных во втором электролите оно проявило себя хуже. Масло DITA при 400 Н показало примерно равный коэффициент трения со всеми составами электролитов и покрытий.



а) *б)*

Рисунок 3 – Среднее значение коэффициента трения при постоянной нагрузке 400 Н (а) и 600 Н (б) при испытаниях по схеме «шарик по диску».

При нагрузке 600Н коэффициент трения у образцов, сформированных на сплаве В95, примерно такой же как при 400Н. МДО-покрытия на сплаве Д16 при этой нагрузке демонстрируют увеличение коэффициента трения.

При испытаниях по схеме «штифт по диску» со смазочным материалом (Рис. 4, *а,б*) наблюдается снижение коэффициента трения со всеми маслами кроме PEG и смеси DITA+ZDDP со вторым электролитом. Образцы на В95 показали прирост массы до 2,5 мг.

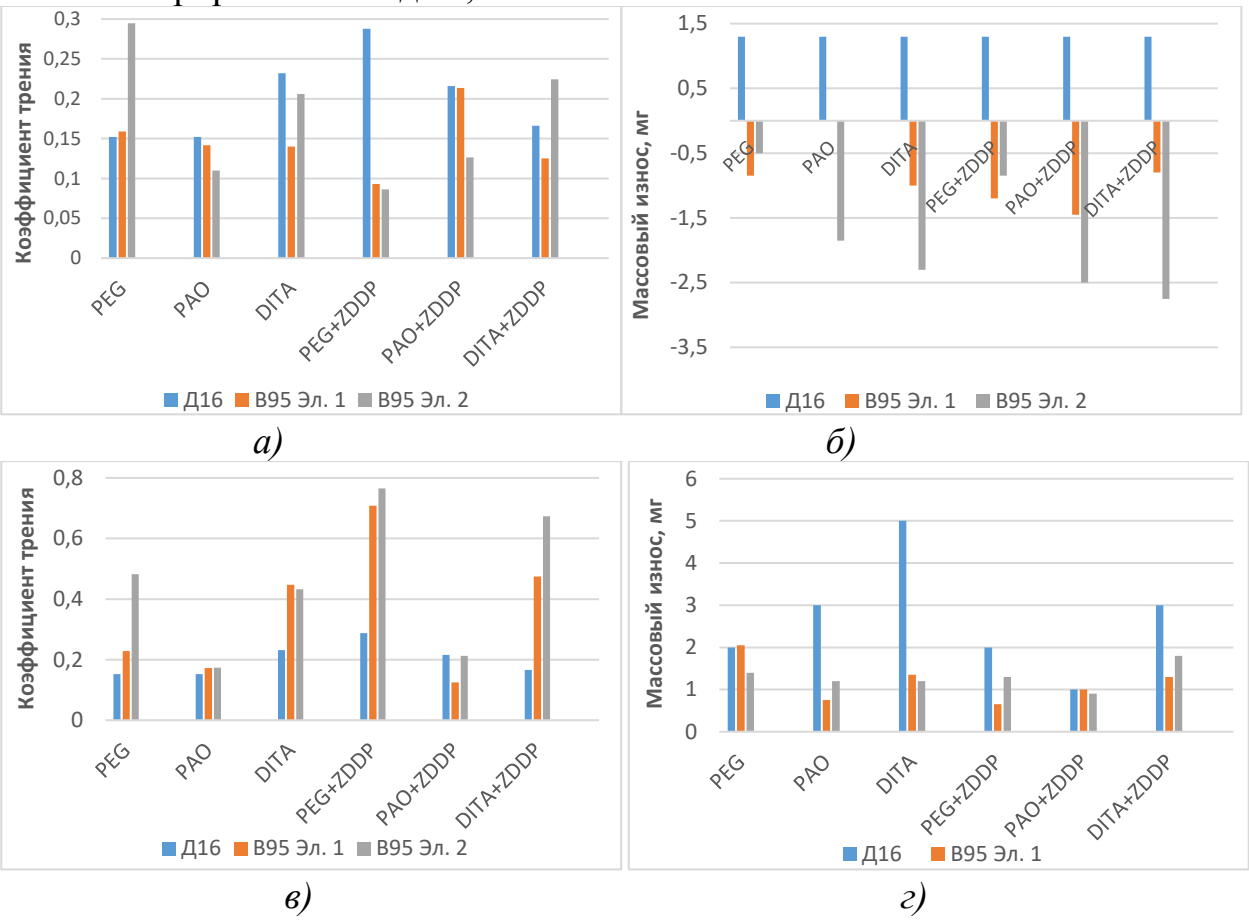


Рисунок 4 - Средние значения коэффициентов трения (а,в) и массового износа (б,г) после испытаний со смазочным материалом(а,б) и в аварийном режиме (в,г) по схеме «штифт по диску».

При испытаниях в аварийном режиме покрытия на В95 демонстрируют повышенный коэффициент трения. Здесь лучше всего проявили себя масла PAO и PAO+ZDDP. Но значение массового износа выше у покрытий на сплаве Д16.

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- покрытия, сформированные на сплаве В95 при больших контактных давлениях, демонстрируют коэффициент трения ниже чем на сплаве Д16;
- на образцах из сплава В95 получен меньший износ, чем на сплаве Д16 при всех видах контакта;
- при испытаниях образцов из сплава В95 по схеме «штифт по диску» в смазочном материале не был выявлен износ образцов с МДО-покрытием, что связанно, очевидно, с недостаточным удельным давлением, поскольку при больших контактных давлениях (при испытаниях по схеме «шарик по диску») износ был зафиксирован.

Список литературы

1. Malyshev, V.N., N. Dörr, O.Yu. Elagina, M. Rodriguez-Ripoll and N.S. Poches, 2017. The research of MAO-coatings' tribological be-havior in different lubricants. ÖTG-Symposium 2017: "Tribologie in Industrie und Forschung. Neue Aufgaben – Innovative Lösungen", Österreichische Tribologische Gesellschaft, pp: 193-293.

2. Манг Т., Дрезель У. Смазки. Производство, применение, свойства. Справочник / пер. с англ. 2-го изд.; под ред. В.М. Школьникова, – СПб.: ЦОП «Профессия», 2015. – 944 с., ил.

3. Фитч Дж., Тройер Д. Анализ масел. Основы и применение / Пер. с англ. 2-го изд.; под ред. Е.А. Новикова, М.В Кирюхина, – СПб.: ЦОП «Профессия», 2015. – 176 с., ил.

4. Л.Р. Рудник. Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение: пер. с англ. яз. 2-го изд. под ред. А.М. Данилова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2013. – 928с., ил.

5. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, Т.Н. Шабалина, Л.Н. Багдасаров. - М.: Нефть и газ: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. - 422, с.: ил., табл.

6. Крит Б., Людин В., Суминов И. и др. МДО-синиез нанокерамических слоев на деталях из металлов и сплавов. // Наноиндустрия, 2010, №2, С.12-13.

7. Малышев В.Н. Модифицирование поверхностного слоя деталей методом микродугового оксидирования: состояние, возможности, перспективы // Управление качеством в нефтегазовом комплексе, 2014, №1, С.15-20.

8. Малышев В.Н. Оценка износостойкости керамических покрытий, сформированных методом микродугового оксидирования // сб. трудов международной научно-практич. Конференции «Фундаментальные проблемы и современные технологии в машиностроении». М. - : Машиностроение, 2010. С. 571.

9. Погребняк А.Д., Каверина А.Ш., Кылышканов М.К. Электролитно-плазменная технология для нанесения покрытий и обработки металлов и сплавов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2014. №1.

10. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование)/И.В. Суминов и др. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.: ил.

11. Малышев В.Н., Вольхин А.М. Методика определения пористости покрытий. //Сборник статей «Прогрессивные технологии в машиностроении» XI Международной научно-практической конференции.-Пенза: ПДЗ, 2016. С.26-30.

References

1. Malyshev, V.N., N. Dörr, O.Yu. Elagina, M. Rodriguez-Ripoll and N.S. Poches, 2017. The research of MAO-coatings' tribological be-havior in different lubricants. ÖTG-Symposium 2017: "Tribologie in Industrie und Forschung. Neue Aufgaben – Innovative Lösungen", Österreichische Tribologische Gesellschaft, pp: 193-293.

2. Mang T., Drezel' U. Smazki. Proizvodstvo, primenenie, svojstva. Spravochnik [Lubricants. Production, application, properties.] / per. s angl. 2-go izd.; pod red. V.M. SHkol'nikova, – SPb.: COP «Professiya», 2015. – 944 p., il.

3. Fitch Dzh., Trojer D. Analiz masel. Osnovy i primenenie [Analysis of oils. Basics and application] / Per. s angl. 2-go izd.; pod red. E.A. Novikova, M.V Kiryuhina, – SPb.: COP «Professiya», 2015. – 176 p., il.

4. L.R. Rudnik. Prisadki k smazochnym materialam. Svojstva i primenenie [Additives to lubricants. Properties and application]: per. s angl. yaz. 2-go izd. pod red. A.M. Danilova. – SPb.: COP «Professiya», 2013. – 928 p., il.

5. Smazochnye materialy i problemy ehkologii [Lubricants and environmental issues] / A.YU. Evdokimov, I.G. Fuks, T.N. SHabalina, L.N. Bagdasarov. - M.: Neft' i gaz: RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2000. - 422, p.: il., tabl.

6. Krit B., Lyudin V., Suminov I. i dr. MDO-siniez nanokeramicheskih sloev na detalyah iz metallov i splavov [MAO synthesis of nanoceramic layers on parts made of metals and alloys]. // Nanoindustriya, 2010, No.2, p.12-13.

7. Malyshev V.N. Modificirovanie poverhnostnogo sloya detalej metodom mikrodugovogo oksidirovaniya: sostoyanie, vozmozhnosti, perspektivy [Modification of the surface layer of parts using microarc oxidation: state, possibilities, prospects] // Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse, 2014, No. 1, pp.15-20.

8. Malyshev V.N. Ocenka iznosostojkosti keramicheskih pokrytij, sformirovannyh metodom mikrodugovogo oksidirovaniya [Assessment of wear resistance of ceramic coatings formed by microarc oxidation] // sb. trudov mezhdunarodnoj nauchno-praktich. Konferencii «Fundamental'nye problemy i sovremennye tekhnologii v mashinostroenii». M. - : Mashinostroenie, 2010. p. 571.

9. Pogrebnyak A.D., Kaverina A.SH., Kylyshkanov M.K. EHlektrolitno-plazmennaya tekhnologiya dlya naneseniya pokrytij i obrabotki metallov i splavov [Electrolytic-plasma technology for coating and processing of metals and alloys] // Fizikohimiya poverhnosti i zashchita materialov. 2014. No. 1.

10. Mikrodugovoe oksidirovanie (teoriya, tekhnologiya, oborudovanie) [Microarc oxidation (theory, technology, equipment)] /I.V. Suminov i dr. – M.: EHKOMET, 2005. – 368 p.: il.

11. Malyshev V.N., Vol'hin A.M. Metodika opredeleniya poristosti pokrytij. //Sbornik statej «Progressivnye tekhnologii v mashinostroenii» HI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Method of determining the porosity of the coatings. // Collection of articles "Progressive technologies in mechanical engineering" of the XI International Scientific and Practical Conference].-Penza: PDZ, 2016. pp.26-30.

УДК 621.825:621.436

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ МУФТЫ ПРИВОДА ТНВД НА УГОЛ ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE CONDITION OF THE COUPLING PARTS OF THE DRIVE PUMP ON THE CORNER OF AN ADVANCING OF INJECTION OF FUEL

***Н.В. РАКОВ**, канд. техн. наук, доцент, **А.В. СМОЛЬЯНОВ,** канд. техн. наук, доцент, **В. А. МАКШЕВ**, аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия*

***N.V. RAKOV,** cand. tech. sci., associate Professor, **A.V. SMOL'YANOV**, cand. tech. sci., associate Professor, **V. A. MAKSHEV**, post-graduate student, National Research Mordovian State University. N. P. Ogarev, Saransk, Russia*

***Аннотация**. Статья посвящена исследованию влияния износов деталей автоматической муфты опережения впрыскивания топлива (АМОВТ) на угол опережения впрыскивания топлива двигателя КамАЗ с использованием методов статистического анализа.*

***Ключевые слова**: статистика, износ, муфта, угол опережения впрыскивания топлива, дизель.*

***Abstract**. The article is devoted to the study of the influence of wear parts of the automatic coupling of fuel injection advance on the angle of fuel injection advance of the KAMAZ engine using statistical analysis methods.*

***Keywords:** statistics, wear, clutch, a corner of an advancing of injection of fuel, diesel.*

Оптимизации процесса сгорания топлива в дизельных двигателях с изменением частоты вращения коленчатого вала обеспечивается за счет изменения угла опережения впрыска топлива (УОВТ). Угол опережения впрыска топлива складывается из начального (установочного) и угла опережения подачи при увеличении оборотов двигателя. Начальный угол обеспечивается правильной установкой ТНВД на двигатель, а необходимое приращение угла опережения – срабатыванием АМОВТ.

На двигателях КамАЗ используются АМОВТ закрытого типа, устанавливаемые на переднем хвостовике кулачкового вала ТНВД и обеспечивающие близкое к линейному увеличение угла опережения впрыска топлива при увеличении частоты вращения коленчатого вала (Рис. 1). В соответствии с требованиями на капитальный ремонт ТК 10.16.0001.003-87 «Топливная аппаратура автотракторных и комбайновых дизелей. Технические требования на капитальный ремонт» муфта должна производить опережение угла впрыска топлива при частоте вращения кулачкового вала 600 мин$^{-1}$ на 1±0,5 град, при 900 мин$^{-1}$ - 3±0,5 град, при 1300 мин$^{-1}$ – 4,5±0,5 град.

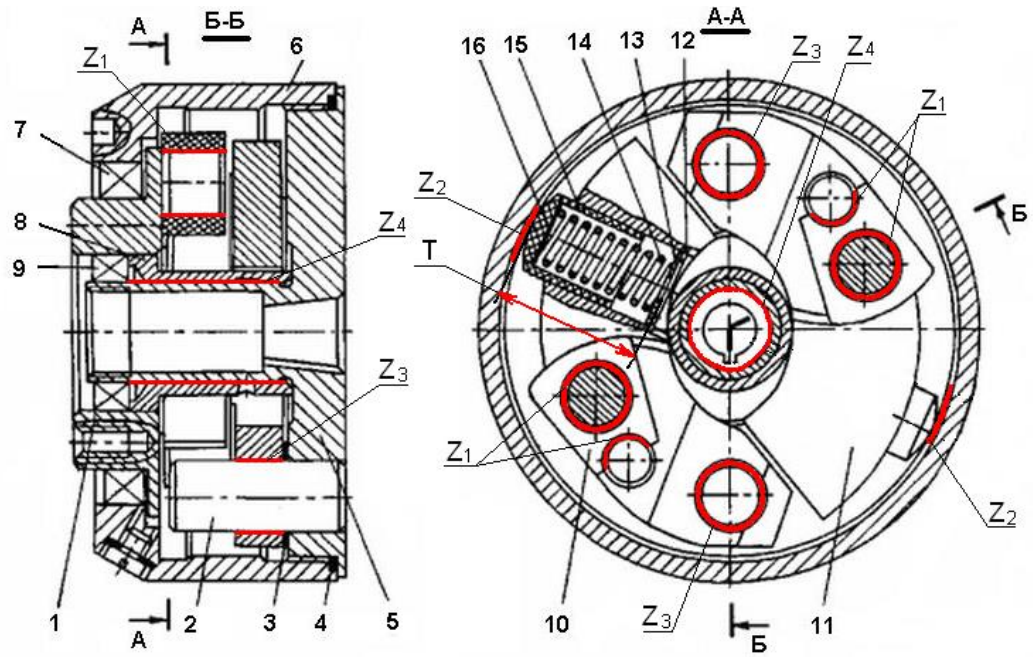


Рисунок 1 - АМОВТ двигателя КамАЗ -740: 1 - ведущая полумуфта; 2 - ось; 3, 13 - шайбы; 4 - уплотнительное кольцо; 5 - ведомая полумуфта; 6 - корпус; 7, 9 - сальники; 8 - втулка ведущей полумуфты; 10 - проставка; 11 - груз с пальцем; 12 - упорное кольцо; 14 - пружина; 15 - стакан пружины; 16 - регулировочные прокладки; Z_1 – суммарный износ отверстия проставки и пальца ведомой полумуфты, мм; Z_2 – износ внутренней поверхности корпуса, мм; Z_3 – суммарный износ втулки и оси втулки, мм; Z_4 – суммарный износ оси груза и отверстия под ось груза, мм; Т – высота блока из пружины, стакана пружины, шайб, мм.

В процессе эксплуатации детали муфты подвержены износу различной степени интенсивности. Поэтому целью исследования являлось определение влияния изношенных рабочих поверхностей муфты на УОВТ.

Для решения поставленной цели были испытаны 57 муфт, бывших в эксплуатации. Испытания проводили на эталонном комплекте топливной аппаратуры, который поочередно устанавливали с испытуемой муфтой на стенд КИ-22210. [1]

В соответствии с техническими требованиями в процессе испытания контролировался УОВТ на режимах 600, 900 и 1300 мин$^{-1}$ кулачкового вала ТНВД. Затем испытанные муфты разбирались, а детали промерялись согласно техническим требованиям ТК 10.16.0001.003 – 87.

На основе полученных данных проведена статистическая обработка с использованием методов корреляционного и линейного множественного регрессионного анализа с использованием программы «Statistica».

Основываясь на работу [2] в качестве математической модели прогноза изменения угла опережения впрыска топлива выбраны уравнения линейной множественной регрессии в натуральном масштабе типа:

$$\bar{А} = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5T + \varepsilon_i; i = 1, \dots, 5; \quad (1)$$

$$Ln\bar{А} = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5T + \varepsilon_i; \quad (2)$$

$$Ln\bar{А} = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5LnT + \varepsilon_i; \quad (3)$$

$$Ln\bar{А} = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4LnZ_4 + b_5LnT + \varepsilon_i; \quad (4)$$

$$Ln\bar{A} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 LnZ_3 + b_4 LnZ_4 + b_5 LnT + \varepsilon_i; \quad (5)$$
$$Ln\bar{A} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 LnZ_2 + b_3 LnZ_3 + b_4 LnZ_4 + b_5 LnT + \varepsilon_i; \quad (6)$$
$$Ln\bar{A} = b_0 + b_1 LnZ_1 + b_2 LnZ_2 + b_3 LnZ_3 + b_4 LnZ_4 + b_5 LnT + \varepsilon_i. \quad (7)$$

где $\bar{A}(Ln\bar{A})$ – средняя (натуральный логарифм среднего) величина изменения угла впрыска топлива, град;

b_0 и b_i – неизвестные параметры, описывающие прямую линию и которые следует оценить по наблюдениям (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, T и k, где k – число наблюдений);

Z_1 – суммарный износ отверстия проставки и пальца ведомой полумуфты, мм (см. рисунок 1);

Z_2 – износ внутренней поверхности корпуса, мм (см. рисунок 1);

Z_3 – суммарный износ втулки и оси втулки, мм (см. рисунок 1);

Z_4 – суммарный износ оси груза и отверстия под ось груза, мм (см. рисунок 1);

T–высота блока из пружины, стакана пружины, шайб, мм (см. рисунок 1).

ε_i – независимые, ненаблюдаемые случайные ошибки со средним 0 и неизвестной дисперсией, не меняющиеся от опыта к опыту, которые интерпретируются как ошибки наблюдения.

Результаты стендовых испытаний показали, что на режиме вращения кулачкового вала топливного насоса 600 мин$^{-1}$ превышение УОВТ наблюдается у 95 % исследуемых муфт, на режиме 900 мин$^{-1}$ – у 79 %, на 1300 мин$^{-1}$ – у 23 %.

Оценкой технического состояния рабочих поверхностей деталей муфты установлено, что износы носят локальный характер и их место образования и величины будут зависеть от режимов работы двигателя. Так, наибольшему локальному износу подвержена внутренняя поверхность корпуса муфты, представленная на Рис. 2.

Рисунок 2 – Локальный износ внутренней поверхности корпуса

Оценка значений попарных коэффициентов корреляции между независимыми признаками уравнений 1-7 приведена в Табл. 1.

Таблица 1

Значения попарных коэффициентов корреляции между независимыми признаками

Множественная корреляция	Коэффициенты парной корреляции, уровень значимости $\alpha < 0,05$					
Переменные	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	T	A_1
Z_1	1,000000	-0,215349	0,387628	0,036483	-0,066183	0,165682
Z_2	-0,215349	1,000000	0,169769	0,155828	-0,433968	0,872470
Z_3	0,387628	0,169769	1,000000	0,586458	-0,042028	0,280481
Z_4	0,036483	0,155828	0,586458	1,000000	0,336777	0,010664
T	-0,066183	-0,433968	-0,042028	0,336777	1,000000	-0,658946
A_1	0,165682	0,872470	0,280481	0,010664	-0,658946	1,000000

Из таблицы следует, что нет функциональной связи между независимыми признаками, поэтому все факторы вводились в многофакторный регрессионный анализ.

Дальнейшим анализом установлено, что наилучшие показатели по всем критериям на режиме 600 мин$^{-1}$ кулачкового вала насоса описывается уравнением (1), для которого коэффициенты статистической модели связи между $\bar{A}_{600}$ и независимыми факторами Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, T имеют значения, соответствующие Табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты связи между зависимой и независимыми переменными

K=57	Множественный регрессионный анализ: зависимая величина (A_{600}); $R_{1,\dots,5}$ = 0,978; R^2=0,954; F(5,51)=229,94, p<0,00, $S_{A/z}$=0,1127					
	β	Ст. ош.β	ξ	Ст. ош. ξ	t(44)	p
b_0			**5,524673**	**0,678829**	**8,13854**	**0,000000**
Z_1	**0,311133**	**0,034172**	**0,002411**	**0,000265**	**9,10492**	**0,000000**
Z_2	**0,835682**	**0,036207**	**0,003188**	**0,000138**	**23,08068**	**0,000000**
Z_3	0,054456	0,042142	0,000473	0,000366	1,29219	0,202117
Z_4	-0,079822	0,042675	-0,000574	0,000307	-1,87046	0,067164
T	**-0,246525**	**0,038045**	**-0,107903**	**0,016652**	**-6,47982**	**0,000000**

Примечание: жирным шрифтом выделены значимые факторы.

Оценка неизвестных коэффициентов уравнения (1) по методу наименьших квадратов выявила статическую значимость переменных Z_1, Z_2, T, которые были включены для дальнейшего анализа.

В результате математическая модель изменения угла опережения впрыска топлива от статистически значимых, независимых факторов на режиме 600 мин$^{-1}$ кулачкового вала насоса имеет вид:

$$\bar{A}_{600} = 0,3111 \cdot Z_1 + 0,8357 \cdot Z_2 - 0,2465 \cdot T \qquad (8)$$

Проверку адекватности полученной модели производили по критерию Фишера и оценкой остатков по критерию Дарбина-Уотсона. Окончательный выбор модели производили по коэффициенту детерминации и графикам распределения остатков (Рис. 3).

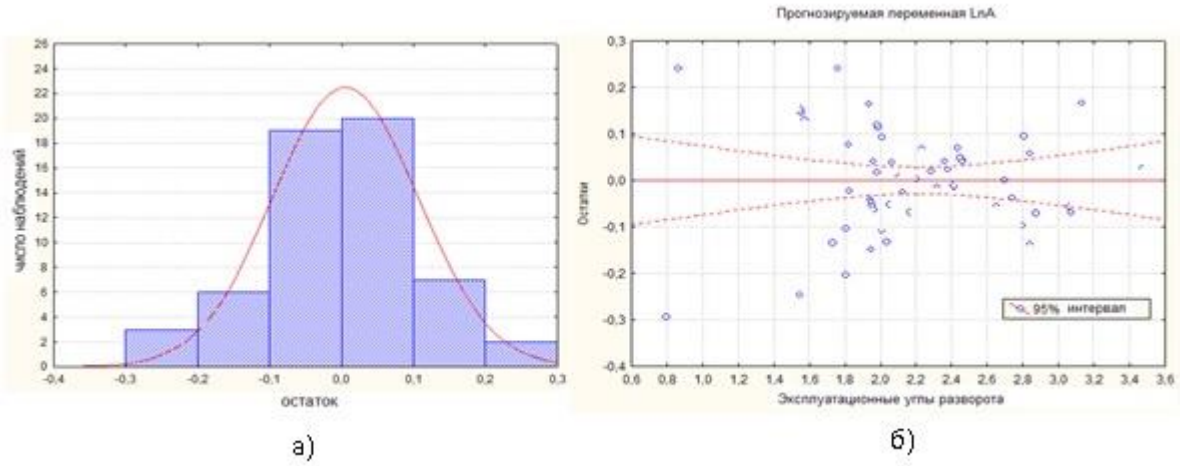


Рисунок 3 – Графики распределения остатков: а – гистограмма остатков б – экспериментальные величины углов разворота и остатки

Из представленных графиков видно, что остатки хорошо аппроксимируются нормальным распределением (рисунок 3, а), и они хаотически разбросаны, слабо коррелированны между собой, в их поведении нет закономерностей. Отсюда можно заключить, модель (8) достаточно адекватно описывает экспериментальные данные.

Аналогичным образом было рассмотрено влияния износов на угол опережения впрыска топлива на режимах 900 и 1300 мин$^{-1}$ кулачкового вала насоса. Получены следующие зависимости:

$$\bar{A}_{900} = exp \cdot (0{,}3348 \cdot Z_2 + 0{,}1549 \cdot Z_3 - 0{,}2499 \cdot LnZ_4 - 0{,}6777 \cdot LnT); \quad (9)$$

$$\bar{A}_{1300} = exp \cdot (-0{,}3722 \cdot Z_1 + 0{,}8167 \cdot Z_3 - 0{,}5656 \cdot LnT) \quad (10)$$

Из уравнений 8-10 видно, что на различных частотах вращения на отклонения угла опережения впрыска топлива от установленных значений оказывают влияния различные независимые факторы. Так при 600 мин$^{-1}$ кулачкового вала насоса наибольшее влияние на отклонения угла оказывает износ внутренней поверхности корпуса, суммарный износ отверстия проставки и пальца ведомой полумуфты, высота блока из пружины, стакана пружины и шайб; при 900 мин$^{-1}$ - высота блока из пружины, стакана пружины и шайб, износ внутренней поверхности корпуса, суммарный износ оси груза и отверстия под ось груза, суммарный износ втулки и оси втулки; при 1300 мин$^{-1}$ - суммарный износ втулки и оси втулки, высота блока из пружины, стакана пружины и шайб, суммарный износ отверстия проставки и пальца ведомой полумуфты.

Износы деталей муфты носят локальный характер, что приводит к неравномерному нарушению УОВТ на различных режимах работы. Это объясняется тем, что двигатель КамАЗ, эксплуатирующийся в условиях сельского хозяйства, на дорогах IV и V категории, основную долю времени – 62% работает в диапазоне частот вращения 0,48 – 0,67 $n_{ном}$ (1248–1742 мин$^{-1}$), а в области номинальной частоты вращения – не более 2,5% [3].

Выявленные зависимости показывают, что на угол опережения впрыска топлива оказывают влияние все выше рассмотренные независимые факторы (износы), а отсутствие некоторых факторов на различных режимах работы объясняется локальными износами, которые обусловлены условиями эксплуатации автомобиля.

Список литературы

1. Смольянов А.В. Снижение интенсивности изнашивания деталей автоматической муфты опережения впрыскивания топлива восстановлением изношенных поверхностей методом электроискровой обработки / А. В. Смольянов, Н. В. Раков, Ю. В. Шумкин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвуз. сб. науч. тр. / редкол.: А.В. Котин [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С.287-292.

2. Бурумкулов Ф.Х. Анализ результатов исследования эксплуатационной надёжности гидравлических распределителей с плоскими золотниками и требования к восстановлению соединений / Ф.Х. Бурумкулов, П.В. Сенин, С.А. Величко, Н.В. Раков // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: Междун. науч.-техн. конф./ (г. Саранск, 27-29 окт. 2004 г.): Сб. науч. тр. МГУ им. Н.П. Огарева; Редкол.: П.В. Сенин, и др. - Саранск: Тип. «Крас. Окт.», 2004. – С. 20–29.

3. Грехов, Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. 2-е изд. / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков– М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.

References

1. Smol'yanov A.V. Snizhenie intensivnosti iznashivaniya detalej avtomaticheskoj mufty operezheniya vpryskivaniya topliva vosstanovleniem iznoshennyh poverhnostej metodom ehlektroiskrovoj obrabotki [Reducing the wear rate of parts of the automatic coupling of fuel injection advance by restoring worn surfaces using the electric spark method] / A. V. Smol'yanov, N. V. Rakov, YU. V. SHumkin // EHnergoehffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy: mezhvuz. sb. nauch. tr. / redkol.: A.V. Kotin [i dr.]. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2013. – pp.287-292.

2. Burumkulov F.H. Analiz rezul'tatov issledovaniya ehkspluatacionnoj nadyozhnosti gidravlicheskih raspredelitelej s ploskimi zolotnikami i trebovaniya k vosstanovleniyu soedinenij [Analysis of the results of a study of the operational reliability of hydraulic distributors with flat spools and the requirements for restoring connections] / F.H. Burumkulov, P.V. Senin, S.A. Velichko, N.V. Rakov // Povyshenie ehffektivnosti funkcionirovaniya mekhanicheskih i ehnergeticheskih system [Improving the efficiency of the functioning of mechanical and energy systems]: Mezhdun. nauch.-tekhn. konf./ (g. Saransk, 27-29 okt. 2004.): Sb. nauch. tr. MGU im. N.P. Ogareva; Redkol.: P.V. Senin, i dr. - Saransk: Tip. «Kras. Okt.», 2004. – pp. 20–29.

3. Grekhov, L. V. Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizelej [Fuel equipment and control systems of diesel engines]: Uchebnik dlya vuzov. 2-e izd. / L. V. Grekhov, N. A. Ivashchenko, V. A. Markov– M.: Legion-Avtodata, 2005. – 344 p.

УДК 631

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ

DEVICE FOR DETERMINING THE FORCE FROM THE LINERS

С.С. РУЗИН, *лаборант, ФНАЦ ВИМ, Россия, магистрант Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,* ***Р.Ф. ФИЛОНОВ,*** *кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,* ***В.В. КИРСАНОВ,*** *доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,* ***Д.Ю. ПАВКИН,*** *младший научный сотрудник,* ***С.А. КАЧАН,*** *инженер,* ***И.М. ДОВЛАТОВ,*** *аспирант, младший научный сотрудник, ФНАЦ ВИМ, Россия*

S.S. RUZIN*, laboratory assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia, master's degree student Russian state agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural Academy,* ***R.F. FILONOV****, candidate of technical Sciences, associate Professor, Russian state agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural Academy,*

V.V. KIRSANOV*, doctor of technical Sciences, Professor, chief researcher,* ***D.YU. PAVKIN****, Junior researcher,* ***S.A. KACHAN****, engineer,* ***I.M. DOVLATOV****, post-graduate student, Junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia*

Аннотация*. В данной работе рассматриваются методы определения силового воздействия сосковой резины на сосок вымени коровы. Представлены известные устройства, измеряющие давление на сосок вымени целиком или дифференцированно на цистернальную область. Данные устройства рассчитаны на измерение сжатия сосковой резины, как правило, только круглого сечения в виду особенностей конструкции устройств. Предложено решение в виде устройства, базирующемся на тензорезистивных датчиках давления с обрабатывающим сигнал комплексом на базе «Arduino» и аналого-цифрового преобразователя. Определены наиболее популярные сосковые резины нестандартных конфигураций для дальнейшего исследования устройства.*

Ключевые слова*: доение; силовое воздействие; сосковая резина.*

Abstract*. This paper discusses the research methods of the force of influence liners on the teat of the udder of the cow. The known devices measuring pressure on the all teat or only on the cistern area are presented. These devices are designed to measure the compression of the liners only a circular cross-section in view of the design features of the devices. A solution in the form of a device based on the force sensitive resistor with a processing signal complex based on Arduino and analog-to-digital Converter is proposed. The most popular non-standard configuration liners are offered for further researches of the device.*

Keywords*: milking; force influence; liners.*

Одной из наиболее перспективных доильных систем на текущее время является модульная роботизированная доильная установка с почетвертным режимом доения, которая позволяет управлять параметрами доильного аппарата в зависимости от физиологических особенностей животного и минимизировать

негативное воздействие машинного доения, а также позволяет снизить заболеваемость животных маститом. Нарушение технологии и параметров в молочном животноводстве одна из важнейших проблем заболевания маститом [12]. Процент заболеваемости животных от машинного доения приблизительно равен 70% [9, 10, 11].

Известно, что единственной взаимодействующей с животным частью доильной машины, является сосковая резина. Характер воздействия сосковой резины может повлиять на заражение маститом животного. Помимо прямого воздействия или физически-силового воздействия она может служить фомитом заболевания. Но изначально провоцирует заболевание за счет непосредственного влияния на сосок животного, разрушая ткани и давая возможность вирусам попасть на эти ткани, при излишней силе воздействия. Воздействие сосковой резины может провоцировать отечности на конце соска, что также негативно сказывается на здоровье вымени и мешает полной молокоотдаче, но есть и обратная сторона. При недостаточном воздействии сосковой резины не будет достаточного массажного эффекта, который стимулирует молокоотдачу у животного [4, 7, 8].

Производители сосковых резин предоставляют широкий выбор продукции. Имеются разные материалы: пищевая резина, пищевой силикон. Некоторые добавляют обеззараживающие добавки в виде серебра и других, что доказанного эффекта не имеет. Так и резина разных модификаций не имеет подтверждений своих свойств.

Для определения силовых воздействий сосковой резины было произведено не мало измерительных комплексов и приборов. Существует несколько комплексов как на механическом принципе работы, так и электрическом [6].

Первый такой комплекс представлен на Рис. 1. Основа воздействия механическое нагружение штока вертикально движущегося шарика. Шток в свою очередь приводится в движение через две пары горизонтально движущихся шариков, которые выступают из корпуса искусственного соска. На выступающие шарики действует сосковая резина [3].

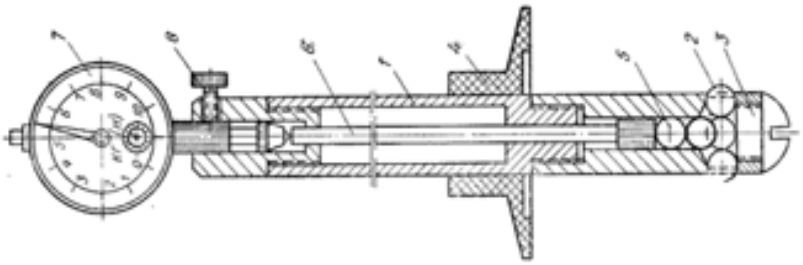


Рисунок 1 - Прибор с шариками

Минусом данного прибора является непонятная тарировка устройства для получения результата и невозможность определения силовых показателей для резин, не имеющих круглое сечение. Жесткий корпус устройства не является правдоподобным при имитации соска и силовое воздействие не может быть достоверно измерено.

Следующее устройство представляет собой искусственный сосок, заполненный угольным порошком, корпус соска протектирован жесткими нитями, а на двух противоположных сторонах корпуса установлены электроды. Данное устройство представлено на Рис. 2. При воздействии сосковой резины на корпус искусственного соска угольный порошок сжимается, что меняет сопротивление между двумя электродами. Данные показания выводятся на фиксирующий результат прибор [1].

Недостатком данного устройства является то, что сопротивление корпуса крайне велико, по сравнению с соском животного, как и предыдущего устройства. Также сопротивление в данном устройстве, за счет воздействия с трех сторон, будет менять его не так, как происходит фактическое сжатие.

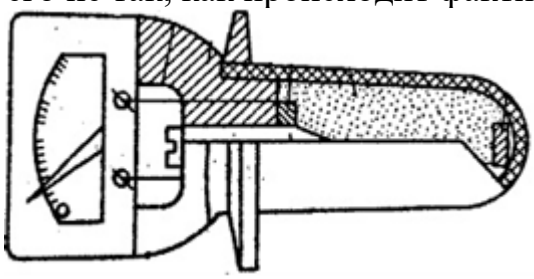


Рисунок 2 - Устройство с угольным порошком и изменяемым сопротивлением

Третье устройство отличается высокой продуманностью, но и в свою очередь трудоемкостью в реализации. Оно представлено на Рис. 3.

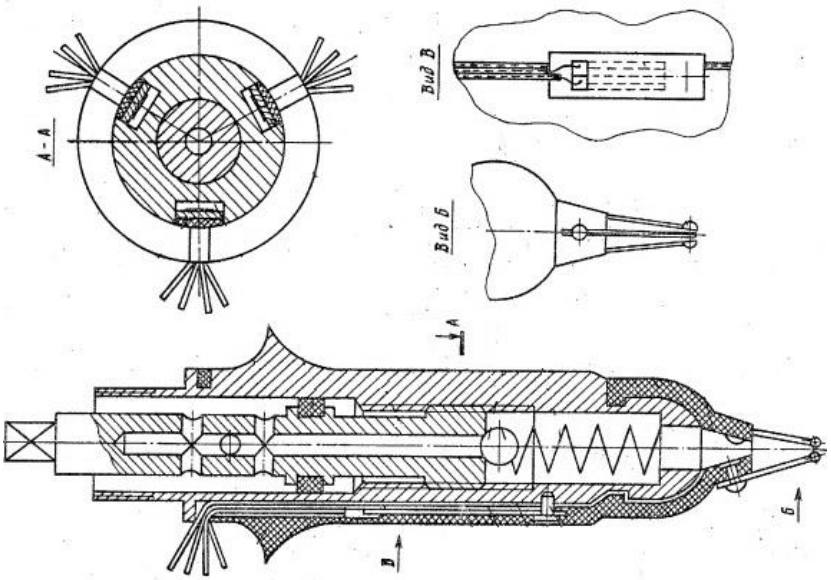


Рисунок 3 - Прибор для измерения силового воздействия с помощью тензорезистивных датчиков

Данный прибор оснащен тензорезистивными датчиками давления. Принцип работы этих датчиков базируется, как и у большинства электронных весов, датчик при воздействии меняет сопротивление. Выходные данные – это сопротивление, данный прибор тарируется, как и весы, нагрузкой и снятием показаний датчиков [2,5].

Минусом данного прибора, что он замеряет усилие только в зоне цистерны соска, а основная нагрузка идет на кончик.

Предлагаемое устройство для определения силы воздействия на соски вымени изображено на Рис. 4 и 5.

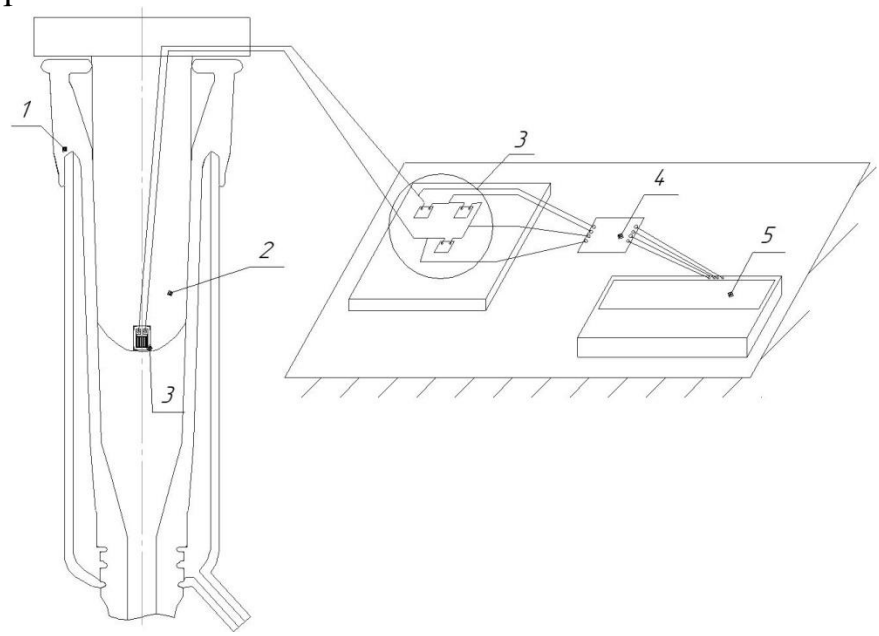


Рисунок 4 - Принципиальная схема устройства: 1 – доильный стакан с испытуемой сосковой резиной; 2 – искусственный сосок с тензорезистором на конце; 3 – мост Уинстона из 4-х тензорезистеров; 4 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 5 – измерительно-выводной комплекс на базе Arduino

Рисунок 5 - Разработанное устройство для измерения силового давления.

Особенностью данного устройства является простота и точность измерений. Принцип базируется на тензометрических датчиках, которые в зависимости от воздействия на них меняют свое сопротивление. В данном случае используются пленочные тензорезисторы. Есть возможность измерения воздействия сосковых резин разных конфигураций, то есть сечений. При

повороте доильного стакана с треугольной резиной относительно датчика по вертикальной оси можно замерить воздействие плоской грани на точку (датчик) и угловой, чтобы понять какое воздействие воспринимает та или иная часть конца соска.

При сжатии сосковой резины *1* под воздействием разряжения происходит сжатие искусственного соска *2*, который при деформации так же деформирует и тензорезистор, что меняет его сопротивление. Через компенсационный мост Уинстона *3* сигнал приходит, конвертируется в АЦП *4* и приходит в измерительно-выводной комплекс на базе *Arduino 5* для вывода данных. На базе данного измерительного устройства можно выводить постройку графиков воздействия по времени или осциллограммы воздействий.

С помощью данного комплекса планируется произвести измерения силового воздействия резин разной конфигурации и различных физико-механических свойств (жесткость и особенности конструкции), таких как показаны на рисунке 6.

Две из этих резин невозможно точно испытать на приведенных существующих устройствах. Для этого и был разработан и собран лабораторный образец устройства с тензорезистерным блоком измерения, который позволяет проводить измерения в независимости от конфигурации сосковой резины. Для тарировки планируется производить точечную нагрузку грузиками и переводить программно величину в достоверное значение. Далее планируется произвести эксперимент со статической нагрузкой, когда есть постоянное разряжение в подсосковой камере. При положительном результате планируется изучение динамической нагрузки при имитации доения.

а *б* *в*

Рисунок 6 - Пример испытуемых резин: а – силиконовая круглого сечения; б – треугольная с инжектором и уплотненными гранями; в – клеверовидного сечения с переменной толщиной по граням.

Рассмотренные методики и устройства не предоставляют достоверных данных при измерении силовых воздействий резин нестандартных конфигураций. Было разработано устройство позволяющее определить силовую нагрузку любых видов резин на конец соска, так как имеет возможность воспринимать более точечную нагрузку, и в любом случае на соске животного

будет точка, воспринимающая такое воздействие. Для получения результатов необходимо запланировать ряд экспериментов по предложенным резинам в двух условиях вакуумного режима: постоянном вакууме и изменяющемся.

Список литературы

1. Устройство для определения давления сосковой резины на сосок животного Номер патента: SU 1009350 A A01J7.00 Автор Вишневский М.Н. 1983.
2. Искусственный сосок вымени Номер патента: 648173 A01J7.00 Авторы Побединский В.М., Закутский С.М. 1979.
3. Прибор для определения давления сосковой резины доильного стакана на сосок животного Номер патента: 327904 A01J7.00 Авторы Галаов К.К., Юрин А.Ф. 1972.
4. Исраилжанов С., Аверкиев А. Зависимость молокоотдачи от интенсивности и длительности стимуляции молочной железы./ С. Исраилжанов, А. Аверкиев// Материалы 4-го Всесоюзного симпозиума по физиологическим основам машинного доения. Алма-Ата, 1975. – С.100.
5. Технологические аспекты подбора и эксплуатации доильного оборудования, В.М. Побединский, Кишинев-1992
6. Тренажеры, стенды и муляжи для биотехнической системы, Л.П. Карташов, С.А. Соловьев. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. ISBN 5-7691-1586-
7. Винников И.К., Забродина О.Б., Кормановский Л.П. Технологии, системы и установки для комплексной механизации и автоматизации доения коров. Под ред. Л.П. Кормановского. – 2001. – 354 с.
8. Кирсанов В.В., Мурусидзе Д.Н., Некрашевич В.Ф., Шевцов В.В., Филонов Р.Ф. Механизация и технология животноводства. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 585 с.
9. Кирсанов, В. В. Результаты обработки экспериментальных данных с роботов доения по четвертям вымени /В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, А. А. Цимбал//Инновации в сельском хозяйстве. -2015. -№ 4 (14). -С. 122-128.
10. Цой, Ю.А. Разработка счетчика индивидуальных надоев молока, удовлетворяющего требованиям международной организации ICAR/Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов, Д.Ю. Павкин//Техника и оборудование для села. -2015. -№ 7. -С. 21-23.
11. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. В сборнике: ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ. Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства, 2017, С. 333-343.
12. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Ежевский А.А., Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Артюшин А.А., Лобачевский Я.П., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Бабченко В.Д., Бейлис В.М., Голубкович А.В., Гришин А.П., Евтюшенков Н.Е., Жалнин Э.В., Жук А.Ф., Колесникова В.А., Левина Н.С., Личман Г.И., Марченко Н.М. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Москва, 2012. Том 2 Животноводство

References

1. Ustrojstvo dlya opredeleniya davleniya soskovoj reziny na sosok zhivotnogo [Device for determining the pressure of the nipple rubber on the nipple of the animal] No. patent: SU 1009350 A A01J7.00 Avtor Vishnevskij M.N. 1983.
2. Iskusstvennyj sosok vymeni [Udder Artificial Nipple] No. patent: 648173 A01J7.00 Avtory Pobedinskij V.M., Zakutskij S.M. 1979.

3. Pribor dlya opredeleniya davleniya soskovoj reziny doil'nogo stakana na sosok zhivotnogo [A device for determining the pressure of the nipple rubber of the teat cup on the nipple of the animal] No. patent: 327904 A01J7.00 Avtory Galaov K.K., YUrin A.F. 1972.

4. Israilzhanov S., Averkiev A. Zavisimost' molokootdachi ot intensivnosti i dlitel'nosti stimulyacii molochnoj zhelezy [The dependence of milk on the intensity and duration of stimulation of the breast]./ S. Israilzhanov, A. Averkiev// Materialy 4-go Vsesoyuznogo simpoziuma po fiziologicheskim osnovam mashinnogo doeniya. Alma-Ata, 1975. – S.100.

5. Tekhnologicheskie aspekty podbora i ehkspluatacii doil'nogo oborudovaniya [Technological aspects of the selection and operation of milking equipment], V.M. Pobedinskij, Kishinev-1992

6. Trenazhery, stendy i mulyazhi dlya biotekhnicheskoj sistemy [Simulators, stands and models for the biotechnical system], L.P. Kartashov, S.A. Solov'ev. Ekaterinburg: UrO RAN, 2005. ISBN 5-7691-1586-

7. Vinnikov I.K., Zabrodina O.B., Kormanovskij L.P. Tekhnologii, sistemy i ustanovki dlya kompleksnoj mekhanizacii i avtomatizacii doeniya korov [Technologies, systems and installations for complex mechanization and automation of milking cows]. Pod red. L.P. Kormanovskogo. – 2001. – 354 p.

8. Kirsanov V.V., Murusidze D.N., Nekrashevich V.F., SHevcov V.V., Filonov R.F. Mekhanizaciya i tekhnologiya zhivotnovodstva [Mechanization and technology of animal husbandry]. – M.: INFRA-M, 2016. – 585 p.

9. Kirsanov, V. V. Rezul'taty obrabotki ehksperimental'nyh dannyh s robotov doeniya po chetvertyam vymeni [The results of processing experimental data from milking robots by quarters of the udder] /V. V. Kirsanov, D. YU. Pavkin, A. A. Cimbal//Innovacii v sel'skom hozyajstve. -2015. -No. 4 (14). -pp. 122-128.

10. Coj, YU.A. Razrabotka schetchika individual'nyh nadoev moloka, udovletvoryayushchego trebovaniyam mezhdunarodnoj organizacii ICAR [Development of an individual milk yield meter meeting the requirements of the international organization ICAR]/YU.A. Coj, V.V. Kirsanov, D.YU. Pavkin//Tekhnika i oborudovanie dlya sela. -2015. -No. 7. -pp. 21-23.

11. Lobachevskij YA.P., Dorohov A.S. Perspektivnye nauchno-tekhnicheskie proekty v sfere mekhanizacii i robotizacii sel'skogo hozyajstva. V sbornike: FORMIROVANIE EDINOGO NAUCHNO-TEKHNOLOGICHESKOGO PROSTRANSTVA SOYUZNOGO GOSUDARSTVA: PROBLEMY, PERSPEKTIVY, INNOVACII. Materialy postoyanno dejstvuyushchego seminara pri Parlamentskom Sobranii Soyuza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva [Promising scientific and technical projects in the field of mechanization and robotization of agriculture. In the collection: FORMATION OF THE UNIFIED SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SPACE OF THE UNION STATE: PROBLEMS, PROSPECTS, INNOVATIONS. Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State], 2017. pp. 333-343.

12. Lachuga YU.F., Gorbachev I.V., Ezhevskij A.A., Izmajlov A.YU., Elizarov V.P., Artyushin A.A., Lobachevskij YA.P., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Bejlis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtyushenkov N.E., ZHalnin EH.V., ZHuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M. i dr. Sistema mashin i tekhnologij dlya kompleksnoj mekhanizacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [The system of machines and technologies for the integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. Moskva, 2012. Tom 2 ZHivotnovodstvo

УДК 636.32/38

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАЖИМНОГО АППАРАТА СТРИГАЛЬНОЙ МАШИНКИ

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE PRESSURE APPARATUS OF SHEARING MACHINES

***А.Н. РУСАКОВ**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,*
***М.С. ТУРГЕНБАЕВ**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией,*
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия
***A.N. RUSAKOV**, candidate of technical Sciences, senior researcher, **M.S. TURGENBAEV**, candidate of technical Sciences, head of laboratory, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В настоящей работе обоснованы параметры усовершенствованного нажимного аппарата стригальной машинки. Сопоставлены два устройства: наклонный нажимной механизм и вертикальный, что обусловлено повышением эффективности и надёжности процесса стрижки овец. Дана оценка показателей равномерности и усилий прижатия ножа к гребёнке. Выявлено, что вертикальный нажимной механизм для передачи одинакового давления на нож посредством нажимной гайки через коленчатый упорный стержень тратит на 13,5 % меньше усилий, чем наклонный. Исходя из этого, облегчается труд стригаля, а создаваемая трёхкратная равномерность прижатия ножа к гребёнке снижает давление на все трущиеся кинематические пары, повышая его надёжность и долговечность. Рекомендованы значения степени неравномерности прижатия ножа к гребёнке в пределах **δ** = 0,25 - 0,28.*

***Ключевые слова**: стригальная машинка, наклонный и вертикальный нажимной аппарат, усилия и равномерность прижатия, надёжность, нож, гребёнка.*

***Abstract**. In the present work substantiates the parameters of the improved pressure plate of the apparatus of shearing machines. We compared two devices: inclined pressure plate mechanism and the vertical, due to the increase of efficiency and reliability to the process of shearing sheep. The estimation of the parameters of uniformity and the efforts of the pressing of the knife to the comb. It is revealed that vertical push mechanism to transmit the same pressure on the knife with a press nut through the crank thrust rod spends 13.5% less effort than sloping. On this basis, facilitates the work of a sheep Shearer, and created a three-fold uniformity of pressing of the knife to the comb reduces pressure on the friction of kinematic pairs, increasing its reliability and durability. Recommended values of the degree of the uneven pressing of the knife to the comb within **δ** = 0,25 - 0,28.*

***Keywords**: shearing machine, inclined and vertical pressure plate apparatus, effort and uniformity of tightness, reliability, knife, comb.*

Для вынесения суждений о стригальной машинке, на основании её нажимного аппарата, нами обоснованы перспективы совершенствования технического состояния данного узла.

Работа имеет целью повысить эффективность стрижки овец путём правильного построения нажимного механизма стригальной машинки, выбора рациональных форм и размеров, исследуя усилия и равномерность прижатия

ножа к гребёнке. Приведён цифровой и графический материал, полученный в результате проведенных авторами ФГБНУ ФНАЦ ВИМ исследований нажимного механизма.

В стригальных машинках с наклонным нажимным механизмом нормальная работа возможна тогда, когда нож прижат к гребёнке равномерно на протяжении всего его хода. Это условие обеспечивается лишь в том случае, если верхняя головка нажимного стержня «а» и шаровая головка центра вращения «d» рычага лежат на одной оси I-I, перпендикулярной плоскости гребёнки. При эксплуатации машинки, из-за переточек ножа и износа шарнирных соединений, это условие нарушается (точка «а» смещается в положение «a_1» на оси II-II), создаётся неравномерность прижатия ножа к гребёнке, что нарушает технологический процесс резания шерсти (шерсть мнётся, а не режется), усиливаются износы кинематических пар (Рис. 1 а).

В конструкции машинки с вертикальным нажимным механизмом (авторское свидетельство № 1279818), равномерность прижатия ножа к гребёнке достигается тем, что нажимной стержень имеет коленчатую форму. В этом случае верхняя головка коленчатого стержня «а» и центр вращения «d» всегда лежат на одной оси I-I, перпендикулярной плоскости гребёнки в соответствии с (Рис. 1 б).

Рисунок 1 - Схема наклонного (а) и вертикального (б) нажимных механизмов машинки

Результаты лабораторных исследований, определения неравномерности прижатия ножа к гребенке с помощью тензорычагов, с приложением усилий в 50 Н, 100 Н и 150 Н показали следующие результаты.

При электромеханическом приводе, было выявлено, что величина неравномерности прижатия ножа (высотой 2,5 мм) к гребенке в машинке с вертикальным нажимным механизмом в границах создаваемых усилий, составляет в среднем не более 40 Н (разница между максимальными и минимальными усилиями). В машинке с наклонным нажимным механизмом - 135,5 Н, т.е. в 3 раза больше.

Неравномерность прижатия ножа к гребёнке можно охарактеризовать степенью неравномерности **δ**:

$$\delta = \frac{P_{мак} - P_{мин}}{P_{ср}}, \quad (1)$$

где $P_{мак}$ и $P_{мин}$ - максимальная и минимальная силы прижатия ножа к гребёнке, Н;

$P_{ср}$ – среднее арифметическое сил прижатия ножа к гребёнке, Н.

Степень неравномерности прижатия соответственно составили: для вертикального механизма $\boldsymbol{\delta} = 0{,}28$ и для наклонного механизма $\boldsymbol{\delta} = 0{,}88$. что позволило повысить эффективность стрижки овец за счёт увеличения времени между переточками режущих пар.

В наклонном нажимном механизме стержень стригальной машинки наклонён относительно плоскости гребёнки на 60°. Верхний его конец находится на оси I-I, проходящей через точку вращения рычага, а нижний упирается в подпятник на рычаге.

Прижатие ножа к гребёнке осуществляется нажимной гайкой с резьбой и передаётся через упорный стержень на рычаг.

Исследователем В. А. Зябловым в своё время была установлена зависимость силы прижатия ножа к гребенке, от силы, создаваемой наклонным нажимным механизмом и от положения опор рычага.

Расчёт устройства стригальной машинки с наклонным нажимным механизмом сводится к следующему: сила P, направленная по оси нажимного стержня, может быть разложена на составляющую P_1 перпендикулярную плоскости гребёнки и горизонтальную P_2, которая, будучи параллельна плоскости гребёнки, не влияет на прижатие ножа, т.к. погашается противодействием шарнира рычага (Рис. 2).

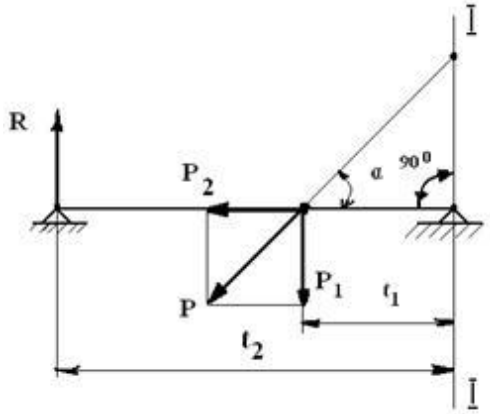


Рисунок 2 - Схема распределения сил наклонного нажимного механизма машинки

Если известна реактивная сила R, равная необходимой для среза силе прижатия ножа к гребёнке, то направленное по оси нажимного стержня усилие P определяется из следующего равенства:

$$P = \frac{R\ell_2}{\ell_1 \sin a}\ , \qquad (2)$$

где P – сила направленная по оси стержня, Н;

R – сила прижатия ножа к гребёнке, 200 Н (для расчётов);

ℓ_1 и ℓ_2 расстояние от центра вращения рычага до точки упора нижней головки стержня и до упора нажимных лапок на нож, равное 32 мм и 78 мм;

α – угол наклона стержня нажимного к плоскости гребёнки, 60°.

Эффективность нажимного механизма зависит от соотношения сил P/R, в нашем расчёте при максимальном значение R принятой равной 200 Н сила P составит 563 Н, а соотношение P/R равно 2,82.

Для сравнения рассмотрим вертикальный нажимной механизм (Рис. 3).

В этой конструкции направление усилия P перпендикулярно гребёнке и параллельно R. Из равенства моментов относительно центра вращения рычага следует, что давление P коленчатого нажимного стержня на рычаг будет:

$$P = \frac{R\ell_2}{\ell_1}, \qquad (3)$$

Обозначения параметров в формулах (2) и (3) оставлены без изменения.

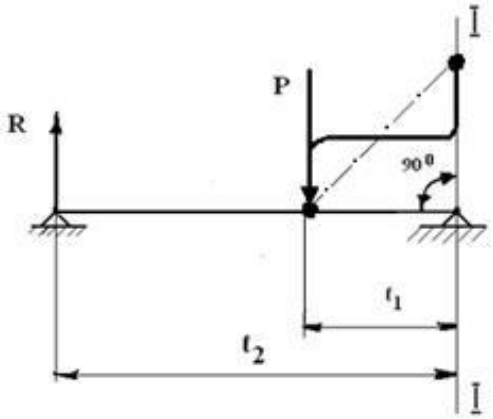


Рисунок 3 - Схема распределения сил вертикального нажимного механизма машинки

Величина усилия P создаваемая вертикальным нажимным механизмом выполненным в виде коленчатого нажимного стержня определяется по заданной величине реакции R равной 200 Н, тогда сила будет равна 487 Н, а соотношение P/R составит 2,43.

Совмещённый график изменения усилий P наклонного (1) и вертикального (2) нажимных механизмов по величинам нагрузки на нож с усилиями R равными 50, 100, 150 и 200 Н приведен на (Рис. 4).

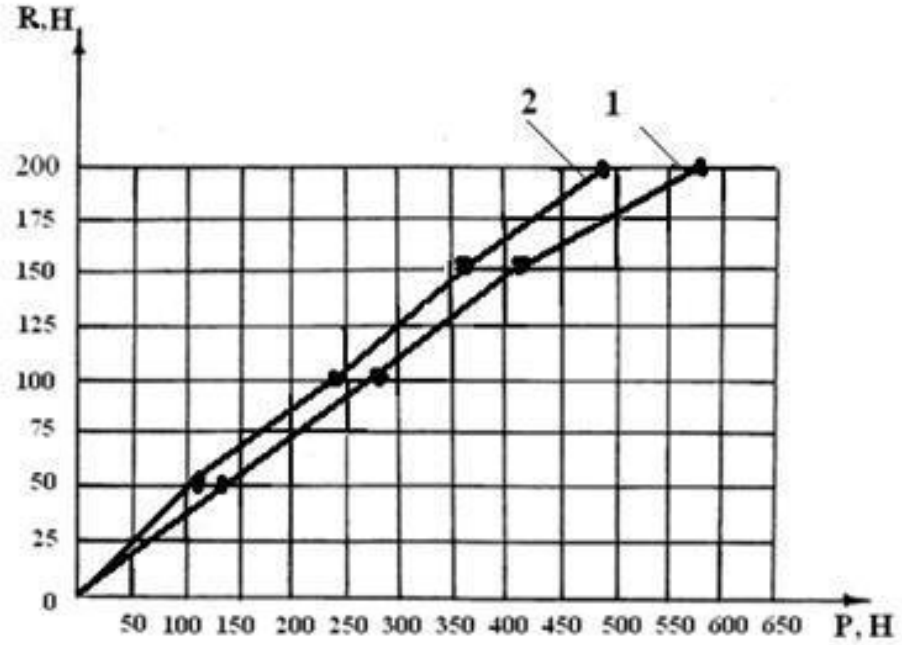


Рисунок 4 - Совмещённый график изменения сил, создаваемых наклонным (1) и вертикальным (2) нажимными механизмами

Как видно из графика эффективность вертикального нажимного механизма машинки на 13,5% выше: для передачи одинакового давления на нож тратится меньше усилий на нажимном механизме, тем самым сокращается давление на все трущиеся кинематические пары конструкции. Главное, облегчается труд стригаля, снижается усилие, создаваемое кистью руки, при завинчивании нажимной гайки при работе.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать выводы:

1. Вертикальный нажимной механизм технически более рациональный, чем наклонный, так как для передачи одинакового давления на нож тратится меньше усилий, что снижает давление на все трущиеся кинематические пары, повышается его надёжность и долговечность.

2. Рекомендованы значения степени неравномерности прижатия ножа к гребёнке в машинке с вертикальным нажимным механизмом в пределах δ = 0,25 - 0,28, что позволяет повысить эффективность стрижки овец за счёт увеличения времени между переточками режущих пар в процессе стрижки.

Список литературы

1. Тургенбаев М. С., Русаков А. Н. Перспективные технологии и технические средства электромеханической стрижки овец // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. № 1 - 2. С. 36 - 44.

2. Русаков А. Н. Техническое обслуживание стригальных машинок в крестьянских фермерских хозяйствах // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 68 - 73.

3. Русаков А. Н., Тургенбаев М. С. Мониторинг режущего аппарата стригальных машинок для овец // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. № 4. С. 20 - 23.

4. Русаков А. Н., Суюнчалиев Р. С. К вопросу надёжности и эффективности импортных стригальных машинок для овец // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 123. С. 102 – 107.

5. Суюнчалиев Р. С., Тургенбаев М. С. Концепция совершенствования стригальных агрегатов с высокочастотным электроприводом // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 1 (22). С. 79 – 83.

6. Русаков А. Н., Герасимов В. С. Модернизированная стригальная машинка для овец // Сельский механизатор. 2014. № 5 (63). С. 26 - 27.

7. Русаков А. Н. Методика определения усилия прижатия ножа к гребёнке в стригальных машинках // В сборнике: Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы Международная научно-практическая конференция, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016». 2016. С. 99 – 102.

8. Фириченков В. Е., Мирзоянц Ю. А., Русаков А. Н. Закономерности изменения эффективности производства продукции овцеводства // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. №2 (22). С 178 – 185.

9. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Ежевский А.А., Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Артюшин А.А., Лобачевский Я.П., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Бабченко В.Д., Бейлис В.М., Голубкович А.В., Гришин А.П., Евтюшенков Н.Е., Жалнин Э.В., Жук А.Ф., Колесникова В.А., Левина Н.С., Личман Г.И., Марченко Н.М. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Москва, 2012. Том 2 Животноводство

References

1. Turgenbaev M. S., Rusakov A. N. Perspektivnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva ehlektromekhanicheskoj strizhki ovec // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont [Promising technologies and technical means of electromechanical sheep shearing // Agricultural machinery: maintenance and repair.]. 2018. No. 1 - 2. pp. 36 - 44.

2. Rusakov A. N. Tekhnicheskoe obsluzhivanie strigal'nyh mashinok v krest'yanskih fermerskih hozyajstvah [Maintenance of shearing machines in peasant farms] // Trudy GOSNITI. 2018. T. 130. pp. 68 - 73.

3. Rusakov A. N., Turgenbaev M. S. Monitoring rezhushchego apparata strigal'nyh mashinok dlya ovec [Sheep Shearing Machine Monitoring] // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2018. No. 4. pp. 20 - 23.

4. Rusakov A. N., Suyunchaliev R. S. K voprosu nadyozhnosti i ehffektivnosti importnyh strigal'nyh mashinok dlya ovec [On the issue of reliability and efficiency of imported shearing machines for sheep] // Trudy GOSNITI. 2016. T. 123. pp. 102 – 107.

5. Suyunchaliev R. S., Turgenbaev M. S. Koncepciya sovershenstvovaniya strigal'nyh agregatov s vysokochastotnym ehlektroprivodom [The concept of improving shearing units with high-frequency electric drive] // Vestnik VIEHSKH. 2016. No. 1 (22). pp. 79 – 83.

6. Rusakov A. N., Gerasimov V. S. Modernizirovannaya strigal'naya mashinka dlya ovec [Upgraded sheep shearing machine] // Sel'skij mekhanizator. 2014. No. 5 (63). pp. 26 - 27.

7. Rusakov A. N. Metodika opredeleniya usiliya prizhatiya nozha k grebyonke v strigal'nyh mashinkah [Method of determining the force of pressing the knife to the comb in shearing machines] // V sbornike: Nauchno-tekhnicheskij progress v APK: problemy i perspektivy Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, v ramkah XVIII Mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki «Agrouniversal – 2016». 2016. pp. 99 – 102.

8. Firichenkov V. E., Mirzoyanc YU. A., Rusakov A. N. Zakonomernosti izmeneniya ehffektivnosti proizvodstva produkcii ovcevodstva [Patterns of change in the efficiency of production of sheep] // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. 2016. No.2 (22). pp 178 – 185.

9. Lachuga YU.F., Gorbachev I.V., Ezhevskij A.A., Izmajlov A.YU., Elizarov V.P., Artyushin A.A., Lobachevskij YA.P., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Bejlis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtyushenkov N.E., ZHalnin EH.V., ZHuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M. i dr. Sistema mashin i tekhnologij dlya kompleksnoj mekhanizacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva na period do

2020 goda [The system of machines and technologies for the integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. Moskva, 2012. vol 2 ZHivotnovodstvo

УДК 631.363

ТИПЫ ДОЗАТОРОВ-СМЕСИТЕЛЕЙ КОРМОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

TYPES OF DOSING-MIXERS APPLIED IN ANIMAL HUSBANDRY

***И.А. СЕИДОВА, Х.К. АХМЕДОВА**, ведущий специалист, Научно – Исследовательский Институт "АГРОМЕХАНИКА", Азербайджан*

***I.A. SEIDOVA, H.K. AHMEDOVA**, leading specialist, Scientific – Research Institute "AGROMEKHANIKA", Azerbaijan*

***Аннотация**. Рациональный состав корма зависит от вида животных, их возраста, цели кормления, поэтому сбалансированные корма готовят в виде смеси компонентов. Конечным продуктом, подготовленным для скармливания животным, может быть кормосмесь, влажная мешанка, гранулы или экструдированный корм, но в любом случае определяющими процессами, обеспечивающими заданное соотношение компонентов и их однородное распределение во всём объёме приготовленного корма, являются процессы дозирования и смешивания.*

***Ключевые слова**: дозирование, смешивание, классификация, мешалка, кормосмесь.*

***Abstract**. The rational composition of the feed depends on the type of the animal, their age and nutritional purpose, so it is prepared as a mixture of balanced feed components. The final product for feeding animals can be mixed feed, wet mixed feed, granules or extruder feed, but in any case, dosing and mixing processes are main processes that provides the proportion of the components and distribution of the same volume to the whole volume of the prepared feed.*

***Keywords**: dosing, mixing, classification, mixer, mixed feed.*

С ростом количества фермерских хозяйств появилась потребность в маломощном оборудовании для механизации производственных процессов отрасли животноводства [11]. Больше половины затрат в животноводстве приходится на корма, к тому же наибольший экономический эффект можно достичь кормлением сельскохозяйственных животных сбалансированными по питательным веществам кормами. Рациональный состав корма зависит от вида животных, их возраста, цели кормления, поэтому сбалансированные корма готовят в виде смеси компонентов. Конечным продуктом, подготовленным для скармливания животным, может быть кормосмесь, влажная мешанка, гранулы или экструдированный корм, но в любом случае определяющими процессами, обеспечивающими заданное соотношение компонентов и их однородное распределение во всём объёме приготовленного корма, являются процессы дозирования и смешивания [12].

Целью исследования является определение приоритетного направления в совершенствовании процессов дозирования и смешивания сыпучих компонентов кормовых смесей.

Проведен сравнительный анализ устройств, выполняющих процессы дозирования и смешивания; разработана классификация данных устройств, выделены и указаны предпочтительные параметры предлагаемого устройства.

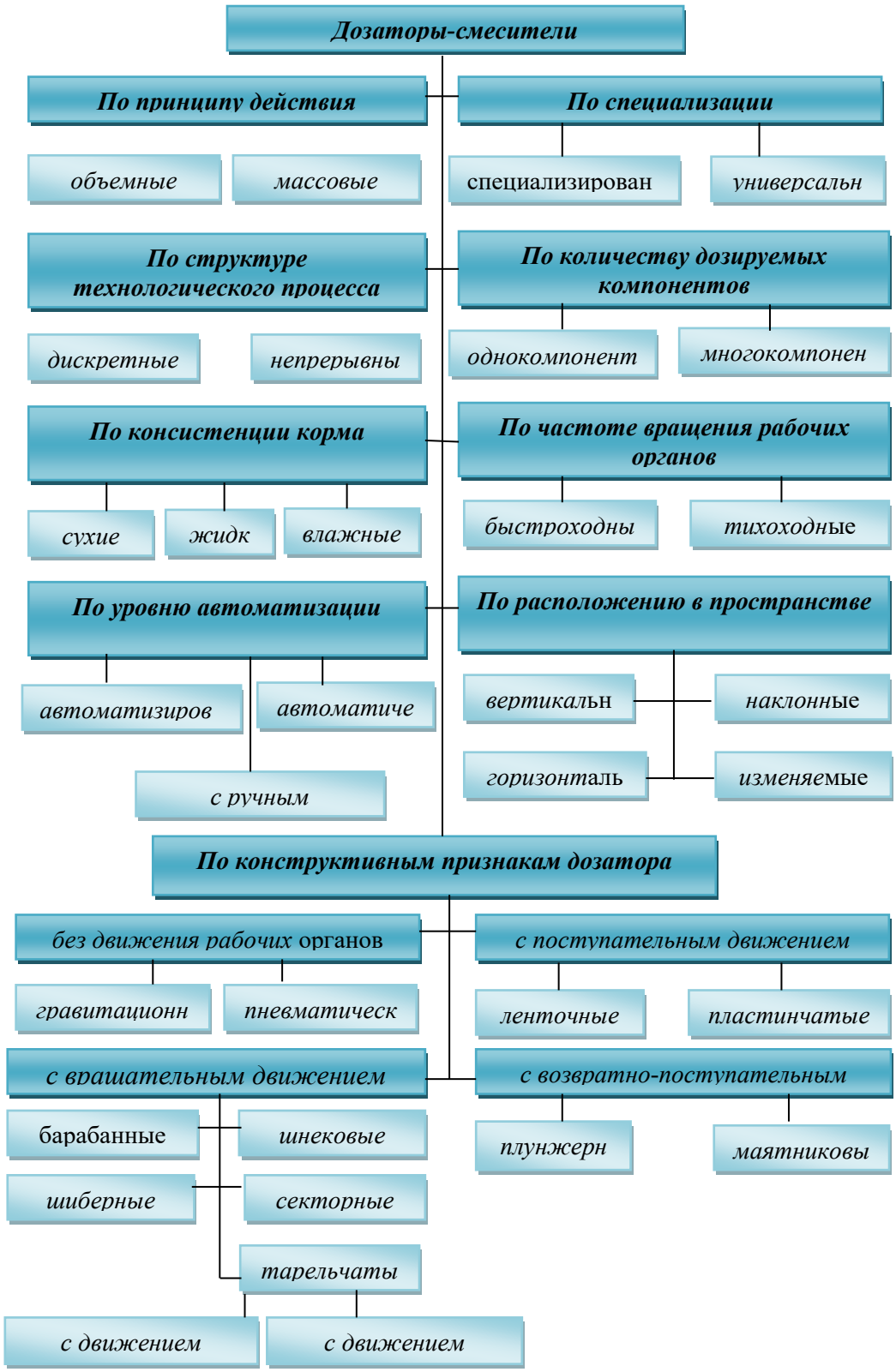


Рисунок 1 – Анализ дозаторов-смесителей

При приготовлении смесей компонентов, основным оборудованием являются дозаторы и смесители. Объединение двух операций – дозирование и смешивание в одном устройстве позволит получить комбинированную установку для приготовления кормосмесей. Дозаторы-смесители по принципу

работы подразделяются на объемные и массовые (Рис.). При использовании первого способа дозы мерят по объему, а при использовании второго – по массе. В объемных дозаторах важным параметром, влияющим на точность дозирования компонента, является его плотность. Необходимо добиваться стабильности плотностей компонентов во время работы устройства. По структуре технологического процесса делятся на дискретное и непрерывного действия. При дискретном смешивании можно обеспечить точное соотношение между компонентами (их часто загружают в смеситель по массе). Недостатком таких устройств является большая энергоёмкость смесеобразования и длительное время смешивания.

Проведем сравнение смесителей дискретного и непрерывного действия, отметив их особенности, преимущества и недостатки.

Смесители дискретного действия. Время цикла состоит из трех частей (периодов): загрузки емкости смесителя, смешивания и выгрузки готовой смеси.

Время процесса смешивания разделяют на три этапа: 1 – перемещение рабочими органами смесителя группы смежных частиц материала из одного места смесительной емкости в другое; 2 – постепенное перераспределение частиц различных компонентов через свежеобразованную границу их раздела (процесс протекает на уровне микрообъемов); 3 – сосредоточение частиц одинаковой массы в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных или инерционных сил (процесс сегрегации) [1, 2, 3, 4].

Последний процесс по своему действию противоположен первым двум, оно ухудшает однородность смеси и по возможности должен быть исключен.

Перемещение отдельных частиц корма лопастями мешалки, сопровождается работой сил внутреннего трения слоев корма. Часть корма не сразу попадая в нужное для равномерного распределения компонентов место, перемещается в большей мере, чем необходимо для равномерного распределения компонентов в объеме смеси. Это движение также приводит к такому нежелательному нарушению целостности отдельных частиц корма, как к нагреванию смеси, что подтверждается изменением модуля помола и повышением температуры смеси [5,6,7, 8].

Таким образом, смеситель дискретного действия способен выполнять смешивание компонентов кормовой смеси с высокой точностью дозирования и равномерностью смешивания компонентов, отвечающим зоотехническим требованиям. Но оно имеет существенные недостатки. К недостаткам следует отнести наличие непродуктивного времени (время загрузки и выгрузки), повышенный расход энергии за счет лишнего перемещения части корма внутри смесительной камеры.

Смеситель непрерывного действия. Смеситель непрерывного действия с таким же по массе смесителем дискретного действия имеет большую производительность, так как эффективнее используется время его работы: процессы загрузки и выгрузки смеси выполняются одновременно с основным процессом – смешиванием.

Время смешивания у смесителей непрерывного действия, как и у смесителя дискретного действия, можно разделить на этапы, но их продолжительность, особенно этапа загрузки компонентов смеси и выгрузки готовой смеси, существенно меньше из-за относительно малых порций компонентов, участвующих в смешивании. Дозаторы и смесители непрерывного принципа действия имеют общий признак – непрерывность процесса, что создает предпосылки и возможность создания комбинированных устройств – дозаторов-смесителей. Так что далее нас будет интересовать не отдельные дозаторы или смесители, а комбинированные устройства – дозаторы-смесители.

По специализации дозаторы-смесители бывают специализированные и универсальные. По мобильности делятся на стационарные и мобильные. По расположению в пространстве подразделяются на вертикальные, горизонтальные, наклонные и изменяемые. По частоте вращения рабочих органов бывают быстроходные и тихоходные. Также в дозаторах-смесителях могут осуществляться и другие операций, такие как: измельчение, термообработка, увлажнение. По консистенции приготавливаемых кормов делятся на сухие, влажные и жидкие. По уровню автоматизации подразделяются на автоматические, автоматизированные и с ручным управлением. По способу смешивания: механическое, циркуляционное, капиллярное, взаимодействие потоков [9, 10].

Наиболее обширной является классификация по конструктивным признакам. Одной из самых существенных является классификация по виду движения и типу рабочих органов характеристика которых приведена ниже.

К устройствам без движения рабочих органов относятся гравитационные и пневматические дозаторы. С поступательным движением – ленточные, пластинчатые. Ленточные дозаторы используются для равномерной дозировки различных насыпных грузов. Производительность таких дозаторов зависит от скорости движения ленты и от толщины насыпного слоя. Пластинчатые дозаторы применяются для равномерной подачи крупнокусковых грузов. Большое распространение получили дозаторы с вращательным движением рабочих органов (тарельчатые, шнековые, лопастные, барабанные, шиберные, секторные). Тарельчатые дозаторы используют при дозировании сыпучих и плохосыпучих материалов, с насыпной плотностью 2,5 $т/м^3$. Преимуществом дозатора является возможность одновременного дозирования нескольких компонентов, имеются большие резервы для совершенствования. Производительность зависит от количества и размеров скребков, а также от их частоты вращения. Шнековые дозаторы обеспечивают равномерную подачу зернистых, пылевидных и мелкокусковых плохосыпучих насыпных грузов, объем подачи материала зависит от шага и частоты вращения шнека. Точность дозирования лопастных и роторных дозаторов находится на высоком уровне, применяют для равномерной подачи мелкофракционных материалов. Основная область применения барабанных дозаторов – дозирование зернистых материалов, преимуществом является компактность, простота конструкций и

высокая производительность, основной недостаток – зависимость производительности от физико-механических свойств дозируемых продуктов, для дозирования крупнокусковых грузов поверхность барабана выполняют ребристой. Шиберные дозаторы по структуре технологического процесса являются устройствами непрерывно-циклического действия, заслонка (шибер) с расчетной частотой перекрывает и открывает продуктопровод, тем самым формируя необходимое количество продукта. Секторные дозаторы применяют для дозирования сыпучих, кусковых и гранулированных материалов, преимуществом являются низкая стоимость, простота конструкций, недостаток – малая точность дозирования.

Плунжерные и маятниковые дозаторы являются устройствами с возвратно-поступательным движением рабочих органов, плунжерные применяют для дозирования пастообразных материалов, а маятниковые для легкосыпучих продуктов. К устройствам колебательного рода движения относятся вибрационные дозаторы. Преимуществом таких дозаторов считается малые габариты, надежность работы, недостаток – низкая точность дозирования.

Проведенный анализ дозаторов и смесителей позволил обнаружить основные преимущества и недостатки существующих устройств для приготовления кормосмесей. В приведенной классификации дозаторов-смесителей (Рис.) в каждом признаке выделены предпочтительные параметры предлагаемого устройства. По ряду признаков выбор параметров ограничен и определен назначением и свойствами разрабатываемого дозатора-смесителя сухих кормосмесей. Оптимальным выглядит присутствие в одном устройстве тарельчатого дозатора непрерывного действия и гравитационно-лопастного смесителя.

Список литературы

1. Пат. 2398622 Российская Федерация, МПК7 B 01 F 7/04. Способ приготовления смеси сыпучих материалов и установка для его осуществления / В. Ф. Першин, О. В. Дёмин, И. А. Комарова ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО«Тамбовский государственный технический университет». – Заявл. 11.01.2009 ;опубл. 10.09.2010, Бюл. №25. – 10 с.: ил.

2. Пат. 2490601 Российская Федерация, МПК6 B G 01 F 11/00. Дозатор- смеситель / Н.В. Фролов, Г.С. Мальцев, В.С Мальцев [и др.]. – №2012100602/28; заявл. 10.01.2012; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23.-10 с.

3. Морозов Н.М., Хусаинов И.И. Направления развития инновационной техники для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2012. № 1 (5). С. 80-88.

4. Фролов В.Ю., Припоров И.Е., СысоевД.П. Классификация технических средств для приготовления и раздачи кормовых смесей на малых фермах КРС. Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 114. с. 510-522.

5. Чупшев, А. В. К обоснованию параметров быстроходного смесителя /А. В. Чупшев, В. В. Коновалов, В. П. Терюшков, С. С. Петрова // Известия Самарской ГСХА. – Вып. 3. – Самара : СГСХА, 2008. – С. 151-154.

6. Марченко А.Ю. Механико-технологическое обоснование процесса смешивания концентрированных кормов цилиндрическими винтовыми барабанами: монография / А. Ю. Марченко, Г. В. Серга, В. Ю. Фролов, Д. П. Сысоев. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 112 с.

7. Фролов В. Ю. Теоретические и экспериментальные аспекты разработки технологий и технических средств, приготовления концентрированных кормов на основе соевого белка: монография / В. Ю. Фролов. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 140 с.

8. Фролов В.Ю., Сысоев Д.П., Класнер Г.Г. Аналитические аспекты приготовления высокобелковых кормов. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 99. С. 395-406.

9. Бурмага А.В., Доценко С.М. Усовершенствованный критерий и схема механизированной системы кормления животных. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 140.

10. Фролов В.Ю., Сысоев Д.П., Брусенцова О.Л. Классификация режущих аппаратов. Сельский механизатор. 2013. № 1 (47). С. 12-13.

11. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Ежевский А.А., Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Артюшин А.А., Лобачевский Я.П., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Бабченко В.Д., Бейлис В.М., Голубкович А.В., Гришин А.П., Евтюшенков Н.Е., Жалнин Э.В., Жук А.Ф., Колесникова В.А., Левина Н.С., Личман Г.И., Марченко Н.М. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Москва, 2012. Том 2 Животноводство

12. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Марченко О.С., Ценч Ю.С. Создание инновационной техники и ресурсосберегающих технологий производства кормов - основа развития животноводства // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2017. № 6 (82). С. 23-28.

References

1. Pat. 2398622 Rossijskaya Federaciya, MPK7 B 01 F 7/04. Sposob prigotovleniya smesi sypuchih materialov i ustanovka dlya ego osushchestvleniya [Patent No. 2398622 Russian Federation, MPK7 B 01 F 7/04. The method of preparation of the mixture of bulk materials and installation for its implementation] / V. F. Pershin, O. V. Dyomin, I. A. Komarova ; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO«Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet». – Zayavl. 11.01.2009 ;opubl. 10.09.2010, Byul. No.25. – 10 p.: il.

2. Pat. 2490601 Rossijskaya Federaciya, MPK6 V G 01 F 11/00. Dozator- smesitel' [Patent No. 2490601 Russian Federation, MPK6 B G 01 F 11/00. Batcher-mixer] / N.V. Frolov, G.S. Mal'cev, V.S Mal'cev [i dr.]. – No.2012100602/28; zayavl. 10.01.2012; opubl. 20.08.2013, Byul. No. 23.-10 p.

3. Morozov N.M., Husainov I.I. Napravleniya razvitiya innovacionnoj tekhniki dlya prigotovleniya i razdachi kormov na fermah krupnogo rogatogo skota. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva [Directions of development of innovative technology for the preparation and distribution of feed on cattle farms. Bulletin of the All-Russian Research Institute of livestock mechanization.]. 2012. No. 1 (5). pp. 80-88.

4. Frolov V.YU., Priporov I.E., SysoevD.P.Klassifikaciya tekhnicheskih sredstv dlya prigotovleniya i razdachi kormovyh smesej na malyh fermah KRS.Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Classification of technical means for the preparation and distribution of feed mixtures on small cattle farms. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]. 2015. No. 114. p. 510-522.

5. CHupshev, A. V. K obosnovaniyu parametrov bystrohodnogo smesitelya [To the substantiation of the parameters of the high-speed mixer] /A. V. CHupshev, V. V. Konovalov, V. P. Teryushkov, S. S. Petrova // Izvestiya Samarskoj GSKHA. – Vyp. 3. – Samara : SGSKHA, 2008. – pp. 151-154.

6. Marchenko A.YU. Mekhaniko-tekhnologicheskoe obosnovanie processa smeshivaniya koncentrirovannyh kormov cilindricheskimi vintovymi barabanami: monografiya [Mechanical and technological substantiation of the process of mixing concentrated feed by cylindrical helix drums: monograph] / A. YU. Marchenko, G. V. Serga, V. YU. Frolov, D. P. Sysoev. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – 112 p.

7. Frolov V. YU. Teoreticheskie i ehksperimental'nye aspekty razrabotki tekhnologij i tekhnicheskih sredstv, prigotovleniya koncentrirovannyh kormov na osnove soevogo belka: monografiya [Theoretical and experimental aspects of the development of technologies and technical means, the preparation of concentrated feed based on soy protein: a monograph] / V. YU. Frolov. – Krasnodar: KubGAU, 2010. – 140 p.

8. Frolov V.YU., Sysoev D.P., Klasner G.G. Analiticheskie aspekty prigotov-leniya vysokobelkovyh kormov. Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhur- nal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Analytical aspects of the preparation of high-protein feed. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]. 2014. No. 99. pp. 395-406.

9. Burmaga A.V., Docenko S.M. Usovershenstvovannyj kriterij i skhema mekhanizirovannoj sistemy kormleniya zhivotnyh. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [An improved criterion and scheme of the mechanized animal feeding system. Modern problems of science and education.]. 2014. No. 3. p. 140.

10. Frolov V.YU., Sysoev D.P., Brusencova O.L. Klassifikaciya rezhushchih apparatov. Sel'skij mekhanizator [Classification of cutting apparatus. Country Mechanic]. 2013. No. 1 (47). pp. 12-13.

11. Lachuga YU.F., Gorbachev I.V., Ezhevskij A.A., Izmajlov A.YU., Elizarov V.P., Artyushin A.A., Lobachevskij YA.P., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Bejlis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtyushenkov N.E., ZHalnin EH.V., ZHuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M. i dr. Sistema mashin i tekhnologij dlya kompleksnoj mekhanizacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [The system of machines and technologies for the integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. Moskva, 2012. vol 2 ZHivotnovodstvo

12. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., Marchenko O.S., Cench YU.S. Sozdanie innovacionnoj tekhniki i resursosberegayushchih tekhnologij proizvodstva kormov - osnova razvitiya zhivotnovodstva [The creation of innovative equipment and resource-saving technologies for the production of feed is the basis for the development of animal husbandry] // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina. 2017. № 6 (82). S. 23-28.

УДК 631.316.272

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF DYNAMIC SOIL-CULTIVATING WORKING BODIES

Г.А. СЕМЕНОВА, *аспирант,* ***Н.И. ДЖАББОРОВ,*** *доктор техн. наук, проф., Федеральное бюджетное научное учреждение «Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства», Санкт-Петербург, Россия*

G.A. SEMENOVA*, graduate student,* ***N.I. DZHABBOROV****, doctor of tech. sci., Professor, Institute of Agroengineering and environmental problems of agricultural production, St. Petersburg, Russia*

Аннотация*.В статье приведены краткий анализ исследований по повышению эффективности технологии обработки почвы, показатели эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов, схема к определению степени влияния динамичного почвообрабатывающего рабочего органа с изменяемой геометрией на тяговое сопротивление и меру его рассеяния. Изложено краткое описание полезной модели - рабочего органа для рыхления почвы.*

Установлены рациональные значения конструктивных параметров, такие как максимальная высота вспушенного слоя почвы, минимальная высота стойки динамичного рабочего органа от опорной поверхности до нижней плоскости рамы, угол крошения и межследия рабочих органов, а также другие параметры.

Обоснованные рациональные параметры позволяют создать динамичные рабочие органы, обеспечивающие снижение влияния вероятностного характера нагрузки на энергетические параметры почвообрабатывающих агрегатов и тем самым улучшить их эксплуатационные качества при выполнении технологических процессов.

Ключевые слова*: обработка почвы, динамичные рабочие органы, конструктивные параметры, почвообрабатывающий агрегат.*

Abstract*. The article presents a brief analysis of studies to improve the efficiency of tillage technology, performance characteristics of tillage units, the scheme to determine the degree of influence of dynamic tillage working body with variable geometry on the traction resistance and the measure of its dispersion. A brief description of the utility model - the working body for loosening the soil.*

Rational values of design parameters, such as the maximum height of the soil layer, the minimum height of the rack of the dynamic working body from the support surface to the lower plane of the frame, the angle of crumbling and inter-trace of the working bodies, as well as other parameters are established.

Reasonable rational parameters allow us to create dynamic working bodies that reduce the impact of the probabilistic nature of the load on the energy parameters of tillage units and thereby improve their performance in the performance of technological processes.

Keywords*: soil treatment, dynamic working bodies, design parameters, tillage unit.*

Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов существенно влияют на энергоэффективность технологии обработки почвы.

Эксплуатационные качества МТА характеризуются их производительностью, топливной экономичностью и проходимостью (Рис. 1).

Рисунок 1- Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов

Эксплуатационные качества МТА зависят от конструкторско-технологических параметров рабочих органов, машин и динамических процессов, происходящих в процессе выполнения технологических процессов. Динамические процессы, происходящие в процессе работы почвообрабатывающих агрегатов на повышенных скоростных и нагрузочных режимах, имеют сложный характер и зависят от физико-механических характеристик почвы и других факторов.

Для повышения эффективности технологии обработки почвы и улучшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов необходимо создать новые динамичные почвообрабатывающие рабочие органы с улучшенными динамическими показателями, обеспечивающими высокое качество работы. Динамичные почвообрабатывающие рабочие органы могут легко адаптироваться к удельному сопротивлению почвы благодаря автоматическому изменению углов атаки и крошения, ширины захвата, а также площади фронтальной проекции при заданной глубине обработки почвы [1].

Расчеты показывают, что использование динамичных почвообрабатывающих рабочих органов позволяет уменьшить значение дисперсии тягового сопротивления на 10-20 %, повысить степень рыхления почвы на 10-15 % и снизить энергоемкость процесса обработки почвы в целом на 10-20 % по сравнению со стандартными рабочими органами.

Целью исследований является обоснование конструктивных параметров новых динамичных (адаптивных, автоматически настраивающихся к почвенным условиям) рабочих органов для поверхностной обработки почвы, обеспечивающих повышение тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов.

При проведении исследований применялись методы математического моделирования, основанные на изучении физических закономерностей, протекающих в процессе обработки почвы; анализ и обобщение экспериментальных данных.

Анализ исследований [2-4, 6-10, 12] показывает, что учеными разработаны различные методы улучшения тягово-динамических показателей МТА на основе совершенствования конструкции, обоснования рациональных

параметров и режимов их работы. Например, в работе [6] отмечена важность управления качеством обработки деформируемого слоя почвы с применением метода конечных элементов, приведены наиболее вероятные значения геометрических параметров зоны разрушения и степени рыхления почвенных фрагментов суглинистой почвы.

Вопрос поддержания заданной глубины обработки почвы обеспечением стабильности хода рабочих органов путем совершенствования их конструктивно-технологических параметров посвящена работа [7]. Для исключения нестабильности хода рабочих органов авторы работы [7] рекомендуют использовать на культиваторе КПС-4 двухъярусные стрельчатые лапы, состоящие из двух лемехов (верхней и нижней), закрепленные на одной стойке. Предложенная им стрельчатая лапа обеспечивает высокое качество крошения почвы и высокую стабильность глубины хода рабочих органов.

Для повышения эффективности обработки почвы различной твердости разработан пропашной культиватор с возможностью автоматической настройки стойки с разными рабочими органами для поддержания глубины обработки [8]. Предложенный [8] способ обеспечивает снижение тягового сопротивления на 30-35 % по сравнению с жестким вариантом крепления стоек. Совместными исследованиями ФНАЦ ВИМ и Брянского ГАУ [8] установлено, что изменение формы лемеха обеспечивает снижение энергоемкости обработки почвы. Установлено, что наивысший показатель степени заделки растительных остатков соответствует углу отбортовки лезвия лемеха 4^0, а наилучшее качество рыхления суглинистых почвы обеспечивается работой лемеха с углом отбортовки его лезвия 2° [8].

При обработке почвы различными рабочими органами на верхней рабочей поверхности клина и на нижней затылочной фаске лезвия образуется почвенный нарост [3, 10], что повышает затраты энергии на обработку почвы. Установлено, что рациональная заточка и повышение износостойкости лезвия, уменьшает энергозатраты на обработку почвы до 10 МДж на 1 га. Применение обтекаемых форм рабочих поверхностей может предотвратить появление зоны с почвенным наростом, что снижает тяговое сопротивление рабочего органа [10].

Известные методы, хотя и обеспечивают повышение эффективности обработки почвы, недостаточны для существенного улучшения тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов. На основе исследований работы рабочих органов и машин для обработки почвы нами предложен новый способ улучшения динамических показателей, на основе разработки и применения динамичных рабочих органов, то есть с изменяемой геометрией. При встрече динамичного почвообрабатывающего рабочего органа с твердым слоем почвы происходит автоматическое (мгновенное) уменьшение площади его фронтальной проекции в определенных ограниченных пределах, что позволяет ему с меньшим сопротивлением $\overline{P}_2$ (Рис. 2) проходить твердый слой по сравнению с сопротивлением $\overline{P}_1$ стандартных рабочих органов с постоянной площадью фронтальной проекции. Использование динамичных рабочих органов обеспечивает уменьшение среднего значения тягового

сопротивления от почвы $\overline{P}_1$ до $\overline{P}_2$, на величину $\Delta\overline{P} = \overline{P}_1 - \overline{P}_2$, среднего квадратического отклонения тягового сопротивления от σ_{P1} до σ_{P2}. При этом размах колебаний тягового сопротивления уменьшается от $\pm 3\sigma_{P1}$ до $\pm 3\sigma_{P2}$.

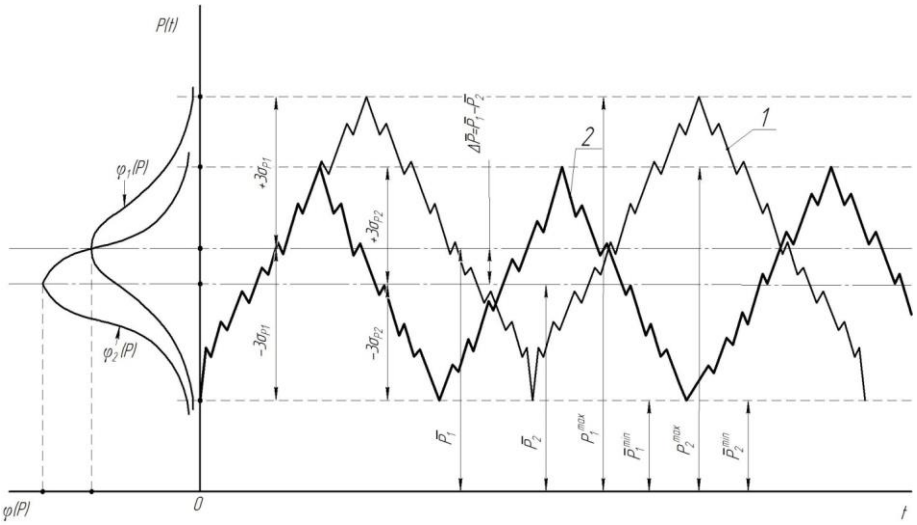


Рисунок 2 - Схема к определению степени влияния динамичного почвообрабатывающего рабочего органа на среднее значение и коэффициента вариации тягового сопротивления

Автоматическое кратковременное уменьшение площади фронтальной проекции в определенных пределах позволяет снизить коэффициент вариации ν_P тягового сопротивления рабочего органа и в целом почвообрабатывающей машины, а также среднеквадратического отклонения σ_P.

Нами разработан рабочий орган для рыхления почвы [5], который содержит стойку с долотом, жестко закрепленным на башмаке, с которым жестко связан демпфирующий элемент. На демпфирующем элементе жестко закреплены крылья стрельчатой лапы, которые разнесены друг относительно друга: одно крыло закреплено за башмаком, а другое - в конце демпфирующего элемента, выполненного в виде полосы из пружинной стали. Такая конструкция позволяет повысить надежность рабочего органа и снизить колебания тягового сопротивления при повышении качества обработки почвы при работе на почве различной плотности. Нами обоснованы основные конструктивные параметры динамичного рабочего органа. Минимальную высоту стойки динамичного рабочего органа от опорной поверхности до нижней плоскости рамы можно определить по формуле [2]:

$$H_c^{\min} = h_1 + h_2 + a, \qquad (1)$$

где h_1 – пространство между поверхностью вспушенной почвы и нижней плоскостью рамы; h_2 – максимальная высота вспушенного слоя почвы, мм; a – заданная максимальная глубина обработки, мм.

Максимальную высоту вспушенного слоя почвы можно подсчитать по формуле [2]:

$$h_2 = a/4. \qquad (2)$$

С учетом (1) и (2) высоту стойки динамичного рабочего органа для обработки почвы от опорной поверхности до нижней плоскости рамы можно найти по уравнению [2]:

$$H_c = \frac{4h_1 + 5a}{4}. \qquad (3)$$

Пространство между поверхностью вспушенной почвы и нижней части плоскостью рамы h_1 можно установить с таким расчетом, чтобы исключить забивание сорняками и сгруживание почвы. С учетом этого h_1 должен быть $h_1 \geq 300мм$. С учетом максимальной глубины обработки почвы для рабочего органа $a = 15см = 150мм$, максимальная высота вспушенного слоя почвы равна $h_2 = a/4 = 15/4 = 3{,}75см = 37{,}5мм$.

Минимальная высота стойки рабочего органа для обработки почвы от опорной поверхности до нижней плоскости рамы с учетом формулы (3) будет:

$$H_c = \frac{4h_1 + 5a}{4} = \frac{4 \cdot 300 + 5 \cdot 150}{4} = 487{,}5мм.$$

Максимальная высота стойки рабочих органов, с учетом конструкции основной рамы, составляет 800 мм. Для получения малых перекрытый целесообразно применение небольших значений угла 2γ, обеспечивающих работу рабочего органа без обволакивания, для этого значение 2γ должно варьировать в пределах $2\gamma = 60 - 65^o$ [2]. Здесь γ угол резания. Угол крошения α согласно многочисленным исследованиям [2-4] должен варьировать в пределах $\alpha = 20 - 30^o$.

Так, при двухрядном расположении межледия рабочих органов должен составлять $l_m = 240мм$. С учетом качества работы динамичных рабочих органов, исключающие огрехов максимальную и минимальную ширину захвата рабочего органа можно определить по формуле:

$$b_{\max}^{\text{ро}} = l_m + 2 \cdot b_{пер}^{мах}; \qquad b_{\min}^{\text{ро}} = l_m + 2 \cdot b_{\text{пер}}^{\text{мин}} \qquad (4)$$

где l_m – ширина межледия рабочих органов, мм; $b_{пер}^{мах}$ – максимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм; $b_{\text{пер}}^{\text{мин}}$ – минимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм. Максимальная и минимальная ширина захвата рабочего органа соответственно составляет 330мм и 260 мм. Длина и ширина долота: $l_{\text{дол}} = 150мм$; $b_{\text{дол}} = 60мм$. Максимальная длина рабочего органа $L_{\text{ро}}^{\text{о}} = 720мм$.

Для дальнейшего повышения эффективности технологических процессов обработки почвы, улучшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов целесообразно разработать новые динамичные почвообрабатывающие рабочие органы, обеспечивающие автоматическое изменение углов атаки и крошения, ширины захвата и площади фронтальной проекции в допустимых пределах. Обоснованы основные конструктивные параметры динамичных рабочих органов, обеспечивающих повышение эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов.

Список литературы

1. Джабборов Н.И., Федькин Д.С. Террадинамика почвообрабатывающих машин //Научный журнал «Молодой ученый, № 11 (91), 2015. – С. 311-315.

2. Труфанов В. В. Глубокое чизелевание почвы /ВАСХНИЛ, - М.: Агропромиздат, 1989. – 140 с.

3. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

4. Василенко П.М., Бабий П.Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). – Киев, Изд-во АН УССР, 1961. – 239 с.

5. Джабборов Н.И., Евсеева С.П., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы. Патент на полезную модель РФ № 169104. Заявка № 2016141036. Приоритет полезной модели 18 октября 2016. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 03 марта 2017 г.

6. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа /Сельскохозяйственные машины и технологии, № 5, 2016. С. 17-23.

7. Руденко Н.Е., Кайванов С.Д., Завялик Ф.Н. Инновационная стрельчатая почвообрабатывающая лапа /Сельскохозяйственные машины и технологии, № 6, 2016. С. 16-20.

8. Кудзаев А.Б., Уртаев Т.А. Адаптивный энергосберегающий культиватор для обработки каменистых почв /Сельскохозяйственные машины и технологии, № 2, 2015. С. 28-32.

9. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа /Сельскохозяйственные машины и технологии, № 5, 2015. С. 10-13.

10. Жук А.Ф. Влияние почвенного нароста на работу клина /Сельскохозяйственные машины и технологии, № 3, 2013. С. 24-29.

11. Шаров В.В., Лобачевский, Я.П. Прогноз использования почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2009. № 1-2. С. 41-43.

References

1. Dzhabborov N.I., Fed'kin D.S. Terradinamika pochvoobrabatyvayushchih mashin //Nauchnyj zhurnal «Molodoj uchenyj [Thermodynamics of tillage machines // Scientific journal "Young Scientist"], No. 11 (91), 2015. – pp. 311-315.

2. Trufanov V. V. Glubokoe chizelevanie pochvy [Deep soil chewing] /VASKHNIL, - M.: Agropromizdat, 1989. – 140 p.

3. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchih mashin [Theory and calculation of tillage machines]. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 328 p.

4. Vasilenko P.M., Babij P.T. Kul'tivatory (konstrukciya, teoriya i raschet) [Cultivators (construction, theory and calculation)]. – Kiev, Izd-vo AN USSR, 1961. – 239 p.

5. Dzhabborov N.I., Evseeva S.P., Semenova G.A. Rabochij organ dlya ryhleniya pochvy. Patent na poleznuyu model' RF [Working body for loosening the soil. Patent for useful model of the Russian Federation] No. 169104. Zayavka No. 2016141036. Prioritet poleznoj modeli 18 oktyabrya 2016. Zaregistrirovano v Gosudarstvennom reestre poleznyh modelej Rossijskoj Federacii 03 marta 2017.

6. Lobachevskij YA.P., Starovojtov S.I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty raboty ryhlitel'nogo rabochego organa [Theoretical and technological aspects of the work of loosening working body] /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 5, 2016. pp. 17-23.

7. Rudenko N.E., Kajvanov S.D., Zavyalik F.N. Innovacionnaya strel'chataya pochvoobrabatyvayushchaya lapa [Innovative lancet tillage] /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 6, 2016. pp. 16-20.

8. Kudzaev A.B., Urtaev T.A. Adaptivnyj ehnergosberegayushchij kul'tivator dlya obrabotki kamenistyh pochv [Adaptive energy-saving cultivator for stony soils] /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 2, 2015. pp. 28-32.

9. Lobachevskij YA.P., Starovojtov S.I., CHemisov N.N. EHnergeticheskaya i tekhnologicheskaya ocenka pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa [Energy and technological assessment of the soil-cultivating working body] /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii, No. 5, 2015. pp. 10-13.

10. ZHuk A.F. Vliyanie pochvennogo narosta na rabotu klina /Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii [Effect of soil buildup on wedge work / Agricultural machinery and technology], No. 3, 2013. pp. 24-29.

11. SHarov V.V., Lobachevskij, YA.P. Prognoz ispol'zovaniya pochvoobrabatyvayushchih mashin s aktivnymi rabochimi organami [Forecast of the use of tillage machines with active working bodies] // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2009. № 1-2. S. 41-43.

УДК 631.243

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН НА III И IV ЭТАПАХ СЕЛЕКЦИИ И ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF CONTAINERIZATION HARVESTING-TRANSPORT PROCESS AND PRIMARY HANDLING OF SEEDS AT THE III AND IV STAGES OF BREEDING AND PRIMARY SEED PRODUCTION

М.Л. КРЮКОВ, *ведущий специалист,* ***М.В. ИВАНОВ****, инженер,* ***К.А. СТЕПАНОВ****, инженер, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

M.L. KRYUKOV*, senior specialist,* ***M.V. IVANOV****, engineer,* ***K.A. STEPANOV****, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Кратко описаны основные проблемы, присущие уборочно-транспортному процессу селекции и первичного семеноводства, обоснована необходимость их решения. Предложена концепция контейнерной технологии на замену базовой, мешочной.*

Ключевые слова*: селекция, контейнеризация, транспортная логистика.*

Abstract*. The main problems inherent in the harvesting and transport process of selection and primary seed production are briefly described, the necessity of their solution is justified. The concept of container technology to replace the base, bag.*

Keywords*: selection, containerization, transport logistics.*

Цель исследования – обоснование параметров контейнеризации транспортно-технологического процесса уборки и переработки селекционных семян с применением контейнеров при первичном размножении.

Одним из важнейших вопросов в селекции и первичном семеноводстве является уборочно-транспортный процесс. Оптимизация этого процесса напрямую влияет на широкий спектр затрат: трудовых, эксплуатационных, энергетических. Высокие затраты связаны, в основном, с низким уровнем механизации селекции и первичного семеноводства [1-14]. Это обусловлено спецификой селекционно-семеноводческого дела: для выполнения разнообразных операций необходимы различные машины. К примеру, если в начале селекционного процесса достаточно сеялки для посева отдельных семян, то на этапе конкурсного сортоиспытания – сложная многорядковая машина [15, 16]. Также ГОСТ запрещает смешивать материал. Основанием для развития селекционно-семеноводческого дела является Стратегия Национальной Безопасности Российской Федерации, в которой было сказано о необходимости “ускоренного развития и модернизации агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, промышленности и инфраструктуры внутреннего рынка”, а также о “развитии племенного дела, селекции, семеноводства и аквакультуры”.

В настоящее время наиболее распространённым способом при выполнении уборочно-транспортного процесса в селекционно-семеноводческих

работах является применение мешочной тары. При использовании мягкой тары выполняются вручную ряд технологических операций: подготовка мешкотары; доставка мешкотары в поле, складирование, распределение; затаривание мешков; перегрузка мешков в транспортное; перегрузка мешков из ТС на площадку временного хранения; перегрузка мешков с площадки временного хранения; перегрузка мешков из сушилки в сортировальную машину; приём зерна из сортировальной машины и затаривание его в мешки; взвешивание и укладка мешков на поддоны.

Традиционный способ уборки селекционных семян в мешки имеет свои вполне конкретные преимущества, где мешки играют ключевую роль: они дешёвые, многоразовые, позволяют совмещать операции, обладают определённой герметичностью и безразмерностью. Однако мешочная упаковка имеет ряд существенных недостатков. Даже если мешок заполнен полностью, он всё равно имеет сложную, неопределённую форму, что не позволит складировать материал слишком высоко друг на друга и отрицательно скажется на ряде экономических показателей. Велик риск случайных механических повреждений, а сама структура мешковины в недостаточной степени защищает материал от вредителей. Самое главное с точки зрения механизации и автоматизации, что предметами неопределённой формы сложнее манипулировать, что заведомо ограничивает число возможно доступных технических средств – чаще всего, их роль выполняет человек.

В целях установления этой доли ручного труда в уборочно-транспортном процессе селекции и первичного семеноводства, специалистами ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2016 году во Владимирском НИИСХе был проведён хронометраж времени на этапе уборки зерновых культур, который показал, что подавляющее число операций, где выполняется перевалка мешков, выполняется вручную и составляет более 25% [17]. Такая организация процесса с точки зрения логистики неизбежно влечёт за собой увеличение трудовых и временных затрат.

Однако стоит отметить, что не столько само устранение ручного труда позволит повысить эффективность уборочно-транспортного процесса, сколько создание тары, которую способен без риска поднять обычный вилочный погрузчик, в которой можно сушить, не пересыпая зерна, которая позволит хранить зерно, не опасаясь повреждений и не прибегая к использованию человека.

На основании вышеуказанных проблем, и с целью их устранения, была разработана концепция контейнерной технологии для уборки, транспортировки, сушки и хранения селекционного зерна при уборке сплошных посевов. Контейнер является ключевым элементом технологии и требует комплексной механизации, поскольку контейнерная тара, присутствующая на каждой операции технологической цепи, не только сохраняет, но и расширяет охват возможных совмещаемых операций, таких как уборка, сушка, хранение и реализация (Рис. 1).

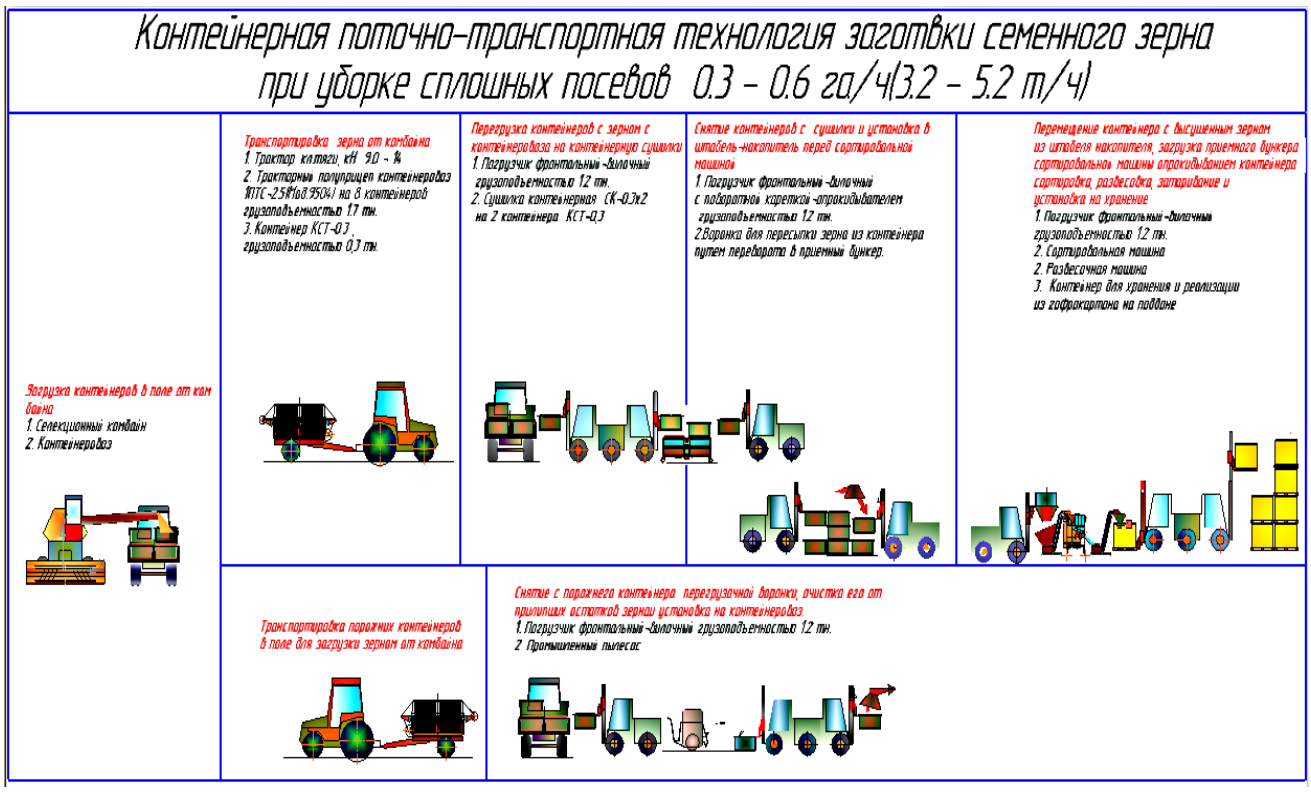


Рисунок 1 - Контейнерная технология уборки семян.

Для оценки взаимосвязи количественных изменений основных параметров уборочно-транспортного процесса, была разработана экономико-математическая модель, которая основывается на функции цели C^i , определяющаяся, как минимизация прямых эксплуатационных затрат $И_э^i$ (руб/т) i-го технического средства уборочно-транспортного комплекса, на весь объём работ B_i (т), определяющийся сменным оборотом материала $Q_{см}^i$ (т), осуществлённый техническими средствами в необходимом количестве X_s (шт.) за отведённый агротехнический срок T (дней) на этапах комбайнирования (*к)*, транспортировки (*т)* и сушки (*с)* – именно эти основные параметры характеризуют уборочно-транспортный процесс.

$$C^i = \sum_{к,т,с} Q_{см}^i * X_S * T * И_э^i \rightarrow min \qquad (1)$$

Объёмы взаимосвязанных работ должны быть выполнены синхронизировано. Тогда для общей рассматриваемой системы “комбайн – транспортное средство – сушилка”, синхронизация объёмов работ будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{см}^к * X_к * T \leq Q_{см}^т * X_т * T \leq Q_{см}^c * X_c * T \qquad (2)$$

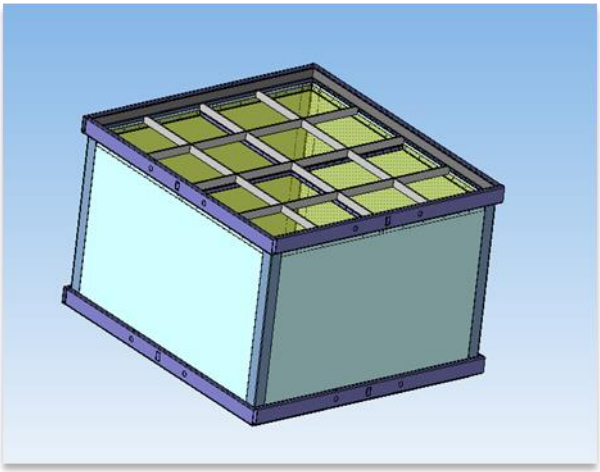


Рисунок 2 - Модель сушильно-транспортного контейнера (пример установки на лотковую сушилку).

Разработанная экономико-математическая модель увязывает все основные параметры уборочно-транспортного процесса по комплексной функции цели селекции и первичного семеноводства, минимизируя их прямые эксплуатационные затраты.

Список литературы

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – М.: ВИМ, 2012. – С. 31-44.
2. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Бисенов Г.С. Пути развития сельскохозяйственных транспортных средств // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2012. – С. 38-49.
3. Измайлов А.Ю., Кузьмин А.Ю. Оптимизация взаимодействия уборочной сельскохозяйственной техники с транспортными средствами // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. Ч.2. – М.: ВИМ, 2012. – С. 72-78.
4. Мазитов Н.К., Лобачевский Я.П., Сахапов Р.Л., Шарафиев Л.З. Эффективность инновационной технологии производства продукции растениеводства в условиях ВТО – при низкой себестоимости и высокой рентабельности на основе использования отечественной техники // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2013. – С. 50-54.
5. Пономарев А.Г., Кузьминова Г.С. Новая культура для аграрного сектора России требует разработки новых технологий // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. – С. 140-145.
6. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Калинкин Г.А., Крюков М.Л., Власова С.В. Разработать контейнерную технологию и систему технических средств для уборки, транспортировки, сушки, очистки и хранения зерна в селекции и первичном семеноводстве: Отчет о научно-исследовательской работе. – М.: ГНУ ВИМ, 2013. – 84 с.
7. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспертные системы интеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного

назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. – С. 379-382.

8. Галкин С.Н., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю. Агротехнические и технологические параметры автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 5. С. 3-6.

9. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Галкин С.Н. Инновационное развитие транспортной сферы агропромышленного комплекса. Москва, 2011.

10. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. ВИМ – основатель производства селекционной техники в России. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2008. № 4. С. 9-11.

11. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. № 1. С. 2-9.

12. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Развитие производств техники для селекции и семеноводства - одна из приоритетных задач сельскохозяйственного машиностроения // В сборнике: Состояние и развитие регионального машиностроения научное издание. Москва, 2010. С. 96-103.

13. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированные информационные технологии в производственных процессах растениеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. № 4. С. 3-9.

14. Домрачеев В.А., Шевченко А.П.. Разработка научных основ механизации селекционно-опытного дела // Достижения науки и техники АПК. 2008. №12. С. 51-52.

15. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Курбанова Е.С., Калинкин Г.А., Крюков М.Л., Наумов Ю.Н., Пышкин В.К., Чулков А.С., Трифонов А.В., Иванов О.А., Лебедев В.В., Власова С.В. Царькова Т.В.. Разработать систему автотракторных контейнерных перевозок сельскохозяйственных грузов и её программное обеспечение: Отчёт о научно-исследовательской работе. – М.: ГНУ ВИМ, 2010. – 152 с.

16. Чулков А.С. Повышение эффективности уборочно-транспортного комплекса на основе мобильных средств со сменными кузовами при уборке зерновых культур: дис. канд. Техн. Наук: 05.02.01 / Чулков А.С. – Москва, 2013. – 152 с.

References

1. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Innovacionnye mekhanizirovannye tekhnologii i avtomatizirovannye tekhnicheskie sistemy dlya sel'skogo hozyajstva // Modernizaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva na baze innovacionnyh mashinnyh tekhnologij i avtomatizirovannyh system [Innovative mechanized technologies and automated technical systems for agriculture // Modernization of agricultural production on the basis of innovative machine technologies and automated systems]: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. CH. 1. – M.: VIM, 2012. – S. 31-44.

2. Izmajlov A.YU., Evtyushenkov N.E., Bisenov G.S. Puti razvitiya sel'skohozyajstvennyh transportnyh sredstv // Modernizaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva na baze innovacionnyh mashinnyh tekhnologij i avtomatizirovannyh system [Ways of development of agricultural vehicles // Modernization of agricultural production on the basis of innovative machine technologies and automated systems]: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. CH. 2. – M.: VIM, 2012. – S. 38-49.

3. Izmajlov A.YU., Kuz'min A.YU. Optimizaciya vzaimodejstviya uborochnoj sel'skohozyajstvennoj tekhniki s transportnymi sredstvami // Modernizaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva na baze innovacionnyh mashinnyh tekhnologij i avtomatizirovannyh system [Optimization of the interaction of harvesting agricultural equipment with vehicles // Modernization

of agricultural production on the basis of innovative machine technologies and automated systems]: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. CH.2. – M.: VIM, 2012. – pp. 72-78.

4. Mazitov N.K., Lobachevskij YA.P., Sahapov R.L., SHarafiev L.Z. EHffektivnost' innovacionnoj tekhnologii proizvodstva produkcii rastenievodstva v usloviyah VTO – pri nizkoj sebestoimosti i vysokoj rentabel'nosti na osnove ispol'zovaniya otechestvennoj tekhniki // Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii [Efficiency of innovative production technology of crop production in the conditions of the WTO - at low cost and high profitability based on the use of domestic technology // System of technologies and machines for innovative development of the agricultural sector of Russia]: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. CH. 2. – M.: VIM, 2013. – pp. 50-54.

5. Ponomarev A.G., Kuz'minova G.S. Novaya kul'tura dlya agrarnogo sektora Rossii trebuet razrabotki novyh tekhnologij // Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij [New culture for the agrarian sector of Russia requires the development of new technologies // Innovative development of the Russian agro-industrial complex based on intelligent machine technologies]: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – M.: VIM, 2014. – pp. 140-145.

6. Izmajlov A.YU., Evtyushenkov N.E., Kalinkin G.A., Kryukov M.L., Vlasova S.V. Razrabotat' kontejnernuyu tekhnologiyu i sistemu tekhnicheskih sredstv dlya uborki, transportirovki, sushki, ochistki i hraneniya zerna v selekcii i pervichnom semenovodstve: Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote [Develop container technology and a system of technical means for harvesting, transporting, drying, cleaning and storing grain in breeding and primary seed production: Report on research and development]. – M.: GNU VIM, 2013. – 84 p.

7. Izmajlov A.YU., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskij YA.P. EHkspertnye sistemy intellektual'noj avtomatizacii tekhnicheskih sredstv sel'skohozyajstvennogo naznacheniya // Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij [Expert systems for intellectual automation of agricultural equipment // Innovative development of the Russian agro-industrial complex on the basis of intelligent machine technologies]: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – M.: VIM, 2014. – pp. 379-382.

8. Galkin S.N., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Evtyushenkov N.E., Izmajlov A.YU. Agrotekhnicheskie i tekhnologicheskie parametry avtomobilej sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Агротехнические и технологические параметры автомобилей сельскохозяйственного назначения] // Traktory i sel'hozmashiny. 2011. № 5. S. 3-6.

9. Izmajlov A.YU., Evtyushenkov N.E., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Galkin S.N. Innovacionnoe razvitie transportnoj sfery agropromyshlennogo kompleksa [Innovative development of the transport sector of the agro-industrial complex]. Moskva, 2011.

10. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., Kynev N.G. VIM – osnovatel' proizvodstva selekcionnoj tekhniki v Rossii [VIM is the founder of the production of breeding technology in Russia]. // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2008. № 4. S. 9-11.

11. Lachuga YU.F., Izmajlov A.YU., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoehffektivnyh, resurso- i ehnergosberegayushchih tekhnologij i tekhnicheskih sredstv posleuborochnoj obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of high-performance, resource- and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2009. № 1. S. 2-9.

12. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Razvitie proizvodstv tekhniki dlya selekcii i semenovodstva - odna iz prioritetnyh zadach sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya [The development of machinery for breeding and seed production is one of the priorities of agricultural engineering] // V sbornike: Sostoyanie i razvitie regional'nogo mashinostroeniya nauchnoe izdanie. Moskva, 2010. S. 96-103.

13. Izmajlov A.YU., Horoshenkov V.K. Avtomatizirovannye informacionnye tekhnologii v proizvodstvennyh processah rastenievodstva [Automated information technologies in crop production processes] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2010. № 4. S. 3-9.

14. Domracheev V.A., SHevchenko A.P.. Razrabotka nauchnyh osnov mekhanizacii selekcionno-opytnogo dela // Dostizheniya nauki i tekhniki APK[Development of scientific foundations for the mechanization of the selection-experimental work]. 2008. No.12. S. 51-52.

15. Izmajlov A.YU., Evtyushenkov N.E., Kurbanova E.S., Kalinkin G.A., Kryukov M.L., Naumov YU.N., Pyshkin V.K., CHulkov A.S., Trifonov A.V., Ivanov O.A., Lebedev V.V., Vlasova S.V. Car'kova T.V.. Razrabotat' sistemu avtotraktornyh kontejnernyh perevozok sel'skohozyajstvennyh gruzov i eyo programmnoe obespechenie: Otchyot o nauchno-issledovatel'skoj rabote [Develop a system of autotractor container transportation of agricultural goods and its software: Report on research work]. – M.: GNU VIM, 2010. – 152 p.

16. CHulkov A.S. Povyshenie ehffektivnosti uborochno-transportnogo kompleksa na osnove mobil'nyh sredstv so smennymi kuzovami pri uborke zernovyh kul'tur [Improving the efficiency of the harvest-transport complex on the basis of mobile vehicles with replaceable bodies when harvesting grain crops]: dis. kand. Tekhn. Nauk: 05.02.01 / CHulkov A.S. – Moskva, 2013. – 152 p.

УДК 631.171

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СБОРА ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

DESIGNING OF AUTOMATED PLATFORM FOR MACHINERY HARVESTING OF STRAWBERRY

Д.О. ХОРТ, *к.с-х.н.,* ***А.Н. ТЕРЕШИН,*** *аспирант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

D.O. HORT*, candidate of agricultural Sciences,* ***A.N. TERESHIN****, post-graduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В данной статье рассмотрены методы проектирования и роботизированное устройство для машинного сбора земляники садовой.*

Ключевые слова*: земляника садовая, роботизированное устройство, машинный сбор, методы проектирования.*

Abstract*. This article describes design methods and a robotic device for harvesting strawberry.*

Keywords*: strawberry, robotic machine for harvesting strawberry, machine for harvesting, design methods.*

В настоящее время созданы все предпосылки для создания и широкого распространения роботизированных технических средств в растениеводстве, в т.ч. и в садоводстве: имеются модули компьютерного зрения, программное обеспечение для обработки получаемой информации, широкая номенклатура приборов и оборудования для оснащения мобильной техники, с учётом требований технологий производства продукции [1-4]. Однако, основная трудность, с которой сталкиваются разработчики роботов для сельского хозяйства – это определение оптимальных параметров рабочих органов и наделение машины искусственным интеллектом для реализации технологического процесса [30-32].

Это особенно важно для роботизации уборочных процессов, так как мехатронная система работает в условиях множества неопределённостей, а решаемые задачи должны быть быстро и чётко выполнены, например рабочий орган робота для сбора земляники садовой должен из множества ягод выбрать наиболее созревшую и деликатно произвести её съём в кратчайшее время.

Целью работы является описание процесса проектирования роботизированного устройства для машинного сбора земляники садовой и анализ его конструктивных параметров.

Процесс создания роботизированного устройства для машинного сбора земляники должен включать работы по проектированию трех основных блоков:

– Первый блок - это подвижная система, в которой запрограммированы движения робота по перемещению внутри плантации или бороздам во время выполнения операции уборки.

– Второй блок представляет собой систему сбора, в которой выполняются операции захвата и отделения спелых ягод.

– Третий блок представляет собой систему распознавания, которая идентифицируют, и определяет пространственное расположение ягод.

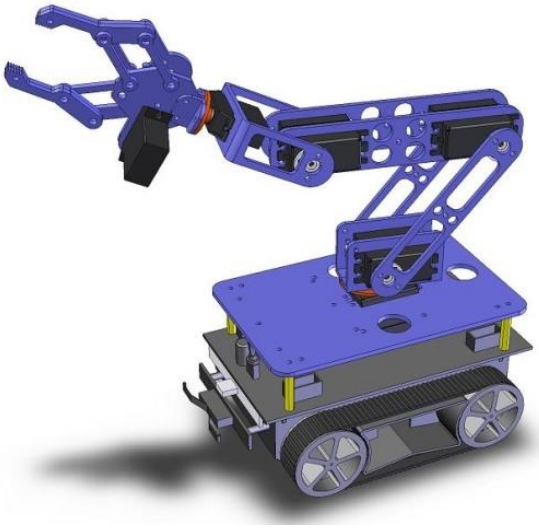


Рисунок 1 - Макет роботизированного средства для машинного сбора земляники садовой

В зависимости от типа технологии выращивания земляники и рабочего пространства, в котором будет работать устройство применяют вращательное, линейное или скручивающее соединение, а также комбинированные: вращающееся и ортогональное соединение манипулятора, которые образуют вращательную, сферическую, цилиндрическую, прямоугольную или телескопическую структуру робота.

Манипулятор дополнительно должен быть оснащен приводами, такими как гидравлические, воздушные, линейные приводы или электродвигатели для совершения конечного движения. Механические компоненты, такие как шестерни, подшипники, ремни используются для преобразования конечного движения приводов.

Датчики обратной связи, например, оптические, датчики вращения (энкодеры), термопары, камеры или детекторы движения, используются для измерения различных параметров и обеспечения обратной связи с блоком управления. Контроллер движения, используемый для создания заданных движений и обеспечения контрольных измерений, во время работы приводов манипулятора.

Движение робота можно контролировать с помощью нескольких функций управления, таких как: регулирование скорости, управление положением, регулирование нажима или силы электронного привода, а каждая функциональная операция состоит из нескольких циклов для выполнения операции. Роботизированные операции можно контролировать с помощью последовательного программирования циклов с помощью компьютера.

В настоящее время доступно несколько коммерческих программ для изучения динамического и кинематического поведения роботов и получения траекторий движения. В системах распознавания, при необходимости, наряду

с системами искусственного освещения используются камеры, такие как камера CCD, инфракрасная камера, высокоскоростная камера или мультиспектральная камера. Захваченное изображение с камеры затем переносится на компьютер, и для обработки изображений, снятых камерами, принимается определенный алгоритм обработки изображений, основанный на конкретных атрибутах признаков и моделях спецификации цвета.

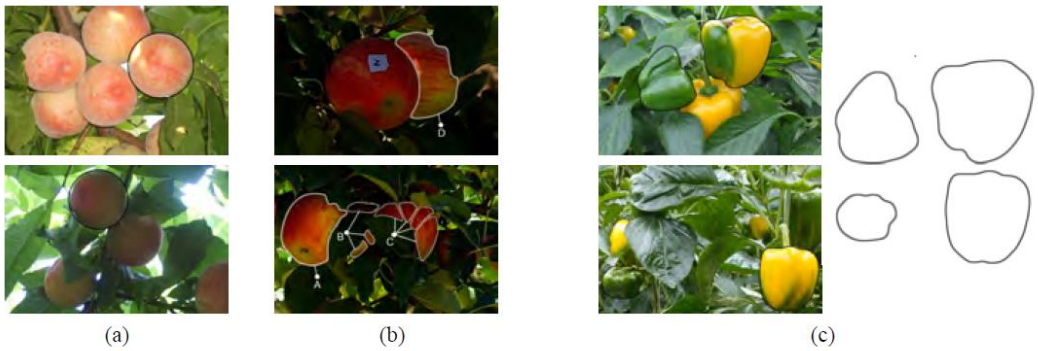


Рисунок 2 - Пример распознавания плодов

Система обработки изображений распознаёт фрукты в естественной среде и обеспечивает трехмерное расположение (координаты X, Y, Z) и ориентацию плодов, т.е. длину стебля плод. Местоположение помогает перемещать блок сбора, чтобы направить рабочий орган, в то время как ориентация манипулятора помогает определить способ захвата и точку среза.

Информация, используемая для обнаружения и определения плодов на деревьях, включает в себя форму, размер, грани или цвет, а методы и алгоритмы, используются для распознавания изменений фруктов с физическими, химическими или геометрическими свойствами плодов [5-8].

Кроме того, существует множество подходов к обработке изображений и анализу данных, используемых при распознавании плодов, что свидетельствует о важности систем распознавания фруктов при роботизированном сборе [6]. На рисунке 3 представлен концептуальный дизайн робота-уборщика земляники садовой.

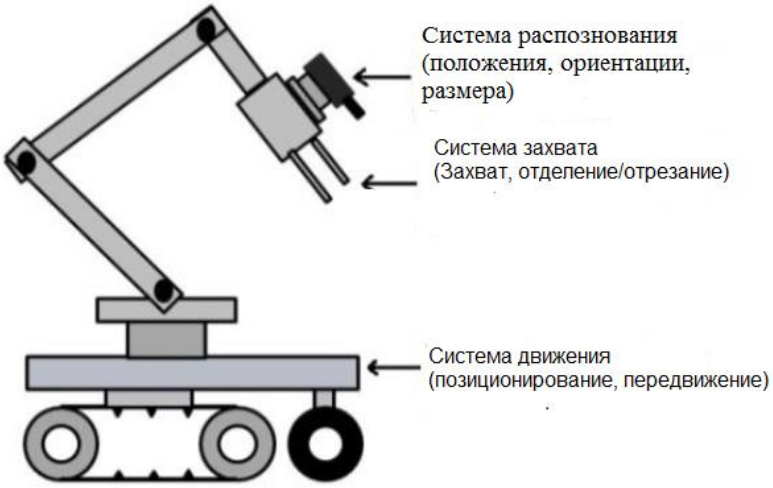


Рисунок 3 - Концептуальная модель робота-сборщика земляники садовой.

Устройство захвата (рабочий орган) робота для сбора земляники садовой должно иметь специальные параметры, предотвращающие их повреждение. К таким параметрам относятся: высокая скорость привода, адаптация к различным формам, максимальное прилипание и минимальный нажим, отсутствие повреждений продуктов, простое в обслуживании, высокая надежность, малый вес, малое потребления энергии, требование точности для захвата и освобождение плода, простота очистки и быстрого сбора плода (важно для продуктов с низким весом).

Рассмотрение этих требований и манипуляций с захватом (фиксирования), Blanes C. и др. [14] позволило классифицировать операции для выполнения фиксирований (захватов) на основе вышеупомянутых факторов. Для роботов по уборке плодов методом прямого контакта используются пневматические, гидравлические и электрические методы. Чтобы уменьшить механическое повреждение плода во время сбора урожая, существуют несколько теорий захвата и анализ устойчивости (стабильности) [11-25], которые рассматривают изгиб как форму рабочего органа, и как объект в многоконтактных точках, а также влияние изгибов и жесткости исследуются параметры устойчивости (стабильности) захвата с трением и без трения при точечном контакте.

В соответствии с этими теориями захвата, чтобы облегчить управление, простой рабочий орган с двумя параллельными изогнутыми элементами показывает лучший и стабильный цепкий захват, чем плоские элементы пальцы. В Табл. 1 приведено сравнение электрических, пневматических и гидравлических систем захвата.

Таблица 1

Сравнение типов захватов.

Показатели	Электрические захваты	Пневматические захваты	Гидравлические захваты
Критерии: точность, надежность и скорость	Высокая точность и повторяемость, надежность, высокая скорость	Высокая точность, надежность, высокая скорость	Высокая точность, надежность, высокая скорость
Пространство	Занимают малое пространство	Занимают малое пространство	Занимают большее пространства по сравнению с пневматическими и электрическими захватами
Преимущество	Низкая стоимость и простота обслуживания	Простота в обслуживании	Простота конструкции
Недостаток	Легко повредить	Требуется точный контроль системы	Используется обычно для тяжелых нагрузок
Применение	Используется для сбора отдельных фруктов	Используется для кустовых фруктов	Используется для сбора отдельных фруктов

Факторы, которые значительно влияют на определение захвата, были определены Монкман и др. [26], а именно положение компонентов в установке оборудования, размер и форма, масса и свойства, последовательность движения, скорость и ускорение, силы, действующие на захват во время движения, точки захвата, параметры привода захвата и т. д., в котором критическими условиями являются не только динамические, но и статические элементы, взаимосвязанные с оптимальной конструкцией рабочего органа.

После принятия решения при разработке по требуемым первичным параметрам необходимо выполнить моделирование и симуляцию конструкции в трехмерном механическом программном обеспечении САПР для проверки указанных параметров и производительности в контролируемой среде.

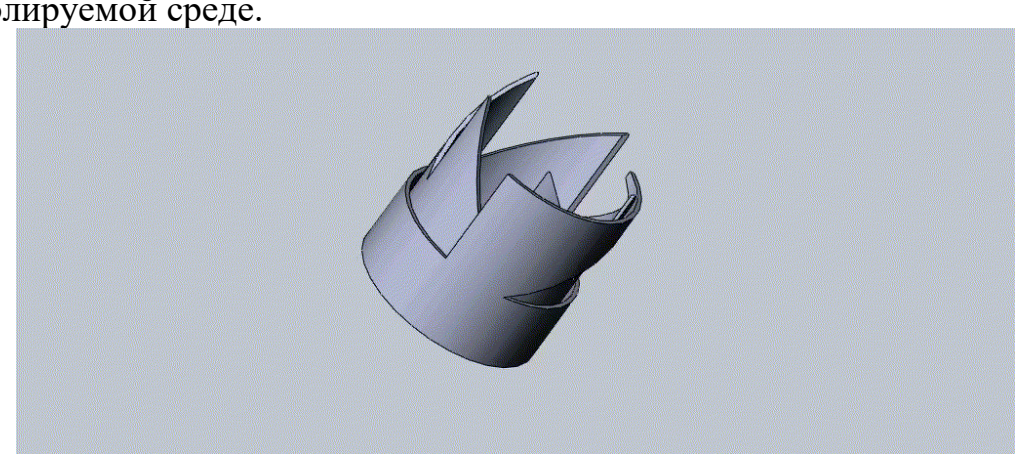


Рисунок 4 - 3D модель рабочего органа для сбора отдельных ягод земляники садовой.

Эдан и др. [27] применили метод моделирования конечных элементов и оптимизации параметров моделирования для захватов дынь, а Бачче и др. [28] и Бачче и Ока [29] описали методы моделирования и моделирования с использованием Solidworks ручной роботизированной руки для перца. Моделирование системы обеспечивает все оптимальные параметры, которые могут быть использованы для создания прототипа и улучшения производительности системы, полученных в процессе моделирования. Процесс моделирования помогает определить статические и усталостные характеристики и эффективность системы.

В случае каких-либо сбоев в системе часть системы может быть переработана или материал может быть изменен для получения высокостабильного и эффективного рабочего органа. Эти приемы и методы оптимизируют выбор параметров системы через несколько стадий проектирования исследования, также это позволяет выполнить анализ физической модели. Окончательные оптимальные параметры, которые взаимодействуют с окружающей средой, могут быть использованы для проектирования прототипа, что позволит сэкономить время, производственные затраты и сложные расчеты. Анализ статических характеристик, напряжения и перемещения, определяют производительность системы в рабочей среде.

Список литературы

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. В сборнике: ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства. 2017. С. 333-343.

2. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Технический сервис в системе инженерно-технического обеспечения АПК // Сельский механизатор. 2016. № 8. С. 2-5.

3. Семейкин В.А., Дорохов А.С., Корнеев В.М. Входной контроль качества сельскохозяйственной техники и оценка его эффективности

методические рекомендации // М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Департамент науч.-технологической политики и образования. Москва, 2010.

4. Дорохов А.С., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Средства контроля качества сельскохозяйственной техники. Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 34-35.

5. Ferguson, L.; Rosa, U.A.; Castro-Garcia, S.; Lee, S.M.; Guinard, J.X.; Burns, J.; Krueger, W.H.; O'Connell, N.V.; Glozer, K. Mechanical harvesting of california table and oil olives. Adv. Hortic. Sci. 2010, 24, 53–63.

6. Coppock, G.E. Harvesting early and midseason citrus fruit with tree shaker. Fla. Agric. Exp. Station. J. Ser. 1967, 2824, 98–104.

7. Holt, J.S. Implications of reduced availability of seasonal agricultural workers on the labor intensive sector of us agriculture. In Proceedings of ASAE Annual International Meeting, Toronto, Canada, 18–22 July 1999.

8. Sanders, K.F. Orange harvesting system review. Biosyst. Eng. 2005, 90, 115–125.

9. Pal, N.; Pal, K. A review on image segmentation techniques. Pattern Recogn. 1993, 26, 1277–1294.

10. Jimenez, R.; Jain, A.K.; Ceres, R.; Pons, J.L. Automatic fruit recognition: A survey and new results using range/attenuation images. Pattern Recogn. 1999, 32, 1719–1736.

11. Radke, R.J.; Andra, S.; Al-Kofahi, O.; Roysam, B. Image change detection algorithms: A systematic survey. IEEE Trans. Image Process. 2005, 14, 294–307.

12. Bachche, S.; Oka, K. Distinction of green sweet pepper by using various color space models and computation of 3 dimensional coordinates location of recognized green sweet peppers based on parallel stereovision system. J. Syst. Des. Dyn. 2013, 7, 178–196.

13. Jimenez, A.R.; Ceres, R.; Pons, J.L. A survey of computer vision methods for locating fruit on trees. Trans. ASAE 2000, 43, 1911–1920.

14. Blanes, C.; Mellado, M.; Ortiz, C.; Valera, A. Technologies for robot grippers in pick and place operations for fresh fruits and vegetables. Span. J. Agric. Res. 2011, 9, 1130–1141.

15. Montana, D.J. Contact stability for two-fingered grasps. IEEE Trans. Robot. Autom. 1992, 8, 421–430.

16. Funahashi, Y.; Yamada, T.; Tate, M.; Suzuki, Y. Grasp stability analysis considering the curvatures at contact points. In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, 20–28 April 1996; Volume 4, pp. 3040–3046.

17. Jenmalm, P.; Goodwin, A.W.; Johansson, R.S. Control of grasp stability when humans lift objects with different surface curvatures. J. Neurophysiol. 1998, 79, 1643–1653.

18. Svinin, M.M.; Kaneko, M.; Tsuji, T. Internal forces and stability in multi-finger grasps. Control Eng. Pract. 1999, 7, 413–422.

19. Morales, A.; Sanz, P.J.; del Pobil, A.P.; Fagg, A.H. Vision-Based three-finger grasp synthesis constrained by hand geometry. Robot. Auton. Syst. 2006, 54, 496–512.

20. Birglen, L.; Gosselin, C.M. Grasp-state plane analysis of two-phalanx underactuated fingers. Mech. Mach. Theory 2006, 41, 807–822.

21. Kragten, G.A.; Herder, J.L.; Schwab, A.L. On the influence of contact geometry on grasp stability. In Proceedings of the ASME 2008 IDETC/CIE, New York, NY, USA, 3–6 August 2008.

22. Aleotti, J.; Caselli, S. Interactive teaching of task-oriented robot grasps. Robot. Auton. Syst. 2010, 58, 539–550.

23. Noohi, E.; Moradi, H.; Noori, N.; Ahmadabadi, M.N. Manipulation of polygonal objects with two wheeled-tip fingers: Planning in the presence of contact position error. Robot. Auton. Syst. 2011, 55, 44–55.

24. Daoud, N.; Gazeau, J.P.; Zeqhloul, S.; Arsicault, M. A real-time strategy for dexterous manipulation: Fingertips motion planning, force sensing and grasp stability. Robot. Auton. Syst. 2012, 60, 377–386.

25. Li, Z.; Li, P.; Yang, H.; Wang, Y. Stability tests of two-finger tomato grasping for harvesting robots. Biosyst. Eng. 2013, 116, 163–170.

26. Monkman, G.J.; Hesse, S.; Steinmann, R.; Schunk, H. Robot Grippers; Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA Weinheim: Germany, 2007.

27. Edan, Y.; Haghighi, K.; Stroshine, R.; Cardenas-Weber, M. Robot gripper analysis: Finite element modeling and optimization. Appl. Eng. Agric. 1992, 8, 563–570.

28. Bachche, S.; Oka, K.; Sakamoto, H. Design and modeling of gripper and cutting tool system for sweet pepper harvesting robot hand. In Proceedings of the MAGDA Conference in Pacific Asia, Kaohsiung, Taiwan, 14–16 November 2011.

29. Bachche, S.; Oka, K. Modeling and performance testing of end-effector for sweet pepper harvesting robot. J. Robot. Mechatron. 2013, 25, 705–717.

30. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Сборник научных докладов ВИМ. 2010. Т. 1. С. 47-58.

31. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированные информационные технологии в производственных процессах растениеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. № 4. С. 3-9.

32. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Актуальные проблемы создания новых машин для промышленного садоводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 3. С. 20-23.

References

1. Lobachevskij YA.P., Dorohov A.S. Perspektivnye nauchno-tekhnicheskie proekty v sfere mekhanizacii i robotizacii sel'skogo hozyajstva. V sbornike: FORMIROVANIE EDINOGO NAUCHNO-TEKHNOLOGICHESKOGO PROSTRANSTVA SOYUZNOGO GOSUDARSTVA: PROBLEMY, PERSPEKTIVY, INNOVACII Materialy postoyanno dejstvuyushchego seminara pri Parlamentskom Sobranii Soyuza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva [Promising scientific and technical projects in the field of mechanization and robotization of agriculture. In the collection: FORMING A UNIFIED SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SPACE OF THE UNION STATE: PROBLEMS, PROSPECTS, INNOVATIONS Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State]. 2017. pp. 333-343.

2. Dorohov A.S., Korneev V.M., Kataev YU.V. Tekhnicheskij servis v sisteme inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya APK [Technical service in the system of engineering and technical support of the AIC] // Sel'skij mekhanizator. 2016. No. 8. pp. 2-5.

3. Semejkin V.A., Dorohov A.S., Korneev V.M. Vhodnoj kontrol' kachestva sel'skohozyajstvennoj tekhniki i ocenka ego ehffektivnosti metodicheskie rekomendacii [Input quality control of agricultural machinery and evaluation of its effectiveness. guidelines] // M-vo sel'skogo hoz-va Rossijskoj Federacii, Departament nauch.-tekhnologicheskoj politiki i obrazovaniya. Moskva, 2010.

4. Dorohov A.S., Krasnyashchih K.A., Skorohodov D.M. Sredstva kontrolya kachestva sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Means of quality control of agricultural machinery.]. Sel'skij mekhanizator. 2015. No. 10. pp. 34-35.

5. Ferguson, L.; Rosa, U.A.; Castro-Garcia, S.; Lee, S.M.; Guinard, J.X.; Burns, J.; Krueger, W.H.; O'Connell, N.V.; Glozer, K. Mechanical harvesting of california table and oil olives. Adv. Hortic. Sci. 2010, 24, 53–63.

6. Coppock, G.E. Harvesting early and midseason citrus fruit with tree shaker. Fla. Agric. Exp. Station. J. Ser. 1967, 2824, 98–104.

7. Holt, J.S. Implications of reduced availability of seasonal agricultural workers on the labor intensive sector of us agriculture. In Proceedings of ASAE Annual International Meeting, Toronto, Canada, 18–22 July 1999.

8. Sanders, K.F. Orange harvesting system review. Biosyst. Eng. 2005, 90, 115–125.

9. Pal, N.; Pal, K. A review on image segmentation techniques. Pattern Recogn. 1993, 26, 1277–1294.

10. Jimenez, R.; Jain, A.K.; Ceres, R.; Pons, J.L. Automatic fruit recognition: A survey and new results using range/attenuation images. Pattern Recogn. 1999, 32, 1719–1736.

11. Radke, R.J.; Andra, S.; Al-Kofahi, O.; Roysam, B. Image change detection algorithms: A systematic survey. IEEE Trans. Image Process. 2005, 14, 294–307.

12. Bachche, S.; Oka, K. Distinction of green sweet pepper by using various color space models and computation of 3 dimensional coordinates location of recognized green sweet peppers based on parallel stereovision system. J. Syst. Des. Dyn. 2013, 7, 178–196.

13. Jimenez, A.R.; Ceres, R.; Pons, J.L. A survey of computer vision methods for locating fruit on trees. Trans. ASAE 2000, 43, 1911–1920.

14. Blanes, C.; Mellado, M.; Ortiz, C.; Valera, A. Technologies for robot grippers in pick and place operations for fresh fruits and vegetables. Span. J. Agric. Res. 2011, 9, 1130–1141.

15. Montana, D.J. Contact stability for two-fingered grasps. IEEE Trans. Robot. Autom. 1992, 8, 421–430.

16. Funahashi, Y.; Yamada, T.; Tate, M.; Suzuki, Y. Grasp stability analysis considering the curvatures at contact points. In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, 20–28 April 1996; Volume 4, pp. 3040–3046.

17. Jenmalm, P.; Goodwin, A.W.; Johansson, R.S. Control of grasp stability when humans lift objects with different surface curvatures. J. Neurophysiol. 1998, 79, 1643–1653.

18. Svinin, M.M.; Kaneko, M.; Tsuji, T. Internal forces and stability in multi-finger grasps. Control Eng. Pract. 1999, 7, 413–422.

19. Morales, A.; Sanz, P.J.; del Pobil, A.P.; Fagg, A.H. Vision-Based three-finger grasp synthesis constrained by hand geometry. Robot. Auton. Syst. 2006, 54, 496–512.

20. Birglen, L.; Gosselin, C.M. Grasp-state plane analysis of two-phalanx underactuated fingers. Mech. Mach. Theory 2006, 41, 807–822.

21. Kragten, G.A.; Herder, J.L.; Schwab, A.L. On the influence of contact geometry on grasp stability. In Proceedings of the ASME 2008 IDETC/CIE, New York, NY, USA, 3–6 August 2008.

22. Aleotti, J.; Caselli, S. Interactive teaching of task-oriented robot grasps. Robot. Auton. Syst. 2010, 58, 539–550.

23. Noohi, E.; Moradi, H.; Noori, N.; Ahmadabadi, M.N. Manipulation of polygonal objects with two wheeled-tip fingers: Planning in the presence of contact position error. Robot. Auton. Syst. 2011, 55, 44–55.

24. Daoud, N.; Gazeau, J.P.; Zeqhloul, S.; Arsicault, M. A real-time strategy for dexterous manipulation: Fingertips motion planning, force sensing and grasp stability. Robot. Auton. Syst. 2012, 60, 377–386.

25. Li, Z.; Li, P.; Yang, H.; Wang, Y. Stability tests of two-finger tomato grasping for harvesting robots. Biosyst. Eng. 2013, 116, 163–170.

26. Monkman, G.J.; Hesse, S.; Steinmann, R.; Schunk, H. Robot Grippers; Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA Weinheim: Germany, 2007.

27. Edan, Y.; Haghighi, K.; Stroshine, R.; Cardenas-Weber, M. Robot gripper analysis: Finite element modeling and optimization. Appl. Eng. Agric. 1992, 8, 563–570.

28. Bachche, S.; Oka, K.; Sakamoto, H. Design and modeling of gripper and cutting tool system for sweet pepper harvesting robot hand. In Proceedings of the MAGDA Conference in Pacific Asia, Kaohsiung, Taiwan, 14–16 November 2011.

29. Bachche, S.; Oka, K. Modeling and performance testing of end-effector for sweet pepper harvesting robot. J. Robot. Mechatron. 2013, 25, 705–717.

30. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Upravlenie i informacionnoe obespechenie innovacionnymi tekhnologicheskimi processami v rastenievodstve [Management and information support of innovative technological processes in crop production] // Sbornik nauchnyh dokladov VIM. 2010. T. 1. S. 47-58.

31. Izmajlov A.YU., Horoshenkov V.K. Avtomatizirovannye informacionnye tekhnologii v proizvodstvennyh processah rastenievodstva [Automated information technologies in crop production processes] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2010. № 4. S. 3-9.

32. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P., Smirnov I.G., Hort D.O. Aktual'nye problemy sozdaniya novyh mashin dlya promyshlennogo sadovodstva [Actual problems of creating new machines for industrial gardening] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2013. № 3. S. 20-23.

УДК 621.793.72

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

RESTORATION OF THE INNER SURFACE OF THE CYLINDER LINERS OF DIESEL ENGINES OF AGRICULTURAL MACHINERY BY ELECTRIC ARC METALLIZATION

***А.А. ТОЛКАЧЕВ**, младший научный сотрудник, **Б.А. МАТЮШКИН**, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, **В.И. ДЕНИСОВ**, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***A.A. TOLKACHEV**, Junior researcher, **B.A. MATYUSHKIN**, doctor of technical Sciences, Professor, leading researcher, **V.I. DENISOV**, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Мировой опыт показывает, что ремонтное производство является экономически оправданным. Восстановление изношенных деталей двигателей внутреннего сгорания способно обеспечить предприятия агропромышленного комплекса (АПК) запасными частями и обеспечить повторное использование изношенных деталей, в частности, гильз цилиндров автотракторных двигателей.*

Практика показала, что ресурс двигателя во многом зависит от износа деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и в первую очередь это относится к гильзам цилиндров. На долю дизельных двигателей сельскохозяйственной техники приходится 36…52 % от общего количества отказов.

Данный дефект (выход из строя сельскохозяйственной техники из-за износа внутренней поверхности гильз цилиндров) довольно-таки распространён, и связан он не только с неправильной эксплуатацией, но и с особенностями работы цилиндропоршневой группы.

Изношенные гильзы цилиндров восстанавливаются в недостаточном количестве из-за отсутствия простых, недорогих, производительных способов восстановления и упрочнения.

Качественное восстановление гильз цилиндров при его низкой себестоимости позволит снизить расход новых запасных частей машинотракторного парка. Анализ возможности восстановления гильз цилиндров свидетельствует об их высокой

***Abstract**. World experience shows that repair production is economically justified. Restoration of worn-out parts of internal combustion engines is able to provide enterprises of agroindustrial complex (AIC) with spare parts and ensure the reuse of worn-out parts, in particular, cylinder liners of automotive engines.*

Practice has shown that the life of the engine depends on the wear of the cylinder-piston group (CPG) first and foremost, this refers to the cylinder liners. The share of diesel engines of agricultural machinery accounts for 36 ... 52% of the total number of failures.

This defect (failure of agricultural machinery due to wear and tear of the inner surface of cylinder liners) is quite common, and it is associated not only with improper operation, but also with the peculiarities of the work of the cylinder group.

Worn cylinder liners are restored in insufficient quantity due to the lack of simple, inexpensive, productive ways of restoration and strengthening.

High-quality restoration of cylinder liners at its low cost will reduce the consumption of new spare parts of the machine-tractor fleet. Analysis of the possibility of cylinder liners restoration testifies to their high maintainability.

Among the many technological processes of restoration of cylinder liners

ремонтопригодности.

Среди многих технологических процессов восстановления гильз цилиндров двигателей сельскохозяйственной техники заслуживает внимания метод электродуговой металлизации, позволяющий уменьшить интенсивность их износа, восстановить посадочные пояски и внутреннюю поверхность гильз цилиндров, в том числе чугунных и имеющих ребра охлаждения.

В работе представлены и проанализированы результаты исследований адгезионных свойств покрытий, полученных на внутренней поверхности гильзы электродуговой металлизацией. Даны рекомендации по используемой проволоки при восстановлении гильз цилиндров автотракторных двигателей.

***Ключевые слова**: электродуговая металлизация, льный двигатель, гильза цилиндра, адгезия.*

of agricultural machinery, the method of electric arc metallization deserves attention, which allows to reduce the intensity of their wear, to restore the landing belts and the inner surface of cylinder liners, including cast iron and having cooling ribs.

The paper presents and analyzes the results of studies of the adhesive properties of coatings obtained on the inner surface of the sleeve by arc metallization. The recommendations of the wire used in the restoration of cylinder liners of automobile and tractor engines.

***Keywords**: electric arc metallization, diesel engine, cylinder liner, adhesion.*

Ресурс двигателя во многом зависит от износа деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и в первую очередь это относится к гильзам цилиндров.

Изношенные гильзы цилиндров восстанавливаются в недостаточном количестве из-за отсутствия простых, недорогих, производительных способов восстановления и упрочнения.

О необходимости и возможности исправления геометрии как наружных, так и внутренних поверхностей гильз отмечено в работах [1-3].

Сущность электродуговой металлизации (ЭДМ) заключена в расплавлении электрической дугой металла и диспергировании его сжатым воздухом с последующим нанесением на предварительно подготовленную поверхность изделия [4].

Технологический процесс ЭДМ путем нанесения специальных металлических покрытий на рабочую поверхность детали улучшает ее служебные характеристики.

Диспергированные частицы металла в жидком и твердожидком состоянии разгоняются в потоке воздуха (газа) при помощи специального устройства (металлизатора) и создают условия для закрепления металлических частиц на поверхности [5-8].

Особенность процесса заключается в нанесении необходимых металлических покрытий путем распыления воздушным потоком двух электродных проволок, между которыми возбуждают дуговой разряд. Струя сжатого воздуха переносит с электродов расплавленные частицы металла в диспергированном состоянии на подготовленную поверхность детали и формирует покрытие заданного свойства [9].

Цель исследований – подбор материалов для придания металлизированному слою, нанесенному на внутреннюю поверхность гильз цилиндров дизельных двигателей, высоких адгезионных свойств (σ не 20 МПа).

Для проведения исследований на адгезию было изготовлено из чугуна марки ВЧ приспособление (рисунок 1), на внутреннюю поверхность которого проволоками различных марок (таких как Св-08ГА, ППМ-6, ППМ-2 и ПП-ТП-1) наносился слой. Далее данный слой отрывался на машине разрывной Р-05 и по формуле (1) производились расчёты адгезионной прочности сцепления.

$$\sigma = F / S, \quad (1)$$

где σ – адгезия, МПа;

F – сила (прилагаемое усилие), МПА/мм^2;

S – площадь поверхности, мм^2.

На Рис. 1 изображен эскиз приспособления для проведения данных испытаний.

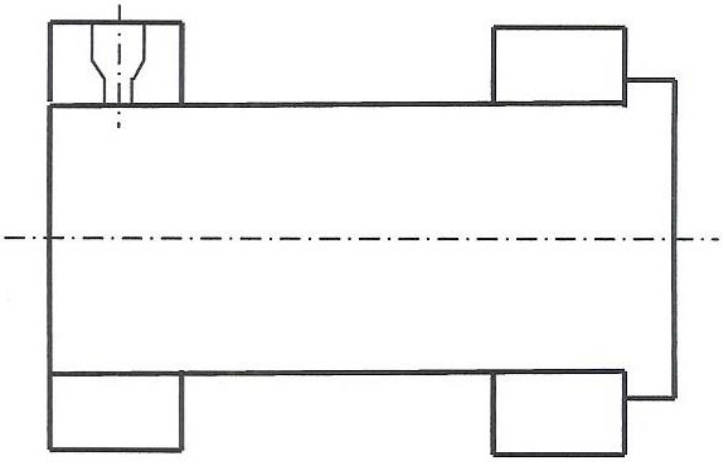


Рисунок 1 – Приспособление для проведения испытаний на адгезию гильз цилиндров

Наиболее хорошие результаты получены на проволоках ППМ-6 и ППМ-2. Результаты испытаний показаны в Табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний на адгезию гильз цилиндров

Номер образца	Деталь	Режимы	Результаты	Примечание
1	штифт	Проволока порошковая ППМ-6 Ø2,2 мм; Предварительно струйно-корундовая обработка при давлении воздуха P = 0,5 МПа; Ø до металлизации – 121,8 мм; Ø после металлизации – 124,6 мм; $P_{возд.}$ = 0,6 МПа; V = 30 В; I = 300 А; L = 69мм; Скорость вращения шпинделя = 75 об/мин.	F = 925 МПа/мм^2; S = 27,88 мм^2; σ ≈ 33,18 МПа	-
2	- // -	- // -	F = 900 МПа/мм^2; S = 27,88 мм^2; σ ≈ 32,28 МПа	-
3	- // -	- // -	F = 1070 МПа/мм^2; S = 28,07 мм^2; σ ≈ 38,12 МПа	-

4	- // -	- // -	F = 980 МПа/мм^2; S = 27,97 мм^2; σ ≈ 35,04 МПа	-
5	- // -	- // -	F = 990 МПа/мм^2; S = 27,88 мм^2; σ ≈ 35,51 МПа	-
6	- // -	- // -	F = 1111 МПа/мм^2; S = 28,07 мм^2; σ ≈ 39,58 МПа	-
7	- // -	Проволока порошковая ППМ-2 Ø2,4 мм; Предварительно струйно-корундовая обработка при давлении воздуха P = 0,5 МПа; Ø до металлизации – 121,8 мм; Ø после металлизации – 124,6 мм; Рвозд. = 0,6 МПа; V = 30 В; I = 300 А; L = 69мм; Скорость вращения шпинделя = 75 об/мин.	F = 750 МПа/мм2; S = 27,78 мм2; σ ≈ 27 МПа	-
8	- // -	- // -	F = 790 МПа/мм2; S = 27,78 мм2; σ ≈ 28,44 МПа	-
9	- // -	- // -	F = 840 МПа/мм2; S = 27,88 мм2; σ ≈ 30,13 МПа	-
10	- // -	- // -	F = 605 МПа/мм^2; S = 27,69 мм^2; σ ≈ 21,85 МПа	-
11	- // -	- // -	F = 680 МПа/мм^2; S = 27,69 мм^2; σ ≈ 24,56 МПа	-
12	- // -	- // -	F = 700 МПа/мм^2; S = 27,69 мм^2; σ ≈ 25,28 МПа	-

Для придания напыленному слою высоких адгезионных свойств перед металлизацией внутренней поверхности гильзы цилиндра применяют комбинированный процесс предварительной подготовки детали: токарную и струйно-корундовую обработки [9].

Участок электродуговой металлизации комплектовался компрессором для обеспечения необходимого давления воздуха с учетом производительности, который обеспечивает рабочее давление воздуха 0,5 – 0,8МПа и расходе его не менее 1,8 м^3/мин. В качестве источника тока с жесткой вольтамперной характеристикой применяют (ВДУ-506, ВС-600, ТИМЕЗ 500 и другие), которые необходимы для равномерного расплавления металла электродной проволоки и последующего ее диспергирования [11].

Из Табл. 1 видно, что средние значения адгезии ($\sigma_{ср}$) при использовании проволок ППМ-6 (образцы с 1 по 6 включительно) и ППМ-2 (образцы с 7 по 12

включительно) намного превышают ($\sigma_{ср} \approx 35{,}62$ МПа и $\sigma_{ср} \approx 26{,}21$ МПа соответственно) минимальную адгезию ($\sigma_{min} = 20$ МПа), необходимую для безаварийной работы гильзы после восстановления. Эти проволоки могут быть рекомендованы для восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров.

Технология восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров с обоснованием режимов электродуговой металлизации была предложена для проведения производственных испытаний на 81-ом БТРЗ.

Список литературы

1 Применение электроискрового и холодного газодинамического методов нанесения металлопокрытий при ремонте блоков цилиндров [Текст] / В. И. Иванов, А. Ю. Костюков, В. А. Денисов, Н. В. Раков, А. В. Потапов // Журнал «Ремонт, восстановление, модернизация». – 2012. – № 3. – С.11-15.

2 Черноиванов, В. И. Восстановление гильз цилиндров двигателей ЯМЗ [Текст] / В. И. Черноиванов, Л. М. Бобоюдо, В. К. Евтеев // Журнал «Сварочное производство». – 1979. – Вып. 10. – С. 13-16.

3 Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. В сборнике: ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ. Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства, 2017, С. 333-343.

4 Денисов, В. И. Восстановление деталей методом сверхзвуковой электродуговой металлизации (технологический процесс): стандарт организации / В. И. Денисов, А. А. Толкачёв, Н. Н. Литовченко, В. А. Казакова, В. А. Шинкевич // ФГБНУ ГОСНИТИ. – 2015. -2 п. л.

5 Улучшение физико-механических свойств покрытий, полученных электродуговой металлизацией [Текст] / А. В. Коломейченко, И. Н. Кравченко, В. Н. Логачев, Н. Н. Литовченко, А. Ф. Пузряков // Журнал «Строительные и дорожные машины». – 2015. – № 7. – С. 25-29.

6 Газотермическое напыление [Электронный ресурс]. URL: http://ural-welding.ru/ru/ articles/gazotermicheskoe-napylenie/sverhzvukovoe-gazovozdushnoe-napylenie.html.

7 Логачев, В. Н. Электродуговая металлизация: пути совершенствования оборудования и технологии [Текст] / В. Н. Логачев, Н. Н. Литовченко // Журнал «Труды ГОСНИТИ». – 2014. – Т 117. – С. 228-234.

8 Лялякин, В.П. Исследование процесса газодинамического диспергирования металла при электродуговой металлизации [Текст] / В. П. Лялякин // Науч. тр. / ВНИИТУВИД «РЕМДЕТАЛЬ». – М., 1999. – Восстановление и упрочнение деталей машин. – С. 5-27.

9 Электродуговая металлизация — URL: http://www.weldsol.ru/.

10 Толкачёв, А. А. Применение электродуговой металлизации для восстановления гильз цилиндров дизельных двигателей сельскохозяйственной техники / А. А. Толкачёв, В. И. Денисов, Б. А. Матюшкин // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 126. – С. 179-182.

11 Толкачёв, А. А. Повышение износостойкости гильз цилиндров дизельных двигателей / А. А. Толкачёв, В. И. Денисов, Б. А. Матюшкин // Сварочное производство. – 2016. – № 9. – С. 48-51.

References

1 Primenenie ehlektroiskrovogo i holodnogo gazodinamicheskogo metodov naneseniya metallopokrytij pri remonte blokov cilindrov [The use of electric-spark and cold gas-dynamic methods of applying metal plating during repair of cylinder blocks] / V. I. Ivanov, A. YU. Kostyukov, V. A. Denisov, N. V. Rakov, A. V. Potapov // ZHurnal «Remont, vosstanovlenie, modernizaciya». – 2012. – No. 3. – pp.11-15.

2 CHernoivanov, V. I. Vosstanovlenie gil'z cilindrov dvigatelej YAMZ [Restoration of cylinder liners of engines YMZ] / V. I. CHernoivanov, L. M. Boboyudo, V. K. Evteev // ZHurnal «Svarochnoe proizvodstvo». – 1979. – Vyp. 10. – pp. 13-16.

3 Lobachevskij YA.P., Dorohov A.S. Perspektivnye nauchno-tekhnicheskie proekty v sfere mekhanizacii i robotizacii sel'skogo hozyajstva. V sbornike: FORMIROVANIE EDINOGO NAUCHNO-TEKHNOLOGICHESKOGO PROSTRANSTVA SOYUZNOGO GOSUDARSTVA: PROBLEMY, PERSPEKTIVY, INNOVACII. Materialy postoyanno dejstvuyushchego seminara pri Parlamentskom Sobranii Soyuza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva [Promising scientific and technical projects in the field of mechanization and robotization of agriculture. In the collection: FORMATION OF THE UNIFIED SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SPACE OF THE UNION STATE: PROBLEMS, PROSPECTS, INNOVATIONS. Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State], 2017, pp. 333-343.

4 Denisov, V. I. Vosstanovlenie detalej metodom sverhzvukovoj ehlektrodugovoj metallizacii (tekhnologicheskij process): standart organizacii [Restoration of parts by the method of supersonic arc metallization (technological process): organization standard] / V. I. Denisov, A. A. Tolkachyov, N. N. Litovchenko, V. A. Kazakova, V. A. SHinkevich // FGBNU GOSNITI. – 2015. -2 p. l.

5 Uluchshenie fiziko-mekhanicheskih svojstv pokrytij, poluchennyh ehlektrodugovoj metallizaciej [Improving the physicomechanical properties of coatings obtained by arc metallization] / A. V. Kolomejchenko, I. N. Kravchenko, V. N. Logachev, N. N. Litovchenko, A. F. Puzryakov // ZHurnal «Stroitel'nye i dorozhnye mashiny». – 2015. – No. 7. – pp. 25-29.

6 Gazotermicheskoe napylenie [Thermal spraying]. URL: http://ural-welding.ru/ru/articles/gazotermicheskoe-napylenie/sverhzvukovoe-gazovozdushnoe-napylenie.html.

7 Logachev, V. N. EHlektrodugovaya metallizaciya: puti sovershenstvovaniya oborudovaniya i tekhnologii [Electric metallization: ways to improve equipment and technology] / V. N. Logachev, N. N. Litovchenko // ZHurnal «Trudy GOSNITI». – 2014. – T 117. – pp. 228-234.

8 Lyalyakin, V.P. Issledovanie processa gazodinamicheskogo dispergirovaniya metalla pri ehlektrodugovoj metallizacii [Investigation of the process of gas-dynamic dispersion of metal during arc metallization] / V. P. Lyalyakin // Nauch. tr. / VNIITUVID «REMDETAL'». – M., 1999. – Vosstanovlenie i uprochnenie detalej mashin. – pp. 5-27.

9 EHlektrodugovaya metallizaciya [Arc metallization] — URL: http://www.weldsol.ru/.

10 Tolkachyov, A. A. Primenenie ehlektrodugovoj metallizacii dlya vosstanovleniya gil'z cilindrov dizel'nyh dvigatelej sel'skohozyajstvennoj tekhniki [The use of arc metallization to restore the cylinder liners of diesel engines of agricultural machinery] / A. A. Tolkachyov, V. I. Denisov, B. A. Matyushkin // Trudy GOSNITI. – 2017. – T. 126. – pp. 179-182.

11 Tolkachyov, A. A. Povyshenie iznosostojkosti gil'z cilindrov dizel'nyh dvigatelej [Improving the durability of cylinder liners for diesel engines] / A. A. Tolkachyov, V. I. Denisov, B. A. Matyushkin // Svarochnoe proizvodstvo [Welding production]. – 2016. – No. 9. – pp. 48-51.

УДК [621.85.051.5+621.85.05-036/037]:629.033

УТОЧНЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ЦЕВОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ ВЕДУЩИХ КОЛЕС С РЕЗИНОАРМИРОВАННЫМИ ГУСЕНИЦАМИ

DETAILED RESEARCH OF LOAD AND GEOMETRIC FACTORS IN PIN ENGAGEMENT OF DRIVE SPROCKET WITH RUBBER-REINFORCED TRACKS

Р.С. ФЕДОТКИН, *кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник,* ***К.А. БОГДАНОВ,*** *аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

R.S. FEDOTKIN*, candidate of technical Sciences, head of laboratory, leading researcher,* ***K.A. BOGDANOV****, PhD student, Junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Разработана расчетная схема сил в цевочном зацеплении ведущего колеса с резиноармированной гусеницей. Произведено описание силовых и геометрических факторов в цевочном зацеплении. Выведена аналитическая зависимость для расчета оптимальной величины угла давления в контакте элементов зацепления, что позволит уточнить существующую методику проектирования цевочного зацепления ведущего колеса с резиноармированной гусеницей. Приведен и апробирован на примере конкретной гусеничной машины графоаналитический метод определения диапазона равновесного положения цевки на ВК с рекомендациями по выбору оптимального угла давления. Сформированы направления дальнейших исследований, в т.ч. по интеллектуализации процессов в гусеничном зацеплении и ходовой системе в целом.*

Ключевые слова*: тяговые и транспортные машины; ходовая система; цевочное зацепление; резиноармированная гусеница; ведущее колесо; угол давления.*

Abstract*. The design scheme of forces in the Central gearing of the driving wheel with rubber-reinforced caterpillar is developed. The description of force and geometric factors in the axillary engagement is made. The analytical dependence for the calculation of the optimal value of the pressure angle in the contact of the gearing elements is derived, which will allow to clarify the existing design methodology of the drive wheel pinion engagement with rubber-reinforced caterpillar. A graphoanalytical method for determining the range of the equilibrium position of the shank on the VC with recommendations for choosing the optimal pressure angle is presented and tested on the example of a specific tracked vehicle. The directions of further research, including the intellectualization of the processes in the tracked engagement and the running system as a whole.*

Keywords*: traction and transportation vehicles; undercarriage; pin engagement; rubber-reinforced tracks; engagement element; drive sprocket; pressure angle.*

Цевочный тип зацепления в настоящее время по-прежнему широко распространен на тяговых и транспортных машинах различного назначения, несмотря на оснащение техники резиноармированными гусеницами (РАГ), имеющими неоспоримые преимущества над гусеницами других типов [1-4].

Узел гусеничного зацепления в еще большей степени подвержен влиянию повышенных динамических нагрузок при комплектации машины РАГ в виду

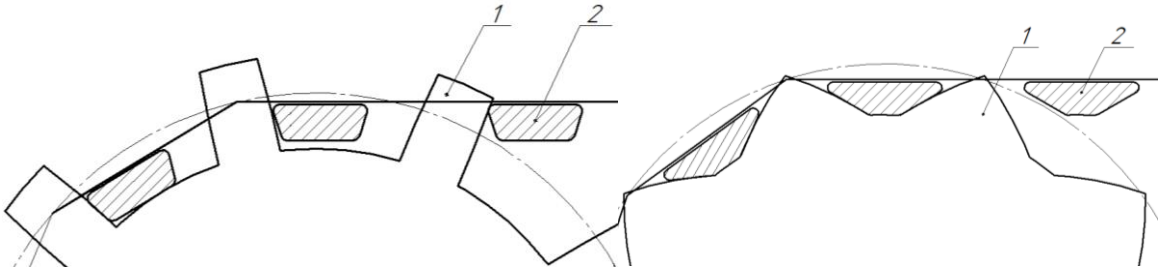
ощутимых конструктивных отличий РАГ от металлических гусениц, включая их продольную податливость и отсутствие силового равновесия цевки на ВК [5-8].

Эти обстоятельства приводят к интенсивному накоплению повреждений и отказов элементов гусеничного зацепления, и зубьев ведущих колес (ВК) в частности, в т.ч. из-за повышенного взаимного трения рабочих поверхностей элементов зацепления.

Очевидной является необходимость создание методики проектирования ВК под РАГ. К настоящему моменту такая методика, учитывающая особенности конструкции РАГ отработана [6,7] и апробирована в конструкции шасси самоходного гусеничного опрыскивателя, что подтверждено экспериментальными исследованиями [8].

Однако при проектировании ВК возникают трудности с определением оптимальной величины угла давления. Существующие рекомендации позволяют определить это значение приблизительно для ВК с ограниченным числом зубьев (11-16). На практике же число зубьев может варьироваться в более широком диапазоне.

Угол давления имеет большое значение в обеспечении работоспособности узла зацепления и ходовой системы в целом: влияет на вход и выход цевок из зацепления и устойчивое положение цевки при движении по дуге охвата (т.е. на обеспечение силового равновесия между цевкой и зубом ВК). При малых значениях угла давления (Рис. 1, *а*) затруднен вход и выход цевки из зацепления (т.к. зуб в этом случае имеет прямоугольную форму). При слишком больших значениях угла давления (Рис. 1, *б*) уменьшается высота зуба, что может быть причиной спадания гусеницы с ВК.



а) *б)*

Рисунок 1 - ВК с различными значениями угла давления: а) – ВК с маленьким значением угла давления; б) – ВК с большим значением угла давления; 1 – зуб ВК; 2 – цевка РАГ

Исходя из вышесказанного, уточнение значения угла давления при проектировании ВК цевочного зацепления является весьма актуальным.

Доработка методики проектирования ВК цевочного зацепления с РАГ, учитывающей конструктивные особенности последней, за счет разработки графоаналитического метода определения оптимального диапазона значений угла давления, при котором обеспечивается равновесное положение цевки при движении по дуге охвата ВК, а также апробация данного метода на примере конкретной конструкции гусеничной ходовой системы.

В основу настоящей работы положена разработанная ранее методика проектирования ВК цевочного зацепления с РАГ [6-8], исследования силовых и

геометрических факторов в цевочном зацеплении звенчатых металлических гусениц [5,9] проф. Платонова В.Ф., Медведева М.И, в т.ч. с упругими шарнирами, а также результаты ранее проведенных авторами расчетно-теоретических исследований силовых и геометрических факторов в зацеплении ВК и РАГ.

На Рис. 2 показана уточненная схема действия сил и моментов в цевочном зацеплении ВК и РАГ.

Система уравнений сил относительно осей *x* и *y* и моментов относительно условного шарнира А примет вид:

$$\begin{cases} N_i + T_{\text{сб}_i} \cdot \cos\left(\Theta + \dfrac{\alpha}{2}\right) - T_{\text{н}_i} \cdot \cos\left(\Theta - \dfrac{\alpha}{2}\right) = 0; \\ T_{\text{м}_i} + T_{\text{н}_i} \cdot \sin\left(\Theta - \dfrac{\alpha}{2}\right) - T_{\text{сб}_i} \cdot \sin\left(\Theta + \dfrac{\alpha}{2}\right) = 0; \\ T_{H_i} \cdot l - N_i \cdot d - T_{\text{м}_i} \cdot \text{c} + \text{М}_{\text{изг}} - \text{М}_{\text{Р}} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

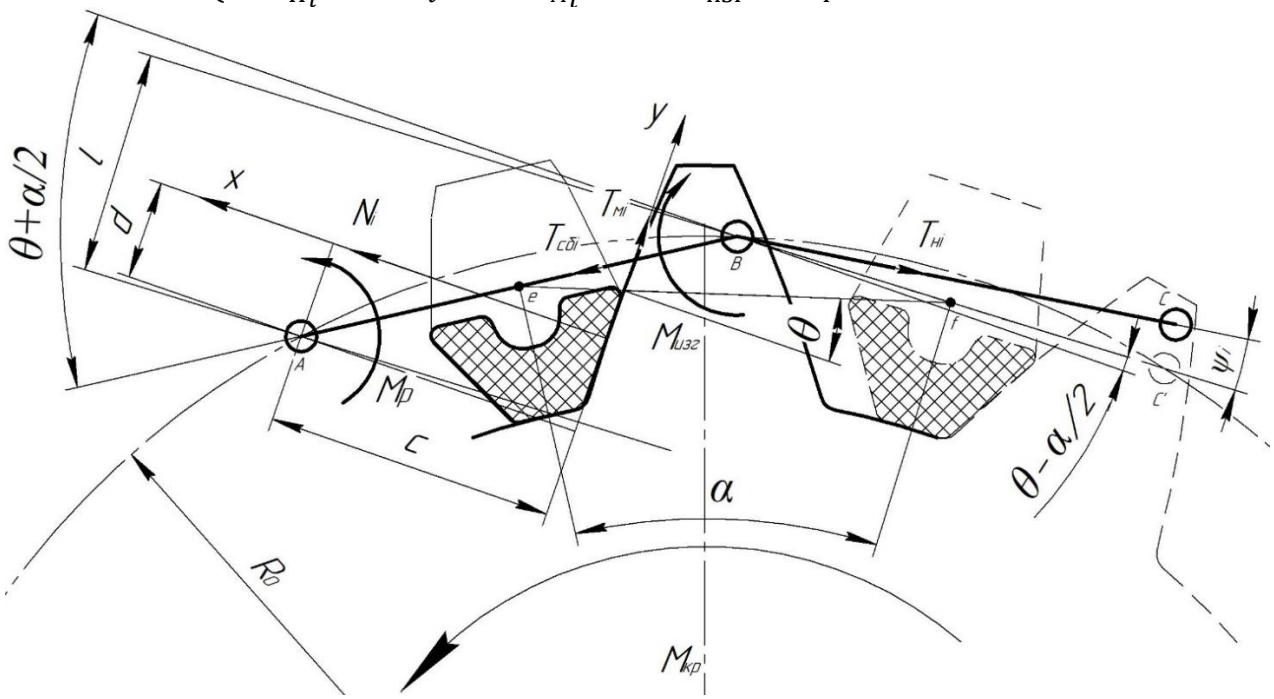


Рисунок 2 - Схема сил в цевочном зацеплении с резиноармированной гусеницей для i-й цевки РАГ: $T_{\text{н}i}$, $T_{\text{сб}i}$ – растягивающее усилие со стороны набегающего и сбегающего участка ветви соответственно; N_i, $T_{\text{м}i}$ – соответственно нормальная и касательная силы в контакте зуба с цевкой; θ – угол давления; α – центральный угол зацепления; $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент в условном шарнире РАГ; M_P – реактивный момент от изгибающего момента; ψ_i – угол, смещения цевки, возникающий из-за продольной податливости РАГ; R_0 – радиус начальной окружности ВК; A, B, C – условные шарниры РАГ; C' – условный шарнир РАГ, смещенный с учетом продольной податливости РАГ; e, f – центры элементов зацепления РАГ; c, d, l – плечи действия усилий $T_{\text{м}i}$; N_i и $T_{\text{н}i}$ соответственно

Согласно данной схеме, из всех геометрических факторов основное влияние на равновесное положение цевки при ее движении по дуге охвата оказывает угол давления θ и центральный угол зацепления α.

Равновесное положение цевки обеспечивается в некотором диапазоне. Границы этого диапазона определяются коэффициентом трения μ между цевкой

и зубом. Скольжение будет происходить только если сила $T_{\text{м}_i}$ превысит $\mu \times N_i$. Тогда система уравнений запишется в следующем виде:

$$\begin{cases} N_i + T_{\text{сб}_i} \cdot \cos\left(\Theta + \frac{\alpha}{2}\right) - T_{\text{н}_i} \cdot \cos\left(\Theta - \frac{\alpha}{2}\right) = 0; \\ \pm\mu \cdot N_i + T_{\text{н}_i} \cdot \sin\left(\Theta - \frac{\alpha}{2}\right) - T_{\text{сб}_i} \cdot \sin\left(\Theta + \frac{\alpha}{2}\right) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В приведенной формуле знак плюс соответствует случаю, когда сила трения $\mu \times N_i$ направлена к вершине зубьев, т.е. цевка стремится скользить к основанию, знак минус – когда сила трения направлена к основанию зубьев.

Полученное выражение определяет взаимосвязи между текущими растягивающими усилиями и геометрическими параметрами зацепления: углом давления θ и углом зацепления α. В приведенных зависимостях, силы выражены через текущие, промежуточные величины, соответствующие i-му положению цевки на дуге охвата. Их можно выразить через усилия натяжения в рабочей $\text{Т}_\text{р}$ и свободной $\text{Т}_\text{св}$ ветвях. Для этого рассмотрим схему сил, действующих по всей окружности ВК (Рис. 3).

Согласно приведенной схеме сил, взаимосвязи между усилиями в ветвях следующие: $T_{\text{н}_1} = \text{Т}_\text{р}$; $T_{\text{сб}_n} = \text{Т}_\text{св}$; $\text{Т}_{\text{н}_{i+1}} = T_{\text{сб}_i}$.

Учитывая эти взаимосвязи, можно выразить для каждой цевки предельную силу, действующую на нее со стороны сбегающей или набегающей ветви через рабочее усилие натяжения:

$$T_{\text{сб}_i} = \text{Т}_\text{р} \cdot \left[\frac{\sin\left(\Theta - \frac{\alpha}{2}\right) \pm \mu \cdot \cos\left(\Theta - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\Theta + \frac{\alpha}{2}\right) \pm \mu \cdot \cos\left(\Theta + \frac{\alpha}{2}\right)}\right]^i \quad (3)$$

Здесь i – одна из цевок РАГ, входящих в зацепление с ВК.

Предельное отношение между силой натяжения в свободной и рабочей ветви:

$$\frac{\text{Т}_\text{св}}{\text{Т}_\text{р}} = \left[\frac{\sin\left(\Theta - \frac{\alpha}{2}\right) \pm \mu \cdot \cos\left(\Theta - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\Theta + \frac{\alpha}{2}\right) \pm \mu \cdot \cos\left(\Theta + \frac{\alpha}{2}\right)}\right]^n \quad (4)$$

Здесь n – число цевок на дуге охвата ВК (входящих в зацепление).

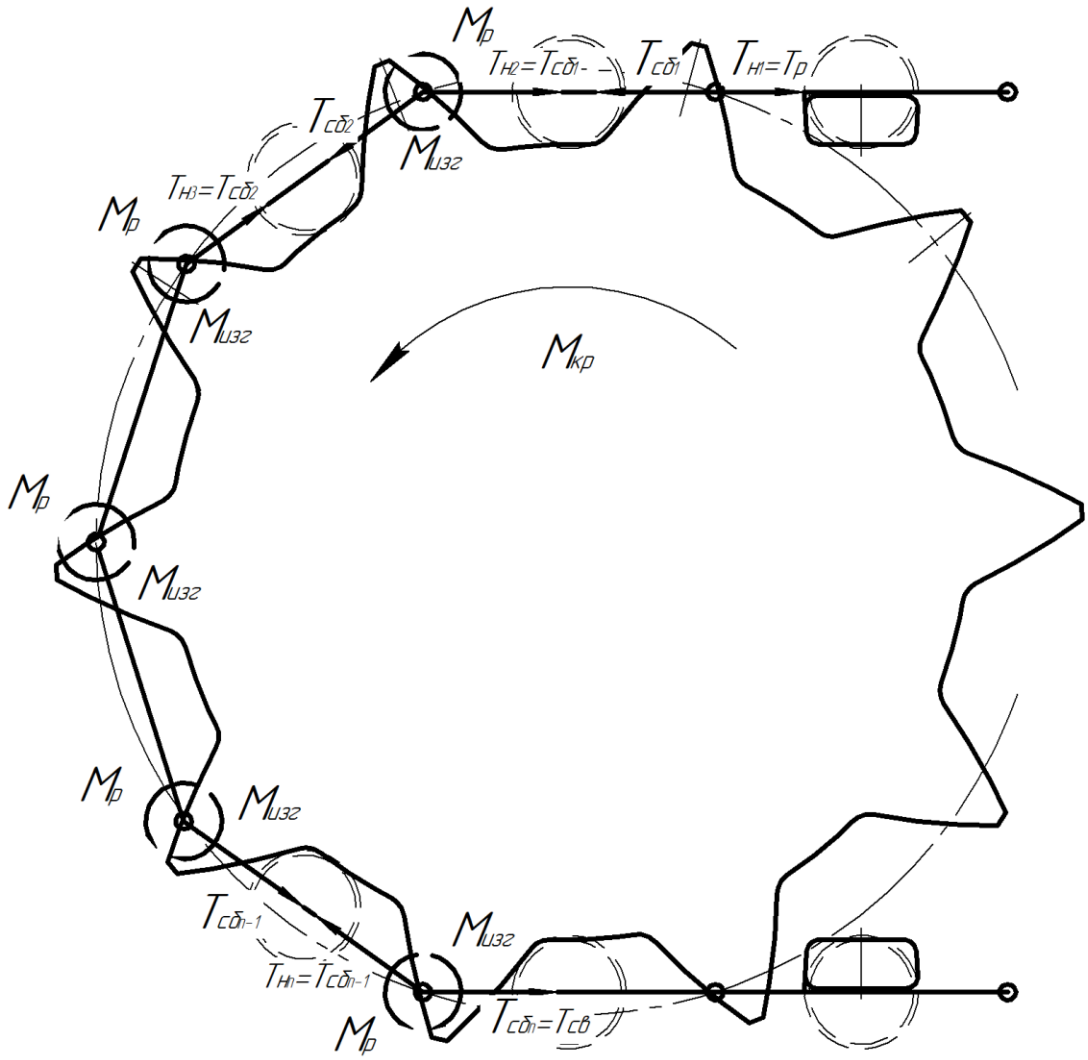


Рисунок 3 - Схема сил на дуге зацепления

Из последнего выражения можно выразить угол давления Θ для равновесного положения цевки при движении по дуге охвата:

$$\operatorname{tg}\Theta = \frac{\left(\sin\frac{\alpha}{2} \pm \mu \cdot \cos\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt[n]{\frac{T_{св}}{T_р}} + \sin\frac{\alpha}{2} \mp \mu \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}{\cos\frac{\alpha}{2} \pm \mu \cdot \sin\frac{\alpha}{2} - \sqrt[n]{\frac{T_{св}}{T_р}} \cdot \left(\cos\frac{\alpha}{2} \mp \mu \cdot \sin\frac{\alpha}{2}\right)} \qquad (5)$$

На основании выведенной формулы целесообразно для конкретных конструкций гусеничного зацепления на примере различных тяговых и транспортных машин графически определить диапазон оптимальных углов давления.

Для этого построим график зоны равновесного положения цевки (Рис. 4) для узла зацепления гусеничного опрыскивателя, описанного в работе [10], которому соответствуют следующие значения величин μ = 0,18 (коэффициент

трения сталь по стали); n = 5 и α = 36 (число зубьев $z_{вк}$ = 10). Из графика видно что в зависимости от геометрических параметров и отношения $\mathrm{T_{св}}/\mathrm{T_р}$ цевка может скользить к основанию зуба, либо к его вершине. На графике зона *А* (левее кривой *1*) соответствует случаю, когда цевка скользит к основанию, зона *В* (правее кривой *2*), когда цевка скользит к вершине, зона *Б* (между кривыми *1* и *2*) соответствует равновесному положению цевки.

Диапазон изменения отношения растягивающих усилий в ветвях зависит от тягового усилия по сцеплению, которое в свою очередь зависит от массы опрыскивателя. Масса опрыскивателя изменяется от 500 до 900 кг в зависимости от наполнения бака с рабочим раствором. Растягивающие усилия в свободной и рабочей ветви определяются по формулам [1]:

$$T_{\text{св}} = \mathrm{T_{ст}} - \frac{\mathrm{P_{ВК}}}{1 + l_{\text{св}}/l_{\text{р}}} \tag{6}$$

$$T_p = T_{\text{ст}} + \frac{\mathrm{P_{вк}}}{1 + l_{\text{р}}/l_{\text{св}}} \tag{7}$$

$$\mathrm{P_{вк}} = \frac{f_m \cdot G_m}{2 \cdot \eta_{\text{гд}}} \tag{8}$$

где $\mathrm{T_{ст}}$ – статическое натяжение гусеницы; $\mathrm{P_{ВК}}$ – тяговое усилие на ведущем колесе; $l_{\text{св}}$ – длинна свободной ветви гусеничного обвода; $l_{\text{р}}$ – длинна рабочей ветви гусеничного обвода; f_m– коэффициент сопротивления движению; G_m – вес машины;. $\eta_{\text{гд}}$ – КПД гусеничного движителя.

Получим, что значение $\mathrm{T_{св}}/\mathrm{T_р}$ при постоянном усилии статического натяжения изменяется от 0 до 0,45. На графике заштрихована область, в которой обеспечивается наиболее устойчивое положение цевки.

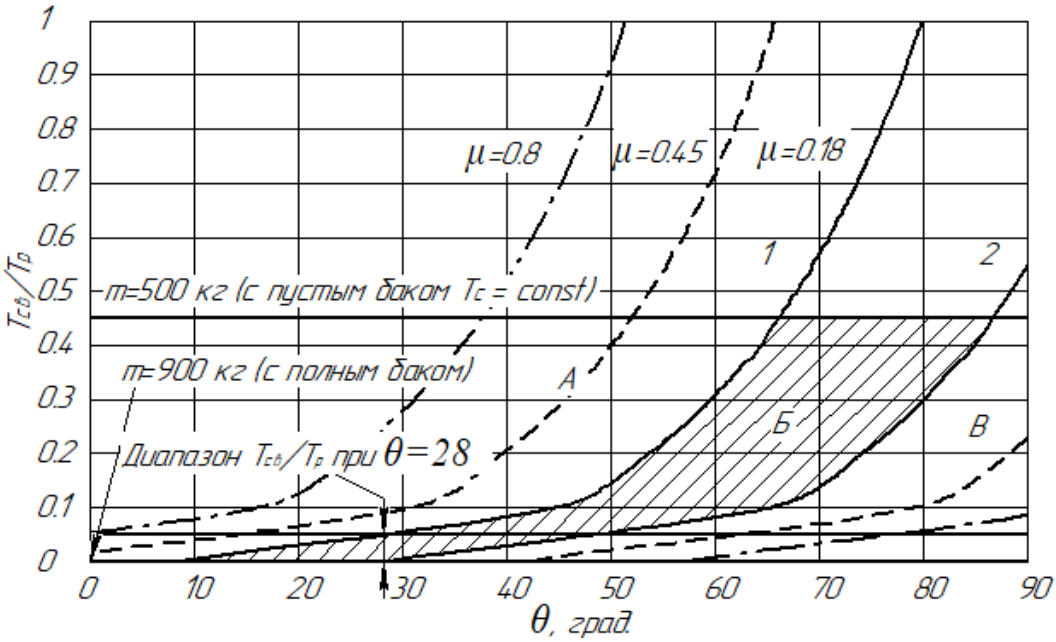


Рисунок 4 - График диапазона равновесного положения цевки: А – зона, соответствующая скольжению цевки к основанию; Б – зона, соответствующая равновесному положению цевки; В – зона, соответствующая скольжению цевки к вершине; μ = 0,18 – коэффициент трения сталь по стали; μ = 0,45 – коэффициент трения полиуретана по металлу; μ = 0,8 – коэффициент трения металла по резине.

Из графика видно, что для опрыскивателя с полным баком нужно принимать угол давления в диапазоне от 8 до 28 градусов, а с пустым баком от 67 до 87. Отсюда вывод, что невозможно задать такой угол давления, при котором будет обеспечиваться устойчивое положение цевки при различном тяговом усилии для данной машины.

Эта проблема решается путем изменения усилия предварительного статического натяжения гусеницы таким образом, чтобы отношение $T_{св}/T_р$ сохранялось в определенном диапазоне.

Здесь очевидна необходимость применения специальных амортизационно-натяжных устройств [11] с интеллектуальной системой изменения усилия натяжения гусеницы в зависимости от изменяющейся массы машины и соответственно реализуемой ею силой тяги по сцеплению с опорной поверхностью.

Путем геометрического построения ВК с различным значением угла давления было выявлено, что при значении числа зубьев равным 10, нежелательно принимать значение угла давления более 30 градусов, т.к. при больших значениях этого угла уменьшается высота зуба и соответственно устойчивость зацепления.

Исходя из этого обстоятельства и графика равновесного положения цевки угол давления составит 28 градусов при значении отношения $T_{св}/T_р$ равном от 0 до 0,05.

Для расширения диапазона равновесного положения цевки при движении по дуге охвата можно использовать материалы с повышенным коэффициентом

трения, например, полимерно-композитные материалы. На графике штриховой линией изображен диапазон равновесного положения цевки при использовании в качестве материала зубьев полиуретана с коэффициентом трения по стали 0,45. Равновесие цевки в этом случае достигается в более широком диапазоне изменения отношения $T_{св}/T_р$. Например, для гусеничного опрыскивателя с углом зацепления 28 градусов изменение этого отношения допускается в интервале от 0 до 0,095, что значительно шире чем при использовании ВК из стали. При использовании в конструкции ВК зубьев из полимерно-композитных материалов, несмотря на большой коэффициент трения износ элементов зацепления будет меньшим, чем при использовании пары трения сталь по стали из-за более высокой износостойкости данного материала [12].

Цевки новой РАГ покрыты резиновым облоем толщиной 3-4 мм. На графике штрихпунктирной линией изображен диапазон равновесного состояния цевки для новой гусеницы, который значительно шире, чем для гусеницы, у которой в процессе эксплуатации резиновый облой содран. Поэтому при проектировании узла зацепления следует задавать угол давления, соответствующий устойчивому положению цевки при коэффициенте трения стали по стали.

Подпор траков (звеньев) РАГ позволит выбирать небольшие значения угла давления, при которых при любых значениях отношения $T_{св}/T_р$ будет отсутствовать скольжение цевок к вершине зубьев.

Необходимо также отметить, что в рамках реализации государственных мероприятий по внедрению цифровых и интеллектуальных технологий в различные отрасли экономики актуальным направлением является интеллектуализация гусеничных ходовых систем сельскохозяйственного назначения.

Применительно к узлу гусеничного зацепления эта тенденция может быть отражена в создании технических решений по автоматически регулируемым площадкам подпора, изменяемым радиусам ВК для увеличения диапазона скоростей машины, системам контроля технического состояния зубьев и цевок гусеницы, а также системам очистки поверхностей зацепления от грязи и абразива.

Выводы

- Уточнена расчетная схема сил в цевочном зацеплении РАГ и ВК с учетом особенностей конструкции РАГ.
- Уточнено математическое описание силовых и геометрических факторов в цевочном зацеплении.
- Уточнены аналитические зависимости для расчета сил, действующих в зацеплении с учетом особенностей конструкции РАГ.
- Уточнена аналитическая зависимость для определения угла давления θ в контакте элементов зацепления.
- Усовершенствован графоаналитический метод определения диапазона равновесного положения цевки на ВК и даны рекомендации для

выбора оптимального угла давления θ, апробированные на примере дистанционно-управляемого гусеничного опрыскивателя.

- Полученные соотношения между силовыми и геометрическими факторами позволят в дальнейшем оценить нагруженность элементов зацепления ВК и РАГ.
- Сформированы направления дальнейших исследований рекомендации для дальнейшей работы, а именно экспериментальная проверка аналитической зависимости для определения оптимальной величины угла давления, выведение аналитических зависимостей для расчета максимального и минимального угла давления, при котором будет обеспечиваться свободный вход и выход цевки из зацепления и высота зуба будет оптимальной для обеспечения не спадания гусеницы с ВК.

Полученные результаты отвечают современным государственным программам развития экономики РФ, в т.ч. Стратегии развития сельхозмашиностроения РФ, т.к. представляют собой новые способы конструирования высоконадежных узлов и агрегатов тяговых и транспортных машин различного назначения.

Список литературы

1. Шарипов В.М., Апелинский Д.В., Арустамов Л.Х. и др. Тракторы. Конструкция. М.: Машиностроение, 2012. 790 с.
2. Шарипов В.М., Измайлов А.Ю., Дорохов А.С. и др. К вопросу создания отечественного гусеничного трактора для современного сельскохозяйственного производства // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 2. С. 17-25.
3. Федоткин Р.С., Бейненсон В.Д., Крючков В.А., и др. Исследование жесткости резиноармированных гусениц сельскохозяйственных тракторов при растяжении и изгибе // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 12. С. 9-14.
4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно--технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 7-10.
5. Платонов В.Ф. Динамика и надежность гусеничного движителя. М.: Машиностроение, 1973. 235 с.
6. Федоткин Р.С., Крючков В.А., Бейненсон В.Д., Парфенов В.Л. Методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин// Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 3. С. 24-32.
7. Богданов К.А., Крючков В.А., Федоткин Р.С. Проектирование профиля зубьев ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин// Будущее машиностроения России: сб. докл. Десятой Всероссийской конф. молодых ученых и специалистов (с международным участием). М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – С. 487-490.
8. Шарипов В.М., Федоткин Р.С., Крючков В.А., и др. Экспериментальная проверка достоверности методики проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами// Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2017. №3 (33) с 76-81.
9. Медведев М.И. Гусеничное зацепление тракторов. М.: Машгиз, 1959. 249 с.

10. Годжаев З.А., Федоткин Р.С., Крючков В.А., и др. / Разработать конструкторскую документацию и макетный образец ходовой системы роботизированного самоходного шасси мощностью до 10 кВт // отчет о НИР / ФГБНУ ФНАЦ ВИМ М., 2016.

11. Шарипов В.М., Городецкий К.И., Федоткин Р.С., и др. Гидрофицированное натяжное устройство: патент на полезную модель № 146163, Российская Федерация. Опубликовано 10.10.2014. Бюл. № 28.

12. Даштиев И.З. Конструкции элементов из полимерных композиционных материалов ходовой части быстроходных гусеничных машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 108 с.

13. Галкин С.Н., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю. Агротехнические и технологические параметры автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 5. С. 3-6.

14. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Галкин С.Н. Инновационное развитие транспортной сферы агропромышленного комплекса. Москва, 2011.

15. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production // SAE Technical Papers. 2015. T. 2015-September. № September. C. 1-4.

16. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizating power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers // SAE Technical Papers. 2017. T. 2017-January. № January. C. 18-24.

References

1. SHaripov V.M., Apelinskij D.V., Arustamov L.H. i dr. Traktory. Konstrukciya. [Tractors. Construction] M.: Mashinostroenie, 2012. 790 p.

2. SHaripov V.M., Izmajlov A.YU., Dorohov A.S. i dr. K voprosu sozdaniya otechestvennogo gusenichnogo traktora dlya sovremennogo sel'skohozyajstvennogo proizvodstva // Traktory i sel'hozmashiny [On the issue of creating a domestic crawler tractor for modern agricultural production // Tractors and agricultural machinery.]. 2018. No. 2. pp. 17-25.

3. Fedotkin R.S., Bejnenson V.D., Kryuchkov V.A., i dr. Issledovanie zhestkosti rezinoarmirovannyh gusenic sel'skohozyajstvennyh traktorov pri rastyazhenii i izgibe // Traktory i sel'hozmashiny [Investigation of stiffness of rubber-reinforced caterpillars of agricultural tractors under stretching and bending // Tractors and agricultural machines]. 2015. No. 12. pp. 9-14.

4. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii. V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno--tekhnicheskoj konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [The system of technologies and machines for the innovative development of the agricultural sector of Russia. In the collection: The system of technologies and machines for the innovation development of the agricultural sector of Russia. A collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 145th anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics, academician V.P. Goryachkina. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization.]. 2013. pp. 7-10.

5. Platonov V.F. Dinamika i nadezhnost' gusenichnogo dvizhitelya [Dynamics and reliability of tracked propulsion]. M.: Mashinostroenie, 1973. 235 p.

6. Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Bejnenson V.D., Parfenov V.L. Metodika proektirovaniya vedushchih koles cevochnogo zacepleniya s rezinoarmirovannymi gusenicami tyagovyh i transportnyh mashin// Traktory i sel'hozmashiny [Technique for designing drive wheels for hitch lock with rubber-caterpillar tracks of traction and transport vehicles // Tractors and agricultural machinery]. 2017. No. 3. pp. 24-32.

7. Bogdanov K.A., Kryuchkov V.A., Fedotkin R.S. Proektirovanie profilya zub'ev vedushchih koles cevochnogo zacepleniya s rezinoarmirovannymi gusenicami tyagovyh i transportnyh mashin [Designing the profile of the teeth of the drive wheels tsevochnogo engagement with rezinoarmirovannymi tracks traction and transport vehicles] // Budushchee mashinostroeniya Rossii: sb. dokl. Desyatoj Vserossijskoj konf. molodyh uchenyh i specialistov (s mezhdunarodnym uchastiem). M.: MGTU im. N.EH. Baumana, 2017. – pp. 487-490.

8. SHaripov V.M., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., i dr. EHksperimental'naya proverka dostovernosti metodiki proektirovaniya vedushchih koles cevochnogo zacepleniya s rezinoarmirovannymi gusenicami// Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI [Experimental verification of the reliability of the design of the drive wheels of the pinching engagement with rubber-reinforced tracks // News of Moscow State Technical University MAMI]. 2017. No.3 (33) pp 76-81.

9. Medvedev M.I. Gusenichnoe zaceplenie traktorov [Tracked tractor engagement]. M.: Mashgiz, 1959. 249 p.

10. Godzhaev Z.A., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., i dr. / Razrabotat' konstruktorskuyu dokumentaciyu i maketnyj obrazec hodovoj sistemy robotizirovannogo samohodnogo shassi moshchnost'yu do 10 kVt [Develop design documentation and mockup of the suspension system of a robotic self-propelled chassis with a capacity of up to 10 kW] // otchet o NIR / FGBNU FNAC VIM M., 2016.

11. SHaripov V.M., Gorodeckij K.I., Fedotkin R.S., i dr. Gidroficirovannoe natyazhnoe ustrojstvo: patent na poleznuyu model' [Hydrated tensioner: utility model patent] No. 146163, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 10.10.2014. Byul. No. 28.

12. Dashtiev I.Z. Konstrukcii ehlementov iz polimernyh kompozicionnyh materialov hodovoj chasti bystrohodnyh gusenichnyh mashin [Designs of elements from polymer composite materials of the running gear of high-speed tracked vehicles]. – M.: Izd-vo MGTU im. N.EH. Baumana, 2003. – 108 p.

13. Galkin S.N., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Evtyushenkov N.E., Izmajlov A.YU. Agrotekhnicheskie i tekhnologicheskie parametry avtomobilej sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Agrotechnical and technological parameters of agricultural vehicles] // Traktory i sel'hozmashiny. 2011. № 5. S. 3-6.

14. Izmajlov A.YU., Evtyushenkov N.E., Dzocenidze T.D., Levshin A.G., Galkin S.N. Innovacionnoe razvitie transportnoj sfery agropromyshlennogo kompleksa [Innovative development of the transport sector of the agro-industrial complex]. Moskva, 2011.

15. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production // SAE Technical Papers. 2015. T. 2015-September. № September. S. 1-4.

16. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizating power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers // SAE Technical Papers. 2017. T. 2017-January. № January. S. 18-24.

УДК – 631.3

ЩЕТОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

BRUSH DEVICE FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF MECHANIZED CLEANING OF SUGAR BEET ROOTS

А.А. ФИЛИТОВА, *студентка,* ***А.А. БАХАРЕВ,*** *кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*

A.A. FILITOVA*, student,* ***A.A. BAHAREV****, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Michurinsk state agrarian University, Michurinsk, Russia*

Аннотация*. В статье раскрывается проблема уборки корнеплодов сахарной свеклы в условиях Центрального Черноземья. Данный срок наступает поздней осенью, который характеризуется ухудшением агрофизических свойств почвы.*

Исследования показали, что загрязнённость свеклы в период уборки достаточно велика. При этом из-за высокой липкости почва трудно удаляется с корнеплодов, а также загрязняет рабочие органы очистных устройств, ухудшая качество очистки.

Проведен анализ современных очистных устройств и предложена новая конструкция щеточного транспортера, адаптированного к условиям уборки в неблагоприятных погодных условиях и позволяющего снизить загрязненность выкопанных корнеплодов, неэффективные затраты на их транспортировку и предотвратить потери плодородного слоя почвы и гумуса.

Ключевые слова*: свекла, уборка, очистка, щеточный транспортер.*

Abstract*. The article reveals the problem of harvesting sugar beet roots in The Central black earth region. This period comes in late autumn, which is characterized by deterioration of agrophysical properties of the soil.*

Studies have shown that the contamination of beets during harvesting is quite large. At the same time, due to the high stickiness, the soil is difficult to remove from the roots, and also pollutes the working bodies of the treatment devices, worsening the quality of cleaning.

The analysis of modern cleaning devices and proposed a new design of brush conveyor adapted to the conditions of harvesting in adverse weather conditions and to reduce the contamination of the excavated roots, inefficient costs of their transportation and to prevent the loss of fertile soil and humus.

Keywords*: beets, cleaning, cleaning, brush conveyor.*

Свекла – это одна из наиболее распространенных овощных, кормовых и технических культур. Она является одной из главнейших сельскохозяйственных культур и единственным источником производства белого сахара.

Наиболее трудоемкой операцией при возделывании сахарной свеклы является уборка. По мнению Д. Шпаара свеклу можно считать спелой, если она за несколько дней затрачивает запасов энергии на дыхание больше, чем образовывает новый запас веществ ассимиляцией. При определении сроков уборки нужно учитывать, что интенсивный рост корнеплодов и накопление в

них сахара происходит со второй декады сентября. В условиях Центрального Черноземья данный срок наступает поздней осенью, который характеризуется ухудшением агрофизических свойств почвы (повышается влажность и липкость). В результате этого у выкапывающих и сепарирующих рабочих органов свеклоуборочных машин происходит залипание почвой, ухудшаются возможности очистки корнеплодов, что резко снижает качество уборки [1, 7-12].

Для определения некоторых загрязненности корнеплодов сахарной свеклы и липкости почвы во время уборки были проведены исследования на базе АО «Уваровская Нива» Уваровского района.

Загрязненность корнеплодов почвой при уборке в поле может иметь различные значения.

Анализ зависимости графика (Рис. 1) показывает, что загрязненность корнеплодов сахарной свёклы изменяется от 2 до 55%. Набольшее количество корнеплодов имеет загрязненность ~ 41%.

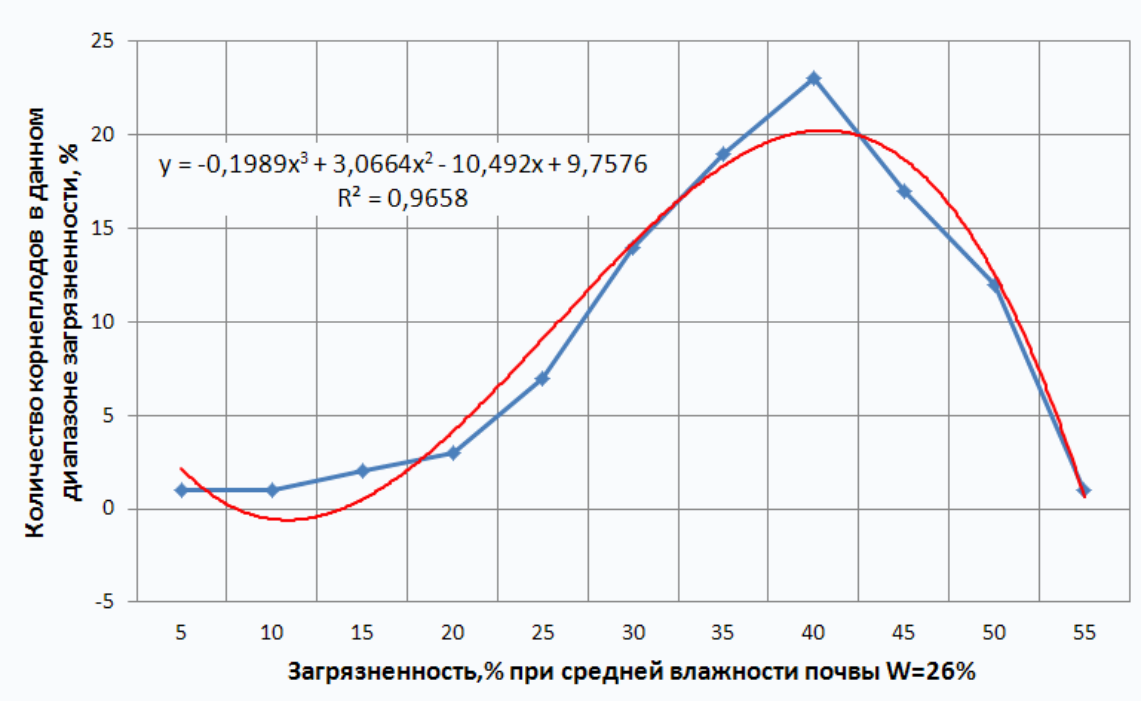


Рисунок 1 – Загрязненность корнеплодов сахарной свёклы

Анализируя зависимости (Рис. 2) видно, что при увеличении влажности почвы, липкость и коэффициент трения увеличивается до максимального значения, а затем уменьшается, причём, липкость почвы начинает проявляться при влажности более 9-12 %.

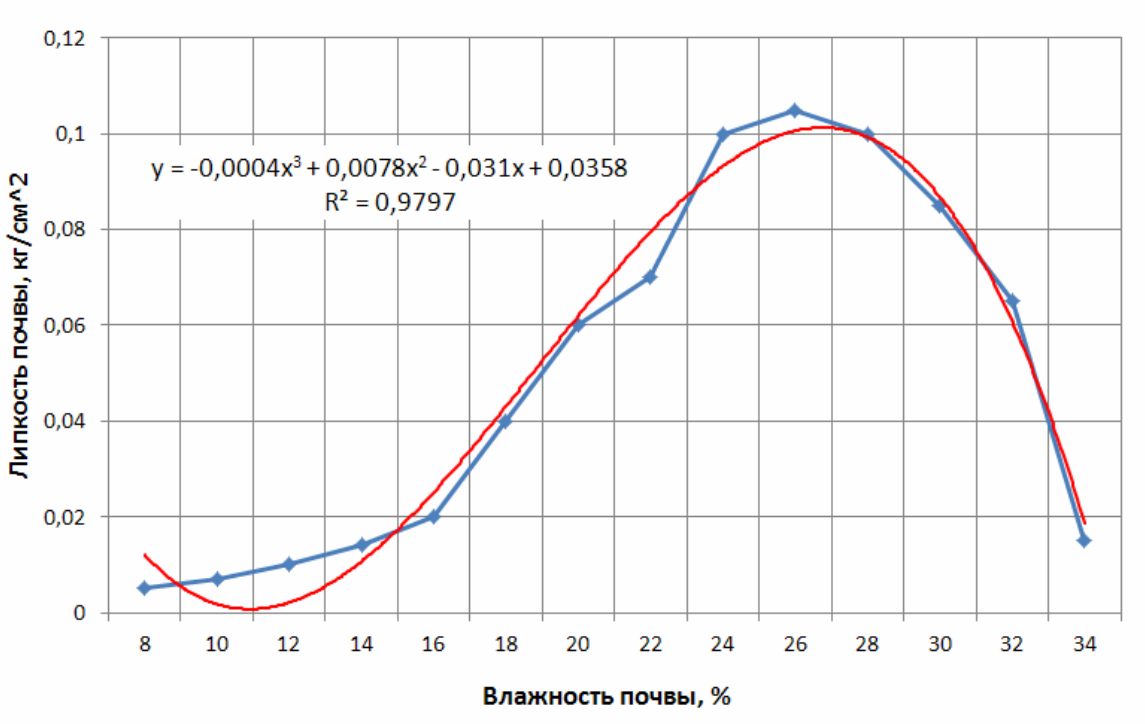


Рисунок 2 - Зависимость липкости почвы от влажности почвы

При меньшей влажности (менее 9%), прилипания почвы к поверхности рабочих органов не происходит.

Исследования показали, что загрязнённость свеклы в период уборки достаточно велика. При этом из-за высокой липкости почва трудно удаляется с корнеплодов, а также загрязняет рабочие органы очистных устройств, ухудшая качество очистки.

Исходя из этого разработка высокоэффективного рабочего органа для очистки корнеплодов сахарной свеклы, адаптированного к условиям уборки в неблагоприятных погодных условиях и позволяющего снизить загрязненность выкопанных корнеплодов, неэффективные затраты на их транспортировку и предотвратить потери плодородного слоя почвы и гумуса, является весьма актуальной задачей.

Пассивные рабочие органы очистительных машин не обеспечивают достаточно высокого качества очистки корнеплодов, а также происходит их залипание почвой.

В настоящее время на свеклоуборочных комбайнах в качестве очистки используются активные рабочие органы, например шнековые вальцы или роторные очистители. При этом в одном комбайне сочетаются несколько очистительных органов разного исполнения [4, 5].

К достоинствам данного способа очистки можно причислить высокую скорость уборки за счет совмещения операций подбора корнеплодов и их очистки, улучшение качества подбора и относительно высокую надежность конструкции.

Недостатком данного способа является невысокая степень очистки, особенно в условиях повышенной влажности почвы.

Перспективными разработками являются очистительные устройства, выполненные в виде щеток. Щетки очищают от почвы витой цилиндрической пружиной (Рис. 3) [2, 3, 6].

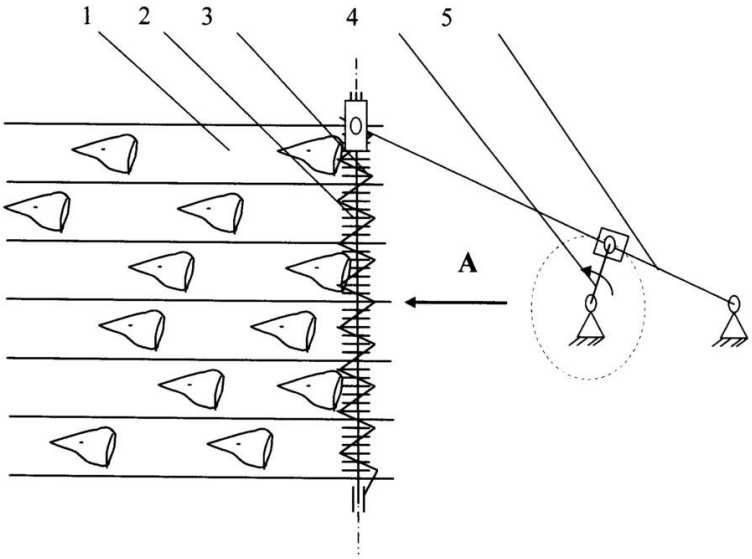


Рисунок 3 - Устройство для очистки корнеплодов: 1 – транспортер; 2- цилиндрические щетки; 3 - витая цилиндрическая пружина; 4 - кривошипно-шатунный механизм; 5 - кулисный механизм.

Достоинствами данного подхода являются высокая пропускная способность устройства, бережность очистки.

К недостаткам этого метода относятся недостаточная степень очистки (поскольку корнеплоды очищаются в основном с боковых сторон) и необходимость периодической очистки лотков транспортеров от остатков земли.

Избежать описанных выше недостатков позволяет применение устройств:

– исключающих контакт корнеплодов с металлическими частями очистителей;

– обеспечивающих всестороннюю и качественную очистку корнеплодов от налипшей почвы и примесей;

– обладающих надежной и простой в ремонте и обслуживании конструкцией.

Анализ способов и технических средств для очистки корнеплодов сахарной свеклы показал, что, несмотря на многообразие очистительных рабочих органов свеклоуборочных комбайнов, каждый из них имеет как свои преимущества, так и недостатки.

Поэтому нами предлагается активный щеточный рабочий орган, смонтированный на транспортере (Рис. 4).

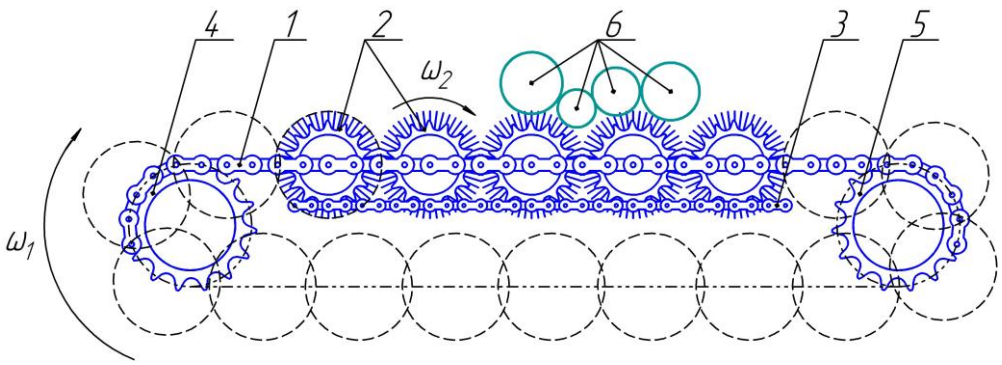


Рисунок 4 - Конструктивно-технологическая схема щеточного транспортера для очистки корнеплодов свеклы от загрязнения: 1 – приводная цепь, 2 – активный щеточный рабочий орган, 3 – неподвижная цепь, 4 – приводная звездочка, 5 – натяжная звездочка, 6 – корнеплоды

Устройство состоит из последовательно установленных друг за другом активных щеточных рабочих органов 2, приводных цепей 1, жестко закрепленных (неподвижных) цепей 3 выполняющих роль рейки, приводной 4 и натяжной 5 звездочек.

Активный щеточный рабочий орган состоит из цилиндрических щеток с ворсинками и двух звездочек, жестко закрепленных к щеткам с обоих концов. Щеточный рабочий орган связан с приводными цепями, и имеют возможность свободно вращается вокруг своей оси. Звездочки щеточного рабочего органа входят в зацепление с неподвижными цепями.

Принцип действия: Корнеплоды свеклы попадают на активные щеточные рабочие органы, которые за счет приводных цепей перемещают ее к зоне разгрузки. При этом вращение щеточных рабочих органов вокруг своей оси позволяет производить очистку корнеплодов во время транспортирования. Вращение щеток происходит за счет зацепления звездочек щеточного рабочего органа с жестко закрепленной недвижимой цепью. В процессе протягивания щеточного рабочего органа к зоне разгрузки звездочки перекатываются по цепи тем самым заставляя щетки вращаться.

Достоинствами данного устройства является сравнительная простота конструкции и возможность всесторонней очистки поверхности корнеплодов.

Так же положительным моментом является возможность самоочистки ворсинок соседних щеточных органов друг об друга.

Список литературы

1. Колчина Л.М. Технологии и техника для возделывания и уборки сахарной свеклы: справочник/ Колчина Л.М. – Москва, ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 80с.

2. Кузнецов П.Н. Совершенствование степени очистки корнеплодов сахарной свеклы путем применения щеточного очистителя в условиях Тамбовской области/ Кузнецов П.Н., Соловьев С.В.// Вестник Мичуринского ГАУ № 1.- 2015.- С. 162-168

3. Кузнецов П.Н. Усовершенствованная технология возделывания и уборки сахарной свеклы в условиях Тамбовской области/ Кузнецов П.Н., Соловьев С.В., Абросимов А.Г.// Вестник Мичуринского ГАУ № 6.- 2014.- С. 53-57

4. Мойстус В.Н. Классификация рабочих органов для очистки корнеплодов свеклоуборочных комбайнов/ Мойстус В.Н, Абросимов А.Г., Соловьев С.В.// Сборник научных трудов, посвященный 85-летию мичуринского государственного аграрного

университета в 4 т. Мичуринск, 2016 Издательство: Мичуринский государственный аграрный университет Мичуринск, 2016.- С. 62-66

5. Проспект FRANZ KLEINE. SF 10-2 Самоходный свеклоуборочный комбайн [Изоматериал]: нагляд. матер. – М., 2004. – цв. офсет; 30х21 см. – 100 экз.

6. Патент 2400048 Российская федерация, МПК A01D91/02. Способ транспортировки и очистки корнеклубнеплодов. // Горшенин В.И.; Кузнецов П.Н.; Соловьев С.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государствен-ное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мичуринский государственный аграрный университет» - 2009118189/12; заявл. 13.05.2009 опубл. 27.09.2010, Бюл. №27. – 4 с.: ил.

7. Соловьев С.В. Ресурсосберегающая технология уборки сахарной свёклы Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения./ Кузнецов П.Н., Горшенин В.И., Соловьев С.В.// Материалы Международной научно-практической конференции 25-27октября 2016 г., посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы РФ, доктора с.-х. наук, профессора Ю.Г. Скрипникова.- Мичуринск: Изд-во ООО «БиС», 2016. – С. 308-313.

8. Соловьев С.В. К вопросу об очистке сахарной свеклы при уборке в условиях ЦЧР/ Соловьев С.В., Горшенин В.И., Кузнецов П.Н.//Наука в центральной России.-№2 (26).- 2017.- С.-13-21

9. Соловьев С.В. Снижение потерь плодородного слоя почвы при уборке сахарной свёклы в условиях ЦЧР/ Кузнецов П.Н., Горшенин В.И., Соловьев С.В.//Сборник научных трудов, посвященный 85-летию мичуринского государственного аграрного университета в 4 т. Мичуринск, 2016 Издательство: Мичуринский государственный аграрный университет Мичуринск, 2016.- С. 32-38

10. Шиндин А.П. Сахарная свекла. Интенсивная технология возделывания/ Шиндин А.П., Лебедева Т.Б. – Москва, ООО НПО «РосАгроХим», 2013-168с.

11. Шпаар, Д. Сахарная свёкла (Выращивание, уборка, хранение)/Д. Шпаар, Д. Дрегер, А. Захаренко и др.; под общ. ред. Д. Шпаара. – М.: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2006. – 315с.

12. Лобачевский Я.П., Елизаров В.П., Михеев В.В., Кусова Н.И., Еремин П.А. Фундаментальные принципы агроинженерного обеспечения производства сахарной свеклы. Москва, 2017.

References

1. Kolchina L.M. Tekhnologii i tekhnika dlya vozdelyvaniya i uborki saharnoj svekly: spravochnik [Technologies and equipment for the cultivation and harvesting of sugar beet: a reference book] / Kolchina L.M. – Moskva, FGBNU «Rosinformagrotekh», 2012. – 80 p.

2. Kuznecov P.N. Sovershenstvovanie stepeni ochistki korneplodov saharnoj svekly putem primeneniya shchetochnogo ochistitelya v usloviyah Tambovskoj oblasti [Improving the degree of purification of sugar beet roots by applying a brush cleaner under the conditions of the Tambov region]/ Kuznecov P.N., Solov'ev S.V.// Vestnik Michurinskogo GAU No. 1.- 2015.- pp. 162-168.

3. Kuznecov P.N. Usovershenstvovannaya tekhnologiya vozdelyvaniya i uborki saharnoj svekly v usloviyah Tambovskoj oblasti [Improved technology of cultivation and harvesting of sugar beet in the conditions of the Tambov region] / Kuznecov P.N., Solov'ev S.V., Abrosimov A.G.// Vestnik Michurinskogo GAU No. 6.- 2014.- pp. 53-57.

4. Mojstus V.N. Klassifikaciya rabochih organov dlya ochistki korneplodov sveklouborochnyh kombajnov [Classification of working bodies for cleaning root crops of beet harvesters] / Mojstus V.N, Abrosimov A.G., Solov'ev S.V.// Sbornik nauchnyh trudov, posvyashchennyj 85-letiyu michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta v 4 t. Michurinsk, 2016 Izdatel'stvo: Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet Michurinsk, 2016.- pp. 62-66.

5. Prospekt FRANZ KLEINE. SF 10-2 Samohodnyj sveklouborochnyj kombajn [Self-propelled beet harvester]: naglyad. mater. – M., 2004. – cv. ofset; 30h21 sm. – 100 ehkz.

6. Patent 2400048 Rossijskaya federaciya, MPK A01D91/02. Sposob transportirovki i ochistki korneklubneplodov [. Patent 2400048 Russian Federation, IPC A01D91 / 02. The method of transportation and cleaning of root crops]. // Gorshenin V.I.; Kuznecov P.N.; Solov'ev S.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstven-noe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet» - 2009118189/12; zayavl. 13.05.2009 opubl. 27.09.2010, Byul. No.27. – 4 p.: il.

7. Solov'ev S.V. Resursosberegayushchaya tekhnologiya uborki saharnoj svyokly Agrotekhnologicheskie processy v ramkah importozameshcheniya.[Resource-saving technology of harvesting sugar beet Agrotechnological processes in the framework of import substitution]/ Kuznecov P.N., Gorshenin V.I., Solov'ev S.V.// Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 25-27oktyabrya 2016 g., posvyashchennoj 85-letiyu so dnya rozhdeniya zasluzhennogo rabotnika vysshej shkoly RF, doktora s.-h. nauk, professora YU.G. Skripnikova.- Michurinsk: Izd-vo OOO «BiS», 2016. – pp. 308-313.

8. Solov'ev S.V. K voprosu ob ochistke saharnoj svekly pri uborke v usloviyah CCHR [To the question about the cleaning of sugar beet when cleaning in the conditions of the Central Black Earth Region]/ Solov'ev S.V., Gorshenin V.I., Kuznecov P.N.//Nauka v central'noj Rossii.- No.2 (26).- 2017.- pp.-13-21

9. Solov'ev S.V. Snizhenie poter' plodorodnogo sloya pochvy pri uborke saharnoj svyokly v usloviyah CCHR [Reducing the loss of fertile soil when harvesting sugar beets in the conditions of the Central Black Earth Region] / Kuznecov P.N., Gorshenin V.I., Solov'ev S.V.//Sbornik nauchnyh trudov, posvyashchennyj 85-letiyu michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta v 4 t. Michurinsk, 2016 Izdatel'stvo: Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet Michurinsk, 2016.- pp. 32-38

10. SHindin A.P. Saharnaya svekla. Intensivnaya tekhnologiya vozdelyvaniya [Sugar beet. Intensive cultivation technology]/ SHindin A.P., Lebedeva T.B. – Moskva, OOO NPO «RosAgroHim», 2013-168 p.

11. SHpaar, D. Saharnaya svyokla (Vyrashchivanie, uborka, hranenie) [Sugar beets (Cultivation, cleaning, storage)] /D. SHpaar, D. Dreger, A. Zaharenko i dr.; pod obshch. red. D. SHpaara. – M.: ID OOO «DLV AGRODELO», 2006. – 315 p.

12. Lobachevskij YA.P., Elizarov V.P., Miheev V.V., Kusova N.I., Eremin P.A. undamental'nye principy agroinzhenernogo obespecheniya proizvodstva saharnoj svekly [Fundamental principles of agroengineering support of sugar beet production]. Moskva, 2017.

УДК 629.113

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКЕ

***Р.Р. ХАББАТУЛЛИН**, младший научный сотрудник, лаборант, **К.Г. СОВИН**, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, **Т.А. КИЛЬДЕЕВ**, младший научный сотрудник, лаборант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***R.R. HABBATULLIN**, Junior researcher, research assistant, **K.G. SOVIN**, leading researcher, candidate of technical Sciences, head of laboratory, **T.A. KIL'DEEV**, Junior researcher, research assistant, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Авторами статьи приведена классификация систем электронного управления двигателем. Приведены основные цифровые показатели, обрабатываемые ЭБУ двигателей внутреннего сгорания. Основываясь на приведенных в статье данных произведен анализ данных, считываемых электронным блоком управления.*

***Ключевые слова**: двигатели внутреннего сгорания, электронные блоки управления двигателями, считывание данных ЭБУ.*

***Abstract**. The article presents the classification of electronic engine control systems. The main figures treated in the ECU of the internal combustion engine. Based on the data presented in the article the analysis of data read by the electronic control unit.*

***Keywords**: internal combustion engines, electronic engine control units, ECU data reading.*

Электронная система управления двигателем (далее будем употреблять аббревиатуру ЭСУД для экономии текста) – это бортовой компьютер, который управляет объединёнными системами впрыска, выпуска и всеми электронными системами в машине. Как правило, современный бензиновый и дизельный моторы не обходятся без блока управления. Раньше же двигатели обходились полностью без него, но они были не так экономичны и не позволяли раскрыть всего потенциала двигателя внутреннего сгорания.

Компьютеры, управляющие мотором делятся на несколько видов. Основным классификатором является то, какие функции в каком конкретном тракторе возлагаются на компьютер. Условно все их можно поделить на:

- ECM (Engine Control Module) – отдельно блок управления мотором;
- ECU (Electronic Control Unit) – совместный блок управления, в котором объединено управление двигателем, электроникой трактора и прочим.

Так на сегодняшний день чаще всего применяется объединённый блок для всего: от электронной системы контроля давления в шинах до системы управления безопасностью. Это удобно так, как устанавливается один компьютер, к которому уже подходят провода со всех датчиков и элементов. В то время как при иной компоновке происходит разделение ролей и приходится продумывать как прокладывать проводку. Хотя, с другой стороны, если один

блок выйдет из строя, то все остальные останутся в рабочем состоянии. Единый контроллер включает в себя несколько модулей:

- Моторно-трансмиссионный;
- Блок контроля тормозной системой;
- Центральный модуль управления;
- Синхронизационный модуль;
- Контроллер кузова;
- Модуль контроля подвески.

Устройство контроллера. Электронная система управления двигателем включает в себя массу различных элементов, главным из которых, конечно же, является бортовой компьютер. Представляет он из себя микропроцессорное устройство имеющие специальное назначение. Внутри располагается почти то же самое, что и у обычного настольного компьютера: оперативное запоминающие устройство (ОЗУ) и программируемое постоянное устройство запоминания (ППЗУ). ОЗУ необходимо компьютеру, чтобы хранить постоянно изменяющуюся информацию, например, характер работы двигателя в определенный момент. Здесь же храниться и все ошибки, что возникают в процессе работы машины, отсюда берутся эти показания и высвечиваются на приборной панели водителя в виде специальных ламп, или же, при наличии экрана, отображает непосредственно коды ошибок. При отключении питания все, что было записано в ОЗУ стирается. Постоянная память хранит в себе заложенную программу по управлению двигателем на все случаи жизни. Это программа представляет собой алгоритм команд для правильной работы мотора, все калибровочные настройки. Это своеобразный жесткий диск, который независимо от наличия питания хранит всю заложенную информацию в себе [1].

Принцип работы системы управления двигателем основан на комплексном управлении величиной крутящего момента двигателя. Другими словами, система управления двигателем приводит величину крутящего момента в соответствия с конкретным режимом работы двигателя. Система различает следующие режимы работы двигателя:

- запуск;
- прогрев;
- холостой ход;
- движение;
- переключение передач;
- торможение;
- работа системы кондиционирования.

Изменение величины крутящего момента производиться двумя способами - путем регулирования наполнения цилиндров воздухом и регулированием угла опережения зажигания [2].

Принципиальная схема электронного блока управления представлена на Рис. 1.

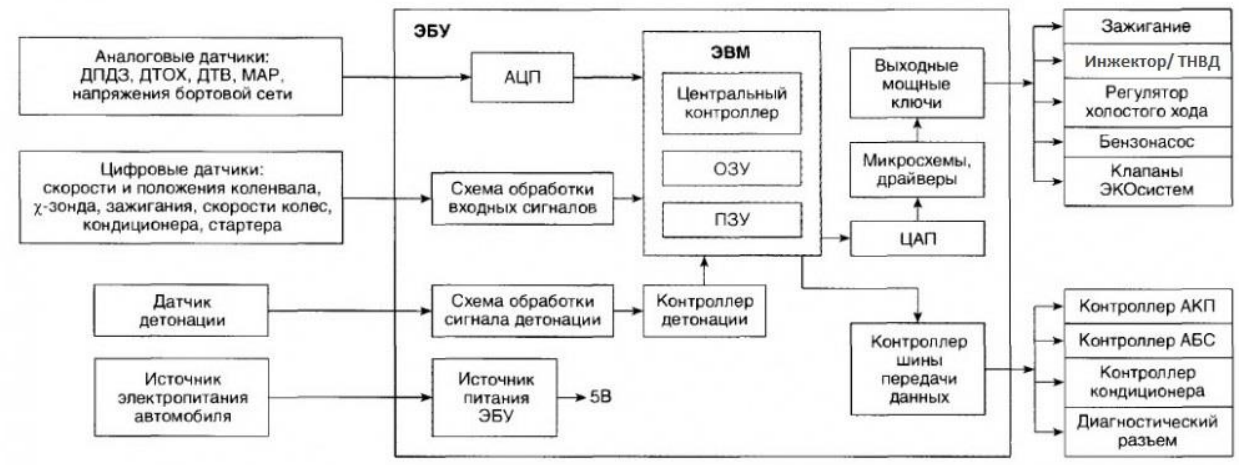


Рисунок 1 – Принципиальная схема ЭБУ.

Например, трактор John Deere 7830, подчиняясь требованиям ISO и рекомендациям SAE в рамках OBDII и EOBD ограничиваются только данными, имеющими непосредственное значение для экологии, что недостаточно для полноценной диагностики и прогноза остаточного ресурса т/с [3].

- Датчик температуры ОЖ двигателя;
- Датчик температуры воздуха на впуске;
- Датчик давления масла;
- Датчик давления топлива в рампе высокого давления;
- Датчик положения коленчатого вала;
- Датчик положения насоса.

Использование специального прибора для диагностики позволяет видеть множество считываемых параметров, отображающих работу двигателя и коды неисправностей (DTCs) [4-9]. Прибор подсоединяется к системе электронного управления и, соответственно, к ее датчикам. Это позволяет проводить мониторинг работы систем двигателя и при необходимости устранять неисправности.

При использовании прибора для диагностики, можно получать следующие параметры:

- Наработка двигателя в моточасах;
- Частота вращения двигателя (об/мин);
- Напряжение в системе (В);
- Температура охлаждающей жидкости;
- Давление масла;
- Экономия топлива;
- Текущий расход топлива;
- Активные коды неисправности;
- Сохраненные коды неисправностей;
- Установка единиц измерения для отображения;
- Просмотр параметров конфигурации двигателя;
- Доля нагрузки от максимальной при данной частоте вращения;

- Доля крутящего (%) момента в данный момент от максимального;
- Израсходовано топлива;
- Общий объем израсходованного топлива;
- Температура охлаждающей жидкости;
- Температура топлива;
- Температура масла в системе смазки;
- Температура промежуточного охладителя наддувочного воздуха;
- Давление в системе топливоподачи;
- Уровень масла в двигателе;
- Давление масла в системе смазки;
- Давление ОЖ в системе охлаждения;
- Уровень охлаждающей жидкости;
- Расход топлива;
- Мгновенный контроль экономии топлива;
- Средняя экономия топлива;
- Атмосферное давление;
- Температура воздуха наддува;
- Давление наддува;
- Температура воздуха во впускном коллекторе;
- Перепад давления на воздушном фильтре;
- Температура выхлопных газов;
- Напряжение в сети (В);
- Напряжение аккумуляторной батареи, (В);
- Расчетная скорость вентилятора.

На основании вышеприведенных данных можно сделать вывод, что электронный блок управления позволяет считывать показатели работы двигателя внутреннего сгорания в процессе эксплуатации, на основании чего можно разработать систему для мониторинга технического состояния автотракторной техники в сельском хозяйстве.

Список литературы

1. Сайт «Автодонт» Раздел электрооборудование. Режим доступа : http://autodont.ru/jelektro/princip-raboty-esud (дата обращения 13.04.18).
2. Сайт «SYSTEMSAUTO» Раздел системы управления двигателем http://systemsauto.ru/electric/control_engine.html (дата обращения13.04.18)
3. ОТЧЕТ №03-64-15 (5010734) от «10» декабря 2015г. о результатах наблюдения за работой в реальной эксплуатации тракторов колесных John Deere 7830 выпуска 2014г. ФГБУ «Владимирская государственная зональная машиноиспытательная станция»
4. Анализ информационного обеспечения процессов технического сервиса (на примере сельскохозяйственных тракторов компании «John Deere»). И.Ю. Галенко, С.Н. Жильцов. ФГБОУ ВО Самарская ГСХА. 2016. Т. 123. С. 22-26.
5. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России Сборник научных докладов Международной научно--технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника

земледельческой механики академика В.П. Горячкина. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 7-10.

6. Семейкин В.А., Дорохов А.С., Корнеев В.М. Входной контроль качества сельскохозяйственной техники и оценка его эффективности. Методические рекомендации // М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Департамент науч.-технологической политики и образования. Москва, 2010.

7. Дорохов А.С., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Средства контроля качества сельскохозяйственной техники // Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 34-35.

8. Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2015. № 1 (65). С. 31-35.

9. Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е., Измайлов А.Ю., Карев А.М., Виноградов О.В., Егоров Р.Н., Стафеев В.И. Технологические процессы диагностирования и технического обслуживания двигателей транспортных и транспортно-технологических машин. Москва, 2015.

References

1. Sajt «Avtodont» Razdel ehlektrooborudovanie [Site "Autodont" Section electrical equipment]. URL: http://autodont.ru/jelektro/princip-raboty-esud (data obrashcheniya 13.04.18).

2. Sajt «SYSTEMSAUTO» Razdel sistemy upravleniya dvigatelem [Site "SYSTEMSAUTO" Section engine management system] URL: http://systemsauto.ru/electric/control_engine.html (data obrashcheniya13.04.18)

3. OTCHET No.03-64-15 (5010734) ot «10» dekabrya 2015g. o rezul'tatah nablyudeniya za rabotoj v real'noj ehkspluatacii traktorov kolesnyh John Deere 7830 vypuska 2014g. FGBU «Vladimirskaya gosudarstvennaya zonal'naya mashinoispytatel'naya stanciya» [REPORT No.03-64-15 (5010734) dated December 10, 2015 about the results of monitoring the work in real operation of wheeled tractors John Deere 7830 2014 release. FSBI "Vladimir State Zonal Machine Testing Station"].

4. Analiz informacionnogo obespecheniya processov tekhnicheskogo servisa (na primere sel'skohozyajstvennyh traktorov kompanii «John Deere»). I.YU. Galenko, S.N. ZHil'cov. FGBOU VO Samarskaya GSKHA [Analysis of information support of technical service processes (on the example of agricultural tractors of the company “John Deere”). I.Yu. Galenko, S.N. The tenants. FGBOU IN Samara State Agricultural Academy]. 2016. T. 123. pp. 22-26.

5. Izmajlov A.YU., Lobachevskij YA.P. Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii. V sbornike: Sistema tekhnologij i mashin dlya innovacionnogo razvitiya APK Rossii Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno--tekhnicheskoj konferencii, posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mekhaniki akademika V.P. Goryachkina. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [The system of technologies and machines for the innovative development of the agricultural sector of Russia. In the collection: The system of technologies and machines for the innovation development of the agricultural sector of Russia. A collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 145th anniversary of the birth of the founder of agricultural mechanics, academician V.P. Goryachkina. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization]. 2013. pp. 7-10.

6. Semejkin V.A., Dorohov A.S., Korneev V.M. Vhodnoj kontrol' kachestva sel'skohozyajstvennoj tekhniki i ocenka ego ehffektivnosti. Metodicheskie rekomendacii [Input quality control of agricultural machinery and evaluation of its effectiveness. Guidelines] // M-vo

sel'skogo hoz-va Rossijskoj Federacii, Departament nauch.-tekhnologicheskoj politiki i obrazovaniya. Moskva, 2010.

7. Dorohov A.S., Krasnyashchih K.A., Skorohodov D.M. Sredstva kontrolya kachestva sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Means of quality control of agricultural machinery] // Sel'skij mekhanizator. 2015. No. 10. pp. 34-35.

8. Dorohov A.S. EHffektivnost' ocenki kachestva sel'skohozyajstvennoj tekhniki i zapasnyh chastej [Efficiency assessment of the quality of agricultural machinery and spare parts] // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina. 2015. No. 1 (65). pp. 31-35.

9. Didmanidze O.N., Mityagin G.E., Izmajlov A.YU., Karev A.M., Vinogradov O.V., Egorov R.N., Stafeev V.I. Tekhnologicheskie processy diagnostirovaniya i tekhnicheskogo obsluzhivaniya dvigatelej transportnyh i transportno-tekhnologicheskih mashin [Technological processes of diagnosis and maintenance of engines of transport and transport-technological machines]. Moskva, 2015.

УДК 631.017.3:621.181

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕМПЕРИРОВАННОЙ СОИ

CALCULATION OF PARAMETERS OF THE COOLING SYSTEM OF TEMPERED SOY

А.Н. МАШКОВ, *кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,*
А.М. ШУВАЛОВ, *доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Всероссийский научно- исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, Россия*
A.N. MASHKOV*, candidate of technical Sciences, leading scientific researcher,*
A.M. SHUVALOV*, doctor of technical Sciences, Professor, all - Russian research Institute of use of technology and oil products in agriculture, Tambov, Russia*

Аннотация*. Ранее для удаления антипитательных веществ из сои предложена технология и технологическое оборудование, обеспечивающее двусторонний нагрев (сверху инфракрасными излучателями, снизу - электронагревательной поверхностью транспортирующего устройства) в высокотемпературной рабочей камере до 120…130 ºС, темперирование при температуре 110…100 ºС. Разработанная в ФГБНУ ВНИИТиН установка для термической обработки сои, производительностью 240 кг/ч, выполнена на базе вибрационного транспортера, несущим устройством которого является качающийся от виброприводa желоб. Обоснован выбор и параметры системы охлаждения темперированной сои на базе второго вибрационного транспортера с качающимся желобом, включенным в противофазу толкающего устройства и использующего реактивную энергию виброприводa первого транспортера – разжимающей пружины. Кожух с дефлекторами, образующие воздухопровод – камеру охлаждения движущегося по желобу темперированного зерна сои, над качающимся желобом позволяет исключить второй электровиброприводa, экономить электроэнергию, повысить эффективность охлаждения сои, так как вибрация желоба частично отрывает зерно от желоба и поворачивает его в процессе движения, в результате увеличивается поверхность обдува сои холодным воздухом. Анализ различных схем охлаждения зерна сои*

Abstract*. Technology and technological equipment that provides two-sided heating (from above by infrared radiators, from below - by the electric heating surface of the transporting device) in a high-temperature working chamber up to 120 ... 130 ºC, tempering at a temperature of 110 ..100 ºC, have been proposed earlier for removal of anti-wetting substances. The unit for heat treatment of soybeans, developed at Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», with a capacity of 240 kg / h, is made on the basis of a vibrating conveyor, the carrying device of which is a trough swinging from the vibratory drive. The choice and parameters of the tempered soybean cooling system based on the second vibrating conveyor with a swinging chute included in the antiphase of the pushing device and using the reactive energy of the vibrating drive of the first conveyor, the expansion spring, is justified. The casing with the deflectors forming the air duct - the cooling chamber of the tempered soybean grains moving over the trough above the swinging trough - allows eliminating the second electric drive, saving energy, improving the cooling efficiency of the soybean, as the trough vibration partially tears the grain from the trough and turns it in the process movement, as a result, the surface of the soybean is blown with cold air. The analysis of various soybean grain*

применительно к вибрационному транспортер показал преимущественную зависимость отобранного теплового потока от обдуваемой поверхности сои и от температурного напора. Наилучшие результаты по охлаждению получены при обеспечении турбулентного движения воздуха за счет применения отражательных пластин.

***Ключевые слова**: соя, система охлаждения, термическая обработка, вибрационный транспортер.*

cooling schemes applied to the vibrating conveyor showed a predominant dependence of the selected heat flux on the soybean surface to be blown and on the temperature head. The best cooling results were obtained by providing turbulent air movement through the use of reflective plates.

***Keywords**: soy, the cooling system, heat treatment, the combined heating, vibrating conveyor.*

Экспериментальными исследованиями [1-6] установлено, что для качественной обработки сои, то есть для удаления из нее антипитательных веществ требуется нагрев ее в высокотемпературной рабочей камере до 120…130 ºС, темперирование при температуре 110…100 ºС. Однако с такой температурой ее нельзя отправлять на склад для хранения. В результате возникает задача по разработке простой и надежной системы охлаждения сои применительно к действующему экспериментальному образцу установки для термической обработки сои с комбинированной системой энергообеспечения процесса нагрева.

Для охлаждения зерна после термической обработки широкое распространение получили охладители барабанного типа и шахтные.

Так как действующий образец экспериментальной установки с комбинированным нагревом для термической обработки сои, разработанный в ФГБНУ ВНИИТиН, выполнен на базе вибрационного транспортера [7-9], транспортирующим устройством которого является качающийся от вибропривода желоб, то для упрощения конструкции и экономии материальных затрат и электроэнергии была разработана система охлаждения темперированной сои на базе второго бесприводного вибрационного транспортера. Конструктивная схема системы охлаждения приведена на Рис. 1.

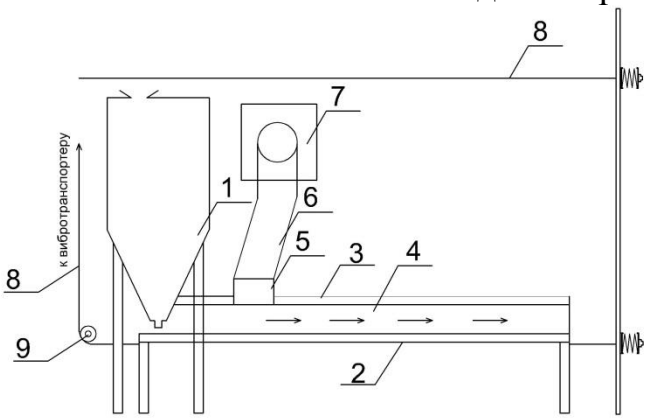


Рисунок 1 – Конструктивная схема системы охлаждения темперированной сои

Система охлаждения сои выполнена на базе второго вибрационного транспортера. Транспортирующее устройство вибрационного транспортера 2 и верхняя крышка 3 образуют прямоугольный воздуховод 4. Для подачи воздуха в воздуховод предусмотрен центробежный вентилятор 7 Ц4-70 №5. Вентилятор

сочленен двумя гофрированными воздуховодами 6 с патрубками верхней крышки 5.

Вибропривод для второго вибрационного транспортера не предусмотрен, что позволяет экономить энергозатраты. Колебания желоба второго вибротранспортера осуществляются от вибропривода первого транспортера посредством сочленения его тросом 8 через вращающиеся блоки 9 с желобом первого транспортера. При этом мощность электропривода первого транспортера не увеличена, так используется для совершения колебаний второго желоба реактивная энергия пружин вибропривода первого транспортера.

Принцип работы системы охлаждения следующий. После отстоя горячей сои в температоре она с высокой температурой (110…100 ºС) захватывается из температора специальным устройством второго транспортера и подается на желоб, колеблющийся с заданной частотой, амплитудой и углом наклона. Включением в работу вентилятора воздух через гофрированные рукава подается в охлаждающую рабочую камеру, движется по ней, соприкасаясь с горячей соей. За счет конвективного теплообмена воздух отбирает теплоту от сои. В середине верхней крышки на всю длину транспортера предусмотрен дефлектор, через который удаляется отработанный воздух.

Так как основным энергоносителем для охлаждения сои является не подогретый воздух, то необходимо определить требуемый расход воздуха, нагнетаемый в камеру охлаждения приточным вентилятором.

Расчет потребного воздуха проведен по «Общей методике расчета зерносушилок» раздел 7: «Расчет процесса охлаждения зерна» [10].

Процесс охлаждения влажной темперированной сои сопровождается испарением влаги. Определим количество испаряемой влаги от сои для экспериментальной установки производительностью m=240 кг/ч.

По результатам наших исследований относительная влажность увлажненной сои должна быть 18-20 %. Примем $\varphi_{вл}$=19 %, после охлаждения $\varphi_{охл}$=14 %.

Количество удаляемой влаги

$$W_в = m\cdot(\varphi_{вл} - \varphi_{охл}) = 12 \text{ кг/ч} \quad (1)$$

По вышеприведенной методике удельный расход сухого и не подогретого воздуха в процессе испарения составляет

$$L_{уд} = 416{,}6 \text{ кг}_{сух\ возд}/\text{кг}_{исп\ вл}$$

Тогда массовый расход сухого воздуха

$$L_m = L_{уд}\cdot W_в = 4992 \text{ кг/ч} \quad (2)$$

Или объемный расход воздуха составляет

$$L_V = L_m\cdot\rho = 5990 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3)$$

где ρ – удельный вес воздуха, м^3/кг.

Определим проходное сечение камеры охлаждения

$$F_к = \frac{L_V}{3600\cdot\upsilon} = 0{,}138 \text{ м}^2, \quad (4)$$

где υ – скорость движения воздуха, м/с.

Ширина транспортирующего желоба $ш$=1 м, при известном сечении охлаждающей камеры определим высоту сечения

$$F_к = ш \cdot h_к = 1 \cdot h_к \quad (5)$$

$$h_к = \frac{F_к}{ш} = 0{,}138\,м \quad (6)$$

Для подачи воздуха в охлаждающую камеру по справочнику [10] выбран центробежный вентилятор Ц4-70 №5 (1450-8300 м^3/ч), *P*=1 кВт, *D*=500…800 Н/м^2.

Если на каждую сторону подача воздуха отдельным воздуховодом, то сечение их равно $S = 0{,}069\,м^2$

Тогда диаметр воздуховода определится $d = 0{,}29\,м$.

В случае распределения воздуха двумя воздуховодами на каждую сторону диаметр равен *d*=0,2 м.

В принятой системе охлаждения зерна сои отработанный воздух (нагретый за счет отбора теплоты от горячей сои) удаляется через выпускное отверстие дефлектора, смонтированного на кожухе охлаждающей камеры.

При известной длине дефлектора, равной длине транспортирующего желоба (*l*=1,5 м) определим ширину сечения дефлектора.

Сечение дефлектора

$$S_д = \frac{L}{3600 \cdot \upsilon} = 0{,}138\,м^2 \quad (7)$$

$$ш_д = \frac{S_д}{l} = 0{,}092 = 9\ см \quad (8)$$

По результатам расчета разработаны эскизные чертежи, изготовлен действующий образец системы охлаждения темперированной сои.

После проверки работоспособности технологического оборудования термической обработки были проведены предварительные лабораторные испытания системы охлаждения темперированного зерна. Для анализа температурного поля по длине охлаждающей камеры в процессе охлаждения горячей сои были выделены точки замера температуры зерна на равноудаленном расстоянии, всего семь точек по длине вибрационного транспортера, восьмая точка на выходе из камеры охлаждения, «нулевая» точка на выходе зерна из температора.

Результаты лабораторных испытаний показали (Табл. 1), что в режиме нормальной термической обработкой сои при движении ее в высокотемпературной камере в течение 70 секунд и нагретой при этом до 130 ºС, темперированная соя охлаждается на выходе из охлаждающей камеры в конце второго вибрационного транспортера до 36 ºС. При этом температура окружающего воздуха (подаваемого в зону охлаждения) была 14 ºС.

Таблица 1

Изменение температуры термически обработанной сои в процессе охлаждения, ºС.

Точки замера	Подача зерна вибротранспортером, 12 кг/мин		Подача зерна вибротранспортером, 4 кг/мин		
	два вентилятора	один вентилятор	Без вентилятора	два вентилятора	один вентилятор

На выходе из камеры нагрева	130	130	130	130	130
На выходе из температора	101	101	101	101	101
1	67	69	73	47	55
2	63	65	70	50	52
3	62	63	68	45	50
4	55	61	66	40	48
5	50	60	64	39	45
6	52	59	62	40	42
7	50	58	62	39	39
Температура зерна на выходе из вибротранспортера	45	55	60	36	40
Температура воздуха в помещении	8	8	8	14	14
Температура охлаждающего воздуха на выходе из вибротранспортера	35	33	-	28	30

Таким образом разность температур составила 22 ºС,

Отметим, что зерно рекомендуется отгружать при температуре $t_{отгр}=t_о+10$ ºС.

Следовательно, необходимо дополнительно «сбить» температуру темперированной сои на 12 ºС.

Это можно достичь различными путями, внося конструктивные изменения системы охлаждения:

1. Изменить воздухораспределение в охлаждающей камере: пластины для турбуленции воздуха срезать под углом, увеличив выходное отверстие для воздуха к концу транспортера.

2. Увеличить время обдува сои удлинением желоба транспортера и верхнего кожуха на 80…90 см.

3. Уменьшить высоту сечения охлаждающей камеры.

4. Увеличить подачу воздуха вентилятором до расчетных значений. В настоящее время подается для охлаждения воздуха около 1000 м^3/ч, требуется 4-5 тыс. м$^{3/}$ч.

Работы по корректировке системы охлаждения темперированной сои и полномасштабные экспериментальные исследования по изучению температурного поля в камере охлаждения, распределение охлаждающего воздуха в различных точках и в различных режимах будут продолжены.

Разработана простая по конструктивному исполнению система охлаждения темперированной сои и определены параметры оборудования, необходимого для реализации экспериментального образца.

Список литературы

1. Шувалов, А.М. Влияние способов термообработки на равномерность прогрева зерна сои [Текст] / А.М. Шувалов, А.Н. Машков, Д.С. Чернов Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская // Наука в центральной России. – 2017. – № 1 (25). – С. 69-75.
2. Шувалов, А.М. Особенности расчета термоизоляции бункера для темперирования сои [Текст] / А.М. Шувалов, А.Н. Машков // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 78-82.
3. Шувалов, А.М. Утилизация теплоты при термической обработке сои [Текст] / А.М. Шувалов, А.Н. Машков // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 82-87.
4. Шувалов, А.М. Способы снижения энергозатрат при тепловой обработке сои [Текст] / А.М. Шувалов, А.Н. Машков // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 111-115.
5. Машков, А.Н. Теоретический анализ тепловых процессов в системе энергообеспечения с комбинированным нагревом зерна сои [Текст] / А.Н. Машков, А.М. Шувалов, Д.С. Чернов, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская // Наука в центральной России. –2015. –№2. с. 12–21.
6. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. № 1. С. 2-9.
7. Шувалов, А.М. Расчет параметров установки для электротепловой обработки зерна сои [Текст] / А.М. Шувалов, А.Н. Машков // Наука в центральной России. – 2017. – № 5 (29). – С. 69-75.
8. Шувалов, А.М. Тепловой баланс установки для термической обработки сои [Текст] / А.М. Шувалов, А.Н. Машков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2017. – №3. – С.8. Машков, А.Н. Обоснование параметров вибрационного транспортера для термической обработки сои [Текст] / А.Н. Машков, А.В. Анашкин, В.И. Доровских // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2017. – № 3 (27). – С. 105-107.
9. Общая методика расчета зерносушильных установок [цитировался 01.10.2018]. Доступно по URL: https://studfiles.net/preview/2865193/page:2/
10. Мурусидзе Д.Н. и др. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах. –М.: Колос, 1979.-236с.

References

1. SHuvalov, A.M. Vliyanie sposobov termoobrabotki na ravnomernost' progreva zerna soi [The influence of heat treatment methods on the uniform heating of soybean grain] / A.M. SHuvalov, A.N. Mashkov, D.S. CHernov G.M. SHulaev, N.A. Votanovskaya // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – No. 1 (25). – pp. 69-75.
2. SHuvalov, A.M. Osobennosti rascheta termoizolyacii bunkera dlya temperirovaniya soi [Features of the calculation of thermal insulation of the hopper for tempering soybeans] / A.M. SHuvalov, A.N. Mashkov // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – No. 3 (27). – pp. 78-82.
3. SHuvalov, A.M. Utilizaciya teploty pri termicheskoj obrabotke soi [Heat recovery during heat treatment of soybeans] / A.M. SHuvalov, A.N. Mashkov // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – No. 3 (27). – pp. 82-87.
4. SHuvalov, A.M. Sposoby snizheniya ehnergozatrat pri teplovoj obrabotke soi [Ways to reduce energy consumption during heat treatment of soybeans] / A.M. SHuvalov, A.N. Mashkov // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – No. 4 (28). – pp. 111-115.
5. Mashkov, A.N. Teoreticheskij analiz teplovyh processov v sisteme ehnergoobespecheniya s kombinirovannym nagrevom zerna soi [Theoretical analysis of thermal processes in the energy supply system with a combined heating of soybean grain] / A.N. Mashkov,

A.M. SHuvalov, D.S. CHernov, G.M. SHulaev, N.A. Votanovskaya // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. –No.2. pp. 12–21.

6. Lachuga YU.F., Izmajlov A.YU., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedrenie vysokoehffektivnyh, resurso- i ehnergosberegayushchih tekhnologij i tekhnicheskih sredstv posleuborochnoj obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of high-performance, resource- and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2009. № 1. S. 2-9.

7. SHuvalov, A.M. Raschet parametrov ustanovki dlya ehlektroteplovoj obrabotki zerna soi [Calculation of parameters for electrothermal processing of soybean grain] / A.M. SHuvalov, A.N. Mashkov // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – No. 5 (29). – pp. 69-75.

8. SHuvalov, A.M. Teplovoj balans ustanovki dlya termicheskoj obrabotki soi [Heat balance of soybean heat treatment plant] / A.M. SHuvalov, A.N. Mashkov // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No.3. – S.8. Mashkov, A.N. Obosnovanie parametrov vibracionnogo transportera dlya termicheskoj obrabotki soi [Justification of parameters of the vibration conveyor for heat treatment of soybeans] / A.N. Mashkov, A.V. Anashkin, V.I. Dorovskih // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. – 2017. – No. 3 (27). – pp. 105-107.

9. Obshchaya metodika rascheta zernosushil'nyh ustanovok [General method of calculation of grain drying installations] [citirovalsya 01.10.2018]. URL: https://studfiles.net/preview/2865193/page:2/

10. Murusidze D.N. i dr. Ustanovki dlya sozdaniya mikroklimata na zhivotnovodcheskih fermah [Installations for creating a microclimate on livestock farms]. –M.: Kolos, 1979.-236 p.

УДК 634.171:621.865.8:637.116

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО МОЛОКА С ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ КОРОВ НА РОБОТИЗИРОВАННЫХ ФЕРМАХ

SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURAL SCHEME OF OBTAINING HIGH-QUALITY MILK WITH INDIVIDUAL FEATURES OF COWS ON ROBOTIZED FERMS

***Ю.Г. ИВАНОВ**, доктор технических наук, Г.Г. **ГАБДУЛЛИН**, кандидат технических наук, доцент, **Л.Н. АТАМАНКИНА**, инженер, ФГБОУ ВО Российский Государственный Аграрный Университет – Московская Сельскохозяйственная Академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

***YU.G. IVANOV**, Doctor of Technical Sciences, **G.G. GABDULLIN**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **L.N. ATAMANKINA**, engineer, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia*

***Аннотация**. Производство молока без термообработки со свежим вкусом и сохраненными полезными компонентами с индивидуальным составом (жир, белок) и вкусовыми качествами имеет реальные перспективы на промышленных фермах. В качестве базовой доильной установки предложен доильный робот Lely Astronaut A4, обеспечивающий контроль максимального количества показателей молока в процессе доения. Предложено оборудование технологической линии фильтрации, охлаждения и фасовки молока, определены его основные технологические параметры.*

***Ключевые слова**: индивидуальное доение коров, доильный робот, сырое молоко, индивидуальные показатели молока.*

***Abstract**. The production of milk without heat treatment with fresh taste and preserved useful components with individual composition (fat, protein) and taste qualities has real prospects on industrial farms. The Lely Astronaut A4 milking robot is proposed as the basic milking machine, which ensures the control of the maximum number of milk indicators during the milking process. The equipment of the technological line for filtration, cooling and milk packing has been proposed, its main technological parameters have been determined.*

***Keywords**: individual milking of cows, milking robot, raw milk, individual milk indicators.*

Анализ потребления коровьего молока показал, что можно выделить три группы молока, предпочитаемые различными потребителями [1]:

1-ая группа – оригинальное молоко;

2-ая группа – молоко со свежим вкусом;

3-ья группа – молоко, подвергающееся термообработке.

Все эти виды молока удовлетворяют требованиям ГОСТ 31450-2013 действующему в нашей стране.

Оригинальное молоко – это только что выдоенное сырое молоко, которое не подвергается термической обработке, а только фильтруется. Именно поэтому в нем все компоненты содержатся в натуральной форме. Приобретение сырого молока возможно только у частных лиц. Перед употреблением его рекомендуется кипятить, но при этом содержание витаминов будет снижаться, а вкусовые качества – утеряны.

Молоко со свежим вкусом – это молоко так же не подвергающееся термообработке. Оно нуждается в постоянном контроле качества. К коровам и обслуживающему персоналу предъявляются особые требования гигиены и здоровья. Такое молоко можно встретить в магазинах здорового питания. Перед употреблением его так же рекомендуется кипятить.

Молоко, подвергающееся термообработке (пастеризованное; ультрапастеризованное, стерилизованное) получило наибольшее распространение – его можно встретить во всех продуктовых магазинах.

Известно, что молоко от индивидуальной коровы имеет свой вкус и запах, присущий только ей, что хорошо знают владельцы собственных животных.

В связи с этим, для потребителей, отдающих предпочтение второй группе молока, представляет особый интерес производство продукции со свежим вкусом и сохраненными полезными компонентами без термообработки с индивидуальным составом (жир, белок) и вкусовыми качествами на промышленных фермах. При этом необходимо обеспечить минимизацию загрязнения молока в процессе его производства и максимальный технологический контроль качества. [2]

Анализ доильных установок различных типов (с доением молокопровод, в доильных залах и на доильных роботах) показывает, что наибольшим потенциалом обладают доильные роботы, т.к. только они обеспечивают отдельное доение каждой коровы, а молоко от разных коров не смешивается. [3]

Целью исследования является разработка технологической линии доения, первичной обработки и упаковки молока от индивидуально взятой коровы на роботизированных фермах.

В ходе исследования были использованы сведения о ведущих компаниях по производству доильных роботов, доильный робот Lely Astronaut, программа управления стадом компании Lely.

Программа работы:

1. Анализ и выбор типа доильного робота, наиболее полно отвечающего поставленным требованиям.
2. Разработка макета упаковки с перечнем размещаемой на ней информации.
3. Разработка технологической схемы линии доения, первичной обработки и фасовки молока.
4. Анализ продолжительности технологических операций на доильном роботе в условиях реальной фермы.
5. Обоснование параметров технологического оборудования.

Сравнительная оценка доильных роботов ведущих компаний представлена в Таблице 1.

Табл. 1

Сравнительная характеристика доильных роботов

Показатель / Компания	GEA	DeLaval	Lely
Марка робота	FT Monobox	VMS	Astronaut A4
Количество обслуживаемых животных	60-70	60-70	**62-72**
Способ подготовки сосков к доению	пневмогидравлический	гидравлический	**щеточный**
Промывка доильных стаканов после выдаивания каждой коровы	+	+	+
Сдаивание первых струек молока	+	+	+
Отделение несортового молока	+	+	+
Контролируемые показатели:			
Почетвертной надой молока	+	+	+
Продолжительность времени доения	+	+	+
Контроль мастита (электропроводность)	смешанное молоко	почетвертное молоко	**почетвертное молоко**
Содержание жира	-	-	+
Содержание белка	-	-	+
Содержание соматических клеток	-	-	+
Наличие крови в молоке	-	-	+
Температура молока	-	-	+

Анализ функциональных возможностей доильных роботов ведущих мировых компаний, представленных на отечественном рынке, показывает, что практически все они позволяют получать качественное молоко от каждого животного, однако нами для исследований был выбран робот Lely Astronaut A4, как наиболее распространенный в нашей стране (в настоящее время по стране работают более 600 таких роботов).[3]

Рисунок 1 - Автоматическая доильная установка «Lely Astronaut A4»

Макет упаковки, с размещенной информацией представлен на рис. 2.

Рисунок 2 - Макет упаковки молока

Основными сведениями, представленными на упаковке, являются: наименование фермы, кличка животного и дата его рождения, дата и время дойки, содержание жира и белка, срок годности и условия хранения молока.

Кроме того, на упаковке дается ссылка на сайт, по которому покупатель может получить полную информацию по рациону кормления, о выполненных ветеринарно–санитарных процедурах над животным и т.д.

Технологическая схема линии получения, первичной обработки и фасовки молока представлена на рис. 3.

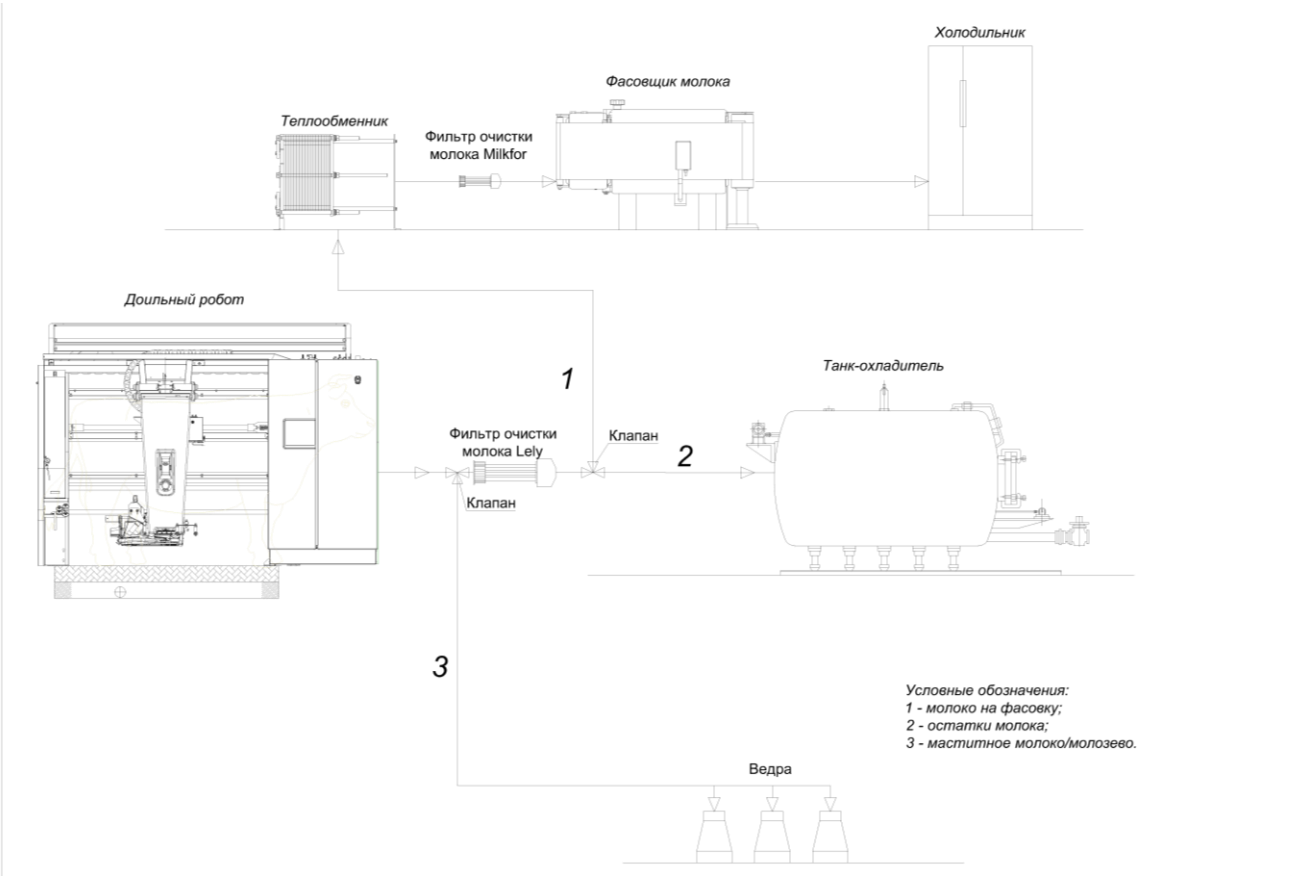


Рисунок 3 - Технологическая схема линии получения, первичной обработки и фасовки молока

Предложенная технологическая схема предусматривает выполнение следующих технологических операций:

Линия 1. Молоко от определенной коровы в процессе доения накапливается во внутреннем молокосборнике робота, откуда с помощью молочного насоса перекачивается через фильтр механической очистки, далее поступает в теплообменник, где охлаждается с +32…28°С до +6…4°С, затем поступает в молокосборник установки для розлива и упаковки молока в коробку типа «GABLE TOP» объемом 1,0 л с нанесением основной информации о продукте. Далее оно отправляется на полку в холодильную камеру.

При выборе упаковочного материала была выбрана упаковка типа «PURE PAK» компании «Ламбумиз» (рис. 4), т.к. данный тип упаковки умеет следующие преимущества:

- Экологичность. Упаковка на 95% состоит из картона-основы, который изготовлен из возобновляемого ресурса – древесного волокна.
- Прочность. Многослойный материал придает упаковке необходимую прочность, плотность, выраженную «каркасность» боковых граней и устойчивость к вздутию.
- Дополнительная защита от света. Упаковка имеет неотбеленный внутренний слой, натуральный цвет, что дополнительно защищает продукт от попадания света.

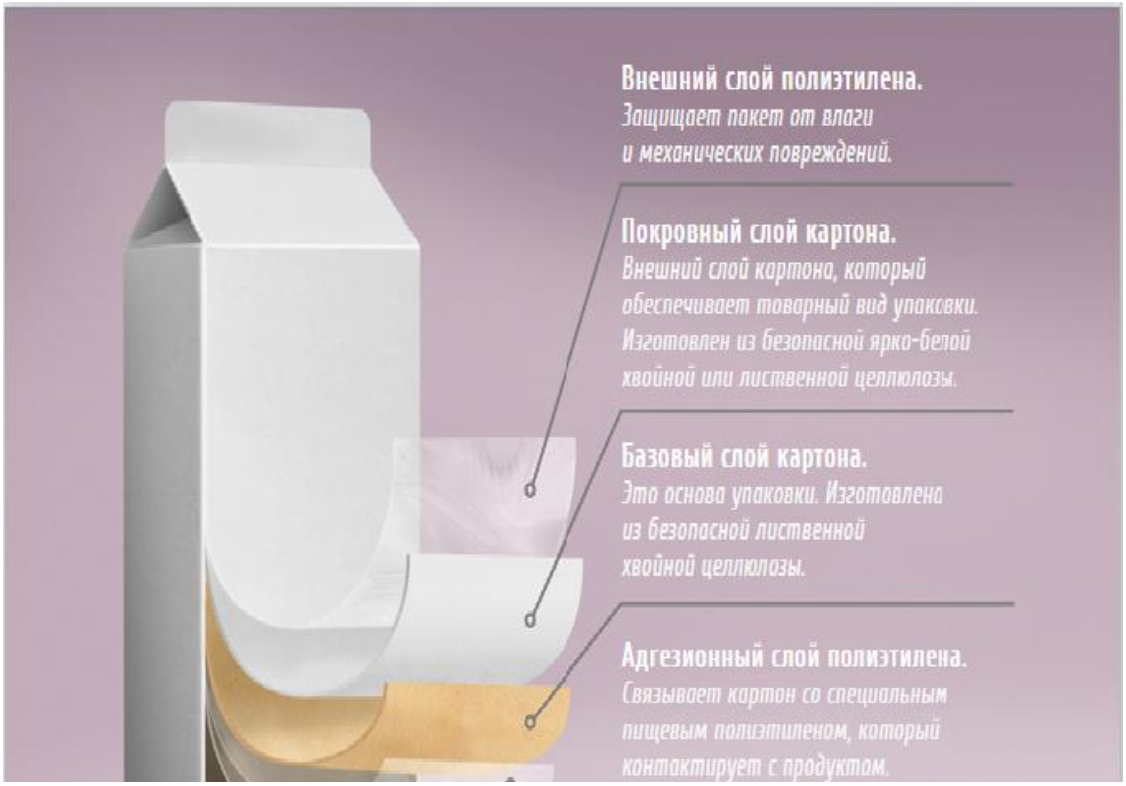


Рисунок 4 - Слои упаковки GABLE TOP компании «Ламбумиз»

Линия 2. Оставшееся молоко, массы которого не хватает для фасовки одной упаковки, после механической фильтрации попадает в танк-охладитель.

Линия 3. Непригодное для использования молоко, не проходя фильтрацию, поступает в ведра для отдельного использования.

Результаты анализа продолжительности технологических операций на доильном роботе в условиях реальной фермы необходимы для подбора параметров фильтров, теплообменника и автомата розлива и упаковки молока (табл. 2, рис. 4).

Табл. 2

Технологические операции доильного робота Lely Astronaut A4

Вид операции	Время
Подготовка к доению	
Вход коровы	5-10 с
Идентификация коровы	1 с
Движение манипулятора под корову	5-8 с
Чистка вымени щетками	30-50 с
Сканирование расположения сосков и надевание доильных стаканов	15 с
Доение	
Время от надевания доильного стакана до поступления молока к датчику	~ 16 с
Продолжительность молокоотдачи	~ 7-8 мин

Продолжительность одного цикла $t_р$ работы автомата розлива и упаковки молока после выдаивания одной коровы должна составлять:

$$t_р = t_{д\,min} + t_{з\,min} \quad (1)$$

где $t_{д\ min}$ – минимальная продолжительность времени доения одной коровы,

$t_{з\ min}$ - минимальное время от момента отключения доильных стаканов одной коровы до идентификации последующей коровы, зашедшей в робот.

По результатам технологических измерений минимальная продолжительность одного цикла работы автомата розлива и упаковки молока $t_p \leq 6$ мин. Таким образом, минимальная производительность фильтров, теплообменника и автомата розлива и упаковки при максимальной одноразовой молокоотдачи – 40 л составляет – 7 л/мин. [4]

Так же на ферме были получены данные по интервалам времени между заходами животных в бокс доильного робота, которые отображены на рис. 5.

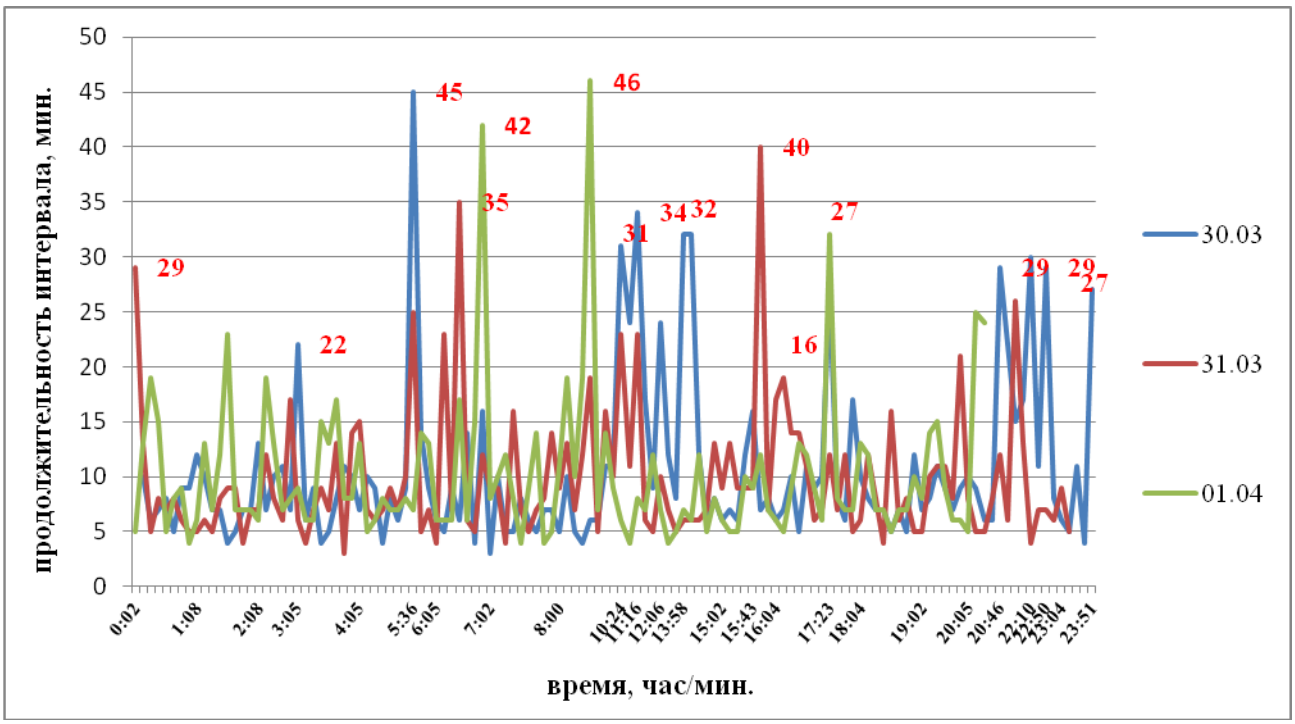


Рисунок 5 - График зависимости продолжительности интервала времени между заходами животных от времени суток в бокс доильного робота Lely Astronaut A4

Установлены наиболее длительные интервалы времени простаивания робота, что позволяет определить в какое время суток целесообразно проводить его техническое обслуживание, а также оборудования технологической линии, в том числе полную мойку всего оборудования. [5]

Обоснование параметров технологического оборудования осуществляется на основе полученных результатов исследований с учетом технических характеристик выпускаемого серийного оборудования. [6]

Предлагается следующее основное оборудование:

1) Пластинчатый теплообменник P30 компании DeLaval метод охлаждения E-combi (табл. 3). Данная версия теплообменника охлаждает молоко приблизительно до +4°С в два этапа. На 1 этапе (предварительное охлаждение) для охлаждения применяется обычная водопроводная вода, а на 2 этапе (конечное охлаждение) – охлажденная (рис. 6)

Рисунок 6 - Пластинчатый теплообменник P30 компании DeLaval

После охлаждения молока, теплую воду из пластинчатого охладителя Р30 можно использовать, подавая коровам для питья. В зимнее время года это может помочь увеличить потребления ими воды и общее производства молока. [6]

Табл. 3

Технические характеристики пластинчатого теплообменника DeLaval E-combi

Количество пластин	Пропускная способность по молоку, литр в минуту	Вода, необходимая для оптимизации охлаждения (вода: молоко)	Размер входа Вода/молок
34	15	1:1&2,5:1	1" BSP / 38 мм

2) Автомат розлива и упаковки жидких продуктов в картонную упаковку типа PURE PAK «Альтер- 04А» - карусельный тип с объемом дозирования до 1000 мл и производительностью 1500 упак./час, расход холодной воды – 0,2 м^3/ч, имеет возможность подключения к централизованной сип-мойке (рис. 7).

Рисунок 7 - Автомат розлива и упаковки жидких продуктов в картонную упаковку типа PURE PAK «Альтер- 04А»

3) Шкаф холодильный ПРЕМЬЕР ШВУП1 ТУ-0,75, рабочая температура 1…+10°С. Полезный объем 750 л, т.к. среднесуточный надой 60-ти голов при трехразовом доении может составлять от 2500 до 2650 кг. Следовательно, за определенный промежуток времени (около 8 часов) в течение суток, с учетом 10% молока, которое не подается на фасовку, масса молока может составлять до 750 кг, что составляет примерно 750 упаковок молока.

Проведенные исследования позволили установить, что научная идея получения оригинального молока от коров на современных животноводческих комплексах реализуема.

Список литературы

1. Атаманкина Л.Н., Габдуллин Г.Г., Иванова Ю.Г., Роботизированная технология для производства молока от индивидуально взятой коровы. / Актуальные направления развития техники и технологий в России и за рубежом – реалии, возможности, перспективы. Том I. Изд-во. Княгинино НГИЭУ. 2018 – С. 120

2. Иванов Ю.Г., Лапкин АГ. Сравнительная оценка энерго, трудо и эксплуатационных затрат при переводе коров с доения в молокопровод на робот «Lely Astronaut» / Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2013. № 3 (11). С. 188-190.

3. Иванов Ю.Г. Радиотехническая система управления адресным обслуживанием животных на молочной ферме / Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2005. № 1. С. 151-155.

4. Иванов Ю.Г., Викторов А.И. Радиотехнический метод определения местонахождения животных и половой охоты коров и телок / Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2005. № 4. С 9-11.

5. Машошина, Е.В. Повышение качества молока при использовании различных моющих средств для очистки доильно-молочного оборудования в козоводстве: дис. … канд. с.-х. наук: 06.02.04 / Машошина Елена Васильевна. – М., 2016. – 133 с.

6. Hocherrhitzte Milch: Ein Hoch auf die neue Milch [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.test.de/Hocherhitzte-Milch-Ein-Hoch-auf-die-neue-Milch-1145760-1145761/

7. Пластинчатый теплообменник P30 компании ДеЛаваль [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.delaval.ru/-/Product-Information1/Milk-cooling--storage/Products/Plate-Heat-Exchangers/Plate-Heat-Exchangers/DeLaval-plate-heat-exchanger-P30/

References

1. Atamankina L.N., Gabdullin G.G., Ivanova YU.G., Robotizirovannaya tekhnologiya dlya proizvodstva moloka ot individual'no vzyatoj korovy [Robotic technology for the production of milk from an individually taken cow]. / Aktual'nye napravleniya razvitiya tekhniki i tekhnologij v Rossii i za rubezhom – realii, vozmozhnosti, perspektivy. Tom I. Izd-vo. Knyaginino NGIEHU. 2018 – p. 120

2. Ivanov YU.G., Lapkin AG. Sravnitel'naya ocenka ehnergo, trudo i ehkspluatacionnyh zatrat pri perevode korov s doeniya v molokoprovod na robot «Lely Astronaut» [Comparative assessment of energy, labor and operating costs when transferring cows from milking to the milk conduit to the Lely Astronaut robot]. / Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. 2013. No 3 (11). P. 188-190.

3. Ivanov YU.G. Radiotekhnicheskaya sistema upravleniya adresnym obsluzhivaniem zhivotnyh na molochnoj ferme [Radio engineering system for managing the address maintenance of animals on a dairy farm]. / Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2005. No 1. p. 151-155.

4. Ivanov YU.G., Viktorov A.I. Radiotekhnicheskij metod opredeleniya mestonahozhdeniya zhivotnyh i polovoj ohoty korov i telok [Radio method for locating animals and sex hunting of cows and heifers]. / Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2005. № 4. p 9-11.

5. Mashoshina, E.V. Povyshenie kachestva moloka pri ispol'zovanii razlichnyh moyushchih sredstv dlya ochistki doil'no-molochnogo oborudovaniya v kozovodstve [Improving the quality of milk when using different detergents for cleaning milking and dairy equipment in goat breeding]: dis. … kand. s.-h. nauk: 06.02.04 / Mashoshina Elena Vasil'evna. – M., 2016. – 133 p.

6. Hocherrhitzte Milch: Ein Hoch auf die neue Milch [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: https://www.test.de/Hocherhitzte-Milch-Ein-Hoch-auf-die-neue-Milch-1145760-1145761/

7. Plastinchatyj teploobmennik R30 kompanii DeLaval' [DeLaval Plate Heat Exchanger P30]. URL: http://www.delaval.ru/-/Product-Information1/Milk-cooling--storage/Products/Plate-Heat-Exchangers/Plate-Heat-Exchangers/DeLaval-plate-heat-exchanger-P30/

УДК 631.95

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
THE BASIC METHODS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

А.О. КАПЕРЗОВ, *инженер, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*
A.O. KAPERZOV*, engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В данной статье рассматриваются различные инженерные методы защиты окружающей среды, с описание физических и химических процессов, протекающих в очистных аппаратах, призванные минимизировать негативное влияние, вызванное неконтролируемой и повсеместной антропогенной деятельностью.*

Ключевые слова*: экология, аппараты и оборудование, загрязнение окружающей среды, шум.*

Abstract*. This article discusses various engineering methods of environmental protection, with a description of the physical and chemical processes occurring in the treatment plant, designed to minimize the negative impact caused by uncontrolled and widespread anthropogenic activities.*

Keywords*: ecology, apparatus and equipment, environmental pollution, noise.*

Суть технологий будущего по защите окружающей среды на новом витке научно-технического прогресса в условиях глобального и экологического и экономического кризиса заключается в новых подходах и требованиях при разработке, проектировании, производстве и потреблении продукции. В агропромышленном комплексе защита окружающей среды связана прежде всего с утилизацией техники, оборудования, биоотходов.

Цель исследований: на основании проведённого научного анализа определить наиболее эффективные методы защиты окружающей среды, дать им соответствующую оценку и рекомендации для практического использования в агропромышленном комплексе.

Защита окружающей среды при разработке систем рециклинга отходов АПК является одним из важнейших условий повышения эффективности работы любого агропредприятия.

По видам загрязняющих агентов загрязнение бывает: физическое (тепловое, радиоактивное, шумовое), химическое (тяжелые металлы, пестициды, синтетические поверхностноактивные вещества), биологическое (патогенные микроорганизмы, продукты генной инженерии). Для каждого вида загрязнения существует свой способ и метод борьбы с ним. Рассмотрим основные их виды по воздействию на среду обитания [1-9].

Если говорить о загрязнение атмосферы, то основными источниками борьбы являются аэрозоли (пыль, дымы), туманы (масляные, кислотные), газовые смеси (NO_2, CO, NO_x, NH_3, H_2S).

Соответственно для каждого из этих загрязнителей существуют свои методы очистки с соответствующим оборудованием (Рис. 1).

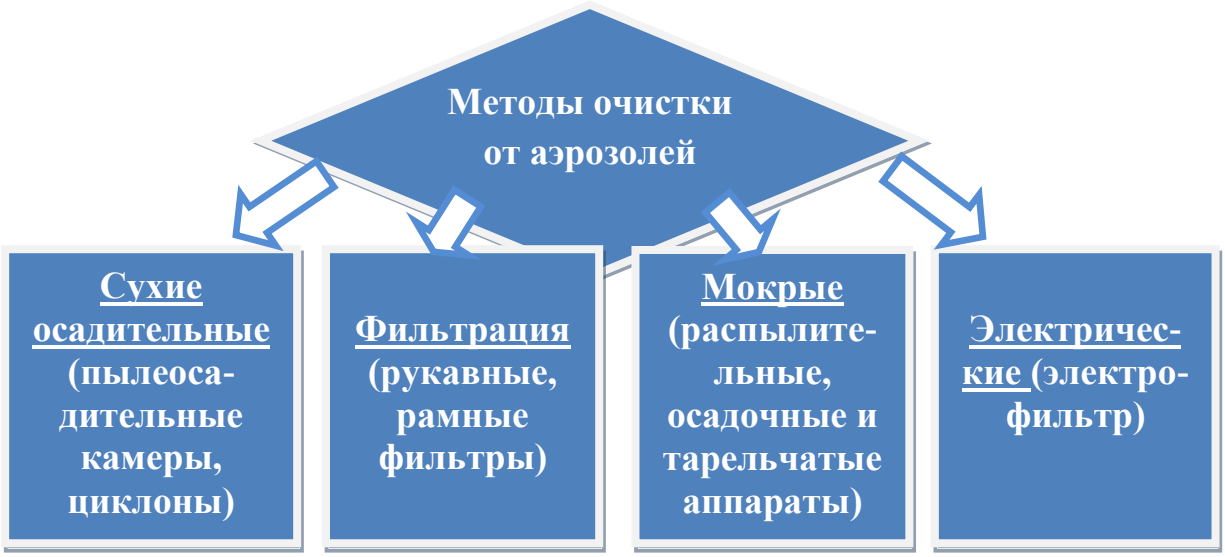


Рисунок 1- Методы очистки аэрозолей

Мокрые методы очистки используют один и тот же принцип. На встречу газовому потоку с частицами пыли движется поток с жидкостью в виде капель, струй. Жидкость сталкивается с частицей, захватывает её и смывает. Вся разница методов заключается лишь в аппаратном исполнение: использование распылителей, насадок, тарелок.

Фильтрация – процесс очистки среды путём прохождения её через пористую перегородку (фильтр). Различают рукавные и рамные фильтры. Перегородка может иметь различную природу, может быть гибкой (ткань, волокно, войлок), полужёсткой (стружка), жёсткой (стекло, метал, дерево), зернистой (песчаная засыпка). Выбор типа перегородки зависит от химических свойств газа и физических параметров среды (температура, давление).

Очистка воздуха от туманов и брызг использует те же методы и оборудование, что и очистка от аэрозолей с оглядкой на физику среды. Наиболее часто используемым способом является метод мокрой фильтрации с использование аппаратов распылительного, осадочного и тарельчатого типа.

По-иному обстоят дела с газовыми смесями. Существует достаточно большое количество способов избавиться от этого типа загрязнителя (Рис. 2).

Рисунок 2 - Методы очистки от газовых смесей

Массообменный процесс – процесс переноса массы из фазы в фазу в направление достижения равновесия. Соответственно основными процессами

исполнения этого равновесия будут абсорбция и адсорбция. Абсорбция – процесс избирательного поглощения газов жидким поглотителем (сорбентом). Процесс может протекать без и с химическим взаимодействием (хемосорбция). Аппараты, в которых проходит этот процесс, называют абсорберами. Они могут также быть выполнены в виде распылительной, насадочной и тарельчатой колонны. Аналогичные аппараты используются и в процессе адсорбции – поглощение паров жидкостей, газов твёрдым поглотителем.

Термические методы используют для обезвреживания паров органических жидкостей и сжигания тонкодисперсной органики. Типичным оборудованием для исполнения данной работы является циклонная печь, в которой продукты горения являются вторичным источником тепла и подогревают газовоздушную смесь.

Вода – наиболее распространённый и важный ресурс для человека. На протяжении всей жизни мы, так или иначе, взаимодействуем с ней, результатом чего является, то, что получило название сточные воды. То есть, вода, бывшая в бытовом, сельскохозяйственном или производственном употреблении, а также прошедшая через загрязнённую территорию. И так как это крайне необходимый ресурс, существует огромное количество способов очистить и привести к исходному состоянию такую воду (Рис. 3).

Гидромеханические методы представляют собой процеживание водного стока при помощи решета и цепей. Никуда не ушло и фильтрование с отстойниками. Суть их осталась всё та же: действие гравитационных сил на частицу и прохождение через различные пористые перегородки (ткань, насыпная перегородка).

Массообменный процесс также используется для очистки стоков с помощью процесса экстракции, ионного обмена и мембран. Экстракция – процесс извлечения жидкого вещества из раствора. Применяется для очистки водных стоков, содержащих масла, фенолы, органические кислоты, ионы металлов и другое. Здесь также применяется адсорбция.

Биохимические методы очистки применяются для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. В их основе – свойство микроорганизмов использовать органические вещества и некоторые минеральные в качестве источника питания. Микроорганизмы от простейших до сложных вступают во взаимодействие с загрязнением и разлагают его до CO_2, H_2O и другие оксиды. Этот процесс может проходить как в присутствие кислорода (аэробное окисление), так и без него (анаэробное).

Химические методы позволяют удалять из водных стоков загрязняющие компоненты, которые невозможно удалить массообменным путём, или обезвреживает концентрированные токсичные компоненты перед биологической очисткой, а также после неё. Основными методами химического обезвреживания являются нейтрализация, окисление, восстановление.

Рисунок 3 - Методы очистки сточных вод

Ещё одним источником загрязнения наравне с химическими и биологическими загрязнителями является шум [2,9]. Одним из наиболее значимых источников шумового загрязнения является транспорт. Звук, источником которых является автомобильный и железнодорожный транспорт, имеет уровень от 75 до 95 дБ. Безопасный уровень шума для окружающей среды составляет максимум 45-60 дБ. Если рассмотреть причины его генерации, то можно выделить следующие разновидности (Рис. 4):

- механический шум (в результате силового воздействия неуравновешенных вращающихся масс);
- гидродинамический шум (в результате пульсации давления в потоке жидкости вследствие турбулентности, кавитации, перепадов давления);
- аэродинамический шум (в результате выпуска газа в атмосферу, обтекания воздушным потоком тел за счёт турбулизации потока, отрыв потока и образование вихревых зон, перемешивание равноскоростных потоков);
- электромагнитный шум (вследствие колебания сердечников электрических машин, шума в зазорах сердечников).

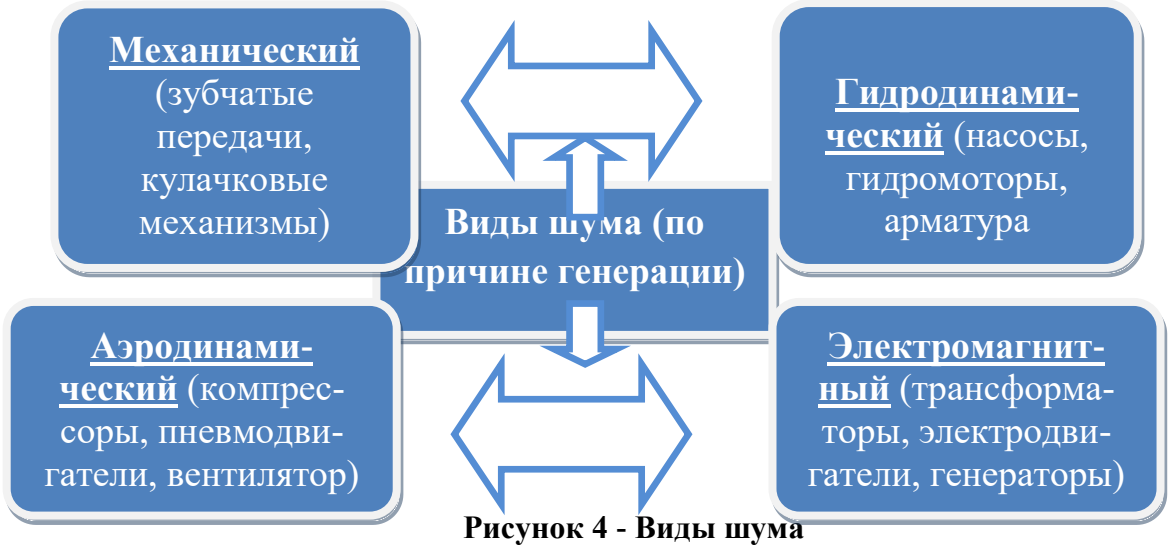


Рисунок 4 - Виды шума

Для того чтобы реализовать методы по борьбе с шумом, нужно для начала определить с чем именно предстоит бороться. Есть два метода решения проблемы шума: борьба в источнике шума и борьба на пути его распространения.

Глушители наиболее распространённый способ борьбы с аэродинамическим шумом. Они работают в качестве элемента трубопровода. Различают реактивные и активные глушители. Суть реактивных глушителей – отражение звуковой волны в обратном направлении при изменении сечения тракта (за счёт изменения площади сечения). Активный глушитель работает по принципу необратимого перехода звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающем материале, т.е. за счёт сил трения (Рис. 5). Также существуют комбинированные глушители, которые используют как способы отражения, так и звукопоглощения в одной конструкции [10].

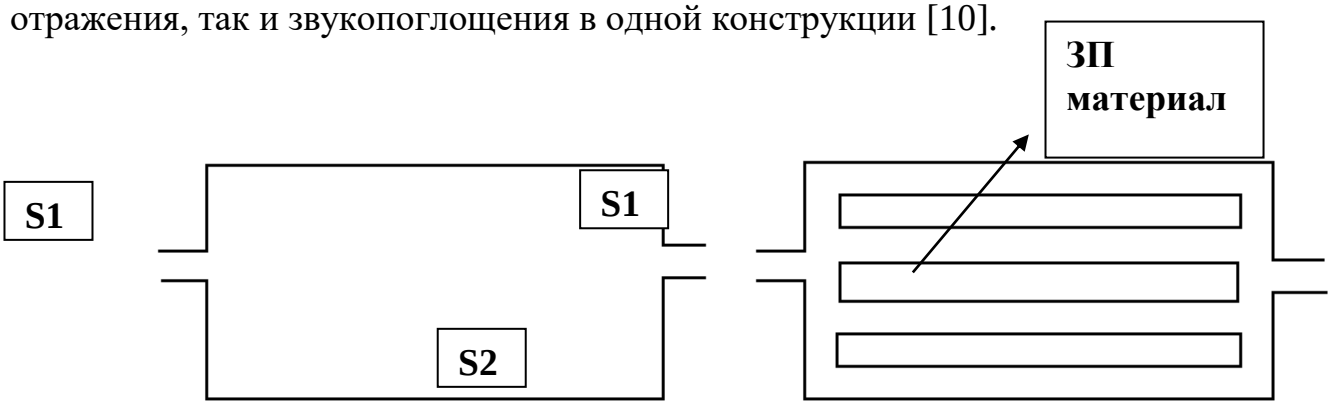


Рисунок 5 - Схема реактивного и активного глушителей

Представленные инженерные методы защиты окружающей среды основаны на реальных возможностях для их внедрения в различных отраслях народного хозяйства. Безусловно, что наиболее беззащитным в экологическом смысле является сельское хозяйство. Если в городских условиях предложенные методы уже имеют свою реализацию, то в сельской местности, в агропромышленном комплексе предстоит большая работа по защите окружающей среды. Всё это даёт большое поле деятельности для всех молодых учёных в этом направлении.

Приведённые и описанные в данной статье методы очистки окружающей среды от антропогенного загрязнения дают возможность специализированным инженерным службам экологического направления подобрать оборудование для мероприятий, связанных с защитой окружающей среды. В агропромышленном комплексе проведение этой работы должно носить обязательный характер, так как эта отрасль отвечает за продовольственную безопасность страны.

Список литературы

1. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию - М.:Химия, 1991. - 496 с.
2. Иванов Н.И. Инженерная акустика – М.:Логос,2008.- 424 с.
3. Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. - М: Техносфера, 2007 - 656 с.

4. Трофименко Ю.В., Воронцов Ю.М., Трофименко К.Ю. Утилизация автомобилей: Научная монография.-М.:АКПРЕСС,2011.-336 с.
5. Плановский А.Н.,Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии.-М.: Химия,1987.-496 с.
6. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно – транспортная экология.-М.: Высшая школа,2003.-273 с.
7. Вишняков Я.Д., Васлаев М.А. Система утилизации автотранспортных средств и отходов технического обслуживания//Экология и промышленность России,№10,2007.-С.50-52.
8. Петров Р.Л. О мировом опыте организации национальных систем Авторециклинга//Рециклинг отходов, №5, 2008.-С.2-11.
9. Handbook of Noice and Vibration Control/Ed. Malcolm J.Crocker.N.Y.: John Wiley and Sons,2007.
10. Трофименко Ю.В., Комков В.И. Снижение вреда окружающей среде при обращении с отходами эксплуатации автомобильного транспортного региона//Автотранспортное предприятие, №5,2 010.-С.33-36.
11. Юферев Л.Ю., Майоров В.А., Стребков Д.С., Сагинов Л.Д., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Иродионов А.Е., Харченко В.В., Панченко В.А., Вершинин В.С., Сычев А.О., Гусаров В.А., Серебряков Р.А., Кусков А.И., Цимбалюк С.Э., Доржиев С.С., Базарова Е.Г., Моренко К.С., Ковалев Д.А., Ковалев А.А. и др. Методы оценки энергопотенциала возобновляемых источников по сельским регионам. Теоретические и конструкционные основы функционирования инновационных преобразователей энергии и возобновляемых источников различного типа с определением их основных параметров в составе автономных (локальных) энергосетей, различных способов биоэнергетической переработки органических отходов. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2017, 198 с.

References

1. Dytnerskij YU.I. Osnovnye processy i apparaty himicheskoj tekhnologii: Posobie po proektirovaniyu [The main processes and devices of chemical technology: Design Guide]. - M.:Himiya, 1991. - 496 p.
2. Ivanov N.I. Inzhenernaya akustika [Engineering Acoustics]. – M.:Logos,2008.- 424 p.
3. Ignatovich EH. Himicheskaya tekhnika. Processy i apparaty [Chemical technology. Processes and devices]. - M: Tekhnosfera, 2007 - 656 p.
4. Trofimenko YU.V., Voroncov YU.M., Trofimenko K.YU. Utilizaciya avtomobilej: Nauchnaya monografiya [Utilization of cars: Scientific monograph].-M.:AKPRESS,2011.-336 p.
5. Planovskij A.N.,Nikolaev P.I. Processy i apparaty himicheskoj i neftekhimicheskoj tekhnologii [Processes and devices of chemical and petrochemical technology].-M.: Himiya,1987.-496 p.
6. Lukanin V.N., Trofimenko YU.V. Promyshlenno – transportnaya ehkologiya [Industrial - transport ecology].-M.: Vysshaya shkola,2003.-273 p.
7. Vishnyakov YA.D., Vaslaev M.A. Sistema utilizacii avtotransportnyh sredstv i othodov tekhnicheskogo obsluzhivaniya [System of utilization of motor vehicles and maintenance waste] // EHkologiya i promyshlennost' Rossii,No 10,2007.-p.50-52.
8. Petrov R.L. O mirovom opyte organizacii nacional'nyh sistem Avtoreciklinga [On the world experience of the organization of national systems of auto-recycling] // Recikling othodov, No 5, 2008.- p.2-11.
9. Handbook of Noice and Vibration Control/Ed. Malcolm J.Crocker.N.Y.: John Wiley and Sons,2007.
10. Trofimenko YU.V., Komkov V.I. Snizhenie vreda okruzhayushchej srede pri obrashchenii s othodami ehkspluatacii avtomobil'nogo transportnogo regiona [Reducing

environmental damage when handling waste from an automobile transport region] // Avtotransportnoe predpriyatie, No 5,2 010.-p.33-36.

11. YUferev L.YU., Majorov V.A., Strebkov D.S., Saginov L.D., Evdokimov V.M., Arbuzov YU.D., Irodionov A.E., Harchenko V.V., Panchenko V.A., Vershinin V.S., Sychev A.O., Gusarov V.A., Serebryakov R.A., Kuskov A.I., Cimbalyuk S.EH., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Morenko K.S., Kovalev D.A., Kovalev A.A. i dr. Metody ocenki ehnergopotenciala vozobnovlyaemyx istochnikov po sel'skim regionam. Teoreticheskie i konstrukcionnye osnovy funkcionirovaniya innovacionnyh preobrazovatelej ehnergii i vozobnovlyaemyh istochnikov razlichnogo tipa s opredeleniem ih osnovnyh parametrov v sostave avtonomnyh (lokal'nyh) ehnergosetej, razlichnyh sposobov bioehnergeticheskoj pererabotki organicheskih othodov. otchet o NIR (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij) [Methods for estimating the energy potential of renewable sources in rural regions. Theoretical and structural basis for the functioning of innovative energy converters and renewable sources of various types with the definition of their basic parameters in the composition of autonomous (local) power grids, various methods of bioenergy processing of organic waste. research report (Federal Agency of Scientific Organizations)]. Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM, 2017, 198 p.

УДК 631.363

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ АГРЕГАТОВ

MODERNIZATION OF MOBILE MIXER ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF EXISTING UNITS

***О.Ю. КРАСИЛЬНИКОВ**, Челябинская государственная агроинженерная академия, директор ООО «Биоэнергия и К», г.Коркино, Россия, **Т.Е. МАРИНЧЕНКО**, научн. сотр., ФГБНУ "Росинформагротех", гп. Правдинский, Россия*

***O.YU. KRASIL'NIKOV**, Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Director of Bioenergy & Co. Ltd., Korkino, Russia, **T.E. MARINCHENKO**, scientist. researcher., FGBNU "Rosinformagrotekh", gn. Pravdinsky, Russia*

***Аннотация**. На экономику производства животноводческой продукции оказывает влияние не только созданные оптимальные условия содержания сельскохозяйственных животных и птицы и их генетический потенциал, но и кормовая база и организация процесса кормления. Совершенствование технических средств кормоподготовки напрямую оказывает влияние на результативность кормления и эффективность производства животноводческой продукции, что может быть достигнуто внедрением современных агрегатов для заготовки и создания кормосмесей. В практику все шире внедряют кормление, базирующееся на использовании полнорационных кормосмесей. Существующие стационарные комбикормовые цеха с одноступенчатым смешиванием не отвечают современным требованиям качества кормоподготовки. В эксплуатации они дороже мобильных за счет необходимости обустройства специальных помещений, постоянного технического сопровождения производства, содержания персонала. Во многих странах с развитым животноводством применительно к небольшим и средним животноводческим хозяйствам все чаще в последние годы используют исключительно мобильные комбикормовые заводы для снижения себестоимости корма. Разработанный мобильный кормоцех «МОБИК» обеспечивает высочайшую степень смешивания многокомпонентных полнорационных кормов без расслаивания комовых компонентов, предоставляя возможность полного*

***Abstract**. The economy of livestock production is affected not only by the created optimal conditions for keeping livestock and poultry and their genetic potential, but also the forage base and the feeding process management. Improving the technical means of feed preparation directly affects the efficiency of feeding and the efficiency of production of livestock products, which can be achieved by introducing modern aggregates for harvesting and creating feed mixtures. When managing high-grade feeding, one of the major issues becomes rational use of concentrates, as they occupy an essential part in the structure of diet and in the structure of the cost price. The existing stationary feedstuff mills with single-stage mixing do not meet the modern requirements for quality feed; in operation, they are 2-3 times more expensive than mobile ones due to the need to equip special premises, the need for constant technical support of the current production and personnel maintenance. In many countries with developed livestock farming, mobile feed mills have been used more and more in recent years in order to reduce the cost of feed regarding small and medium-sized livestock farms. The developed MOBIK mobile feed preparation station ensures the highest degree of mixing of multicomponent full feed without delamination of the components, providing the possibility of complete self-sufficiency*

самообеспечения сбалансированными кормами с низкой себестоимостью. При этом мобильность кормоцеха предоставляет возможность использовать его в хранилищах кормовых компонентов или непосредственно рядом с животноводческими помещениями и гибко менять рецептуру комбикорма в зависимости от вида, возраста и физиологических потребностей животных. Основным конкурентным преимуществом кормоцеха является низкая энергоемкость и, соответственно, цена.

Ключевые слова: *животноводство, кормление, приготовление кормов, мобильный кормоцех.*

in balanced feeds with low cost. At the same time, the mobility of the feed preparation station makes it possible to use it in the storage of feed components or directly adjacent to livestock premises and flexibly change the compounding formulation depending on the species, age and physiological needs of the animals. The main competitive advantage of the feed preparation station is the low energy intensity and, accordingly, the price.

Keywords*: cattle breeding, feeding, preparation of forages, mobile feed preparation station.*

Все большую роль в оптимизации кормления начинают играть мобильные измельчители – смесители-кормораздатчики, которые чаще называют «кормосмесителями». Они позволяют получать грамотно составленные полнорационные, сбалансированные кормосмеси, которые, поедаются на 20-30% охотнее, при этом животные получают смесь постоянного состава и не выбирают какие-то отдельные компоненты, гомогенный состав снижает амплитуду колебаний потребления корма и продуктивности.

В настоящее время накоплен существенный опыт применения кормосмесителей во многих отечественных хозяйствах и получены заметные результаты: в молочных хозяйствах надои увеличиваются, а качество молока только повышается. В ряде хозяйств налажено производство кормосмесей различного состава на основе силоса или сенажа. Такая технология кормопроизводства силосно-сенажных смесей начинает играть все большую роль в отечественной системе автоматизированного группового кормления крупного рогатого скота. Введение в силосную массу влажностью около 65 % концентратов в размере 10,5 % (по массе) и 1 % минеральных добавок повышает поедаемость коровами такого корма и обеспечивает среднесуточные удои молока в пределах 19—26 кг. [1].

Высокая продуктивность и экономное расходование кормов достигаются сбалансированным нормированным кормлением. Рацион, содержащий все необходимые для животного питательные и биологически активные вещества, обусловливает не только полноценные рост и продуктивность животного, но и минимальный расход кормов на единицу получаемой продукции. Организация кормопроизводства на основе собственных кормовых ресурсов, вовлечение отходов сельского хозяйства, животноводства и растениеводства, вторичного сырья перерабатывающей и пищевой промышленности позволяют существенно снизить себестоимость кормов [2, стр. 227; 3, стр. 45].

Целью исследования является поиск оптимального варианта мобильного кормоприготовления заданной рецептуры малой мощности.

Исследованы и прошли сравнение по эксплутационным характеристикам кормосмесители вертикального и горизонтального типа.

Кормосмесители бывают стационарные, которые только готовят смеси, размещаемые на постоянном месте для больших объемов и мобильные - прицепные и полуприцепные агрегаты, которые механизируют загрузку ингредиентов, их смешивание и, зачастую, раздачу животным.

По направлению установки рабочего смешивающего органа выделяют горизонтальные и вертикальные кормосмесители.

Горизонтальный тип кормосмесителя лучше гомогенизирует смесь с меньшими затратами времени (от 5 до 10 минут) и энергии. Процесс кормоподготовки осуществляется вращением двух и более рабочих элементов, расположенных рядом. Этот тип кормосмесителей хуже измельчает и смешивает соломистые корма и более чувствителен к попаданию посторонних предметов.

Вертикальный тип смесителей конструктивно более прост, а значит, более надежен, легко режет и перемешивает грубые корма, допускает ряд модификаций, облегчающих эксплуатацию. Они демонстрируют меньшую, по сравнению с горизонтальными, равномерность смешивания и раздачи, которую осуществляет через раздаточные заслонки или с применением раздаточного транспортера. Кормосмесь готовится примерно 10-15 минут.

Во многих странах применительно к небольшим и средним животноводческим хозяйствам для снижения стоимости корма используются исключительно мобильные комбикормовые заводы. Основной задачей любого кормосмесителя является подготовка качественной кормосмеси заданной рецептуры за короткий промежуток времени [4].

Сегодня на рынке представлены разные модели: по мощности, габаритам, мобильные и стационарные. Существующие смесители вертикального действия, выпускаемые в России и за рубежом, имеют одноступенчатое смешивание посредством вертикально расположенного шнека с введением премиксов через боковое загрузочное окно, расположенное на наклонной стенке смесителя [5, стр. 35]. Такой механизм введения осложнен наличием избыточного давления в смесителе в процессе работы дробилки, поэтому в процессе подачи премиксов воздухом они могут выбрасываются наружу. Образовывающаяся при загрузке и в процессе смешивания пыль улавливается тканевыми фильтрами, расположенными в крепёжной рамке верхней части смесителя. В процессе работы тканевые фильтры неизбежно забиваются кормовой пылью, при этом подача комбикорма в смеситель останавливается, за счет повышения давления в корпусе смесителя. Для очистки тканевых фильтров наносят механические удары по нему, в итоге пыль осаживается на оборудование. Такой смеситель обладает большими габаритами по высоте за счет тканевых фильтров, следовательно, требует специально оборудованного здания. Помещение, в котором происходит кормоприготовление, неизбежно запылено, что ухудшает условия труда персонала, приводит к потере зернопродукта и высокой пожарной опасности. Смешивание комбикорма производится одним шнеком, приводимым в движение электродвигателем, мощностью в 200–300 л.с., что приводит к некачественному смешиванию

ингредиентов и его расслаиванию по фракциям. Электродвигатель находиться в запыленной зоне, что снижает ресурс его эксплуатации [6].

В СНГ распространение получил комбикормовый завод МКЗ -3214 белорусского предприятия ООО «Мобильные комбикормовые заводы» в Белоруссии, производительностью 8-10 т полнорационного комбикорма в час, расход топлива на 1 т готового комбикорма составляет 3-4 литра. На платформе автомобиля МАЗ монтируется австрийское оборудование, приводимое в работу ДВС, мощностью 300 л.с. [7, стр. 163]. Применяется одноступенчатое смешивание, МКЗ -3214 имеет большое количество гидравлических приводов, которые могут создавать проблемы при минусовых температурах.

В предложенном кормовом смесителе «Мобик» вертикального действия, основанном на использовании реактивной энергии выхлопной струи воздушно-зернового потока устранены некоторые недостатки вертикальных кормосмесителей (Рис. 1).

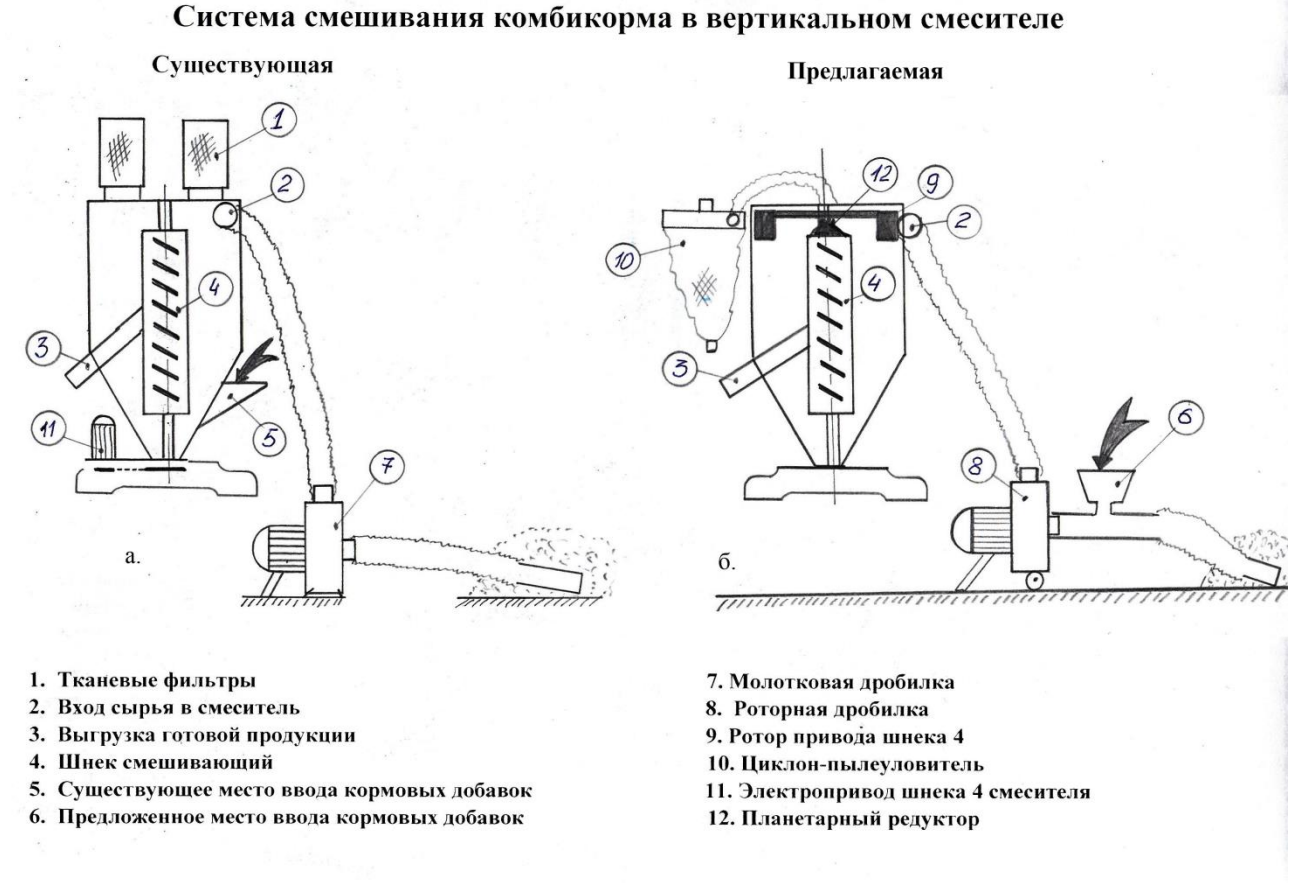


Рисунок 1 - Система смешивания в вертикальном смесителе: 1 – тканевые фильтры, 2 – ввод сырья в смеситель, 3 – вывод готовой продукции, 4 – смешивающий шнек, 5 – место ввода кормовых добавок в существующих моделях, 6 – место ввода кормовых добавок в разработанной модели, 7 – дробилка молотковая, 8 – дробилка роторная; 9 – ротор привода шнека 4, 10 – циклон-пылеуловитель, 11 – электропривод шнека 4 смесителя, 12 – редуктор планетарный

Смеситель снабжен аспирационным циклоном, который не выводит комбикормовую пыль за верхние габариты смесителя. В процессе работы кормовая пыль осаживается на дне циклона, в конце работы фильтрующие элементы легко очищаются. Премиксы согласно рецептуре вводятся в воздушно-зерновую струю перед дробилкой, следовательно, первая ступень

смешивания наступает в процессе подачи основного компонента. Зернофураж закачивается вакуумом дробилкой «Шмель» (патент на изобретение № 63251) с платформы «Мобика», здесь происходит вторая ступень смешивания, поскольку в «Шмель» создается мощную реактивная выхлопная струя воздушно-зерновой смеси. Вращение ротора дробилки «Шмель», оснащенной 8 лопастями, достигает 3000 об./мин. Вес подаваемого продукта определяется весовыми тензодатчиками, показатель веса выводится на световое табло. По окончанию набора необходимого веса дроблёное зерно с премиксами «Шмелём» начинает воздушно-зерновой струей подается во второй смеситель через поворотный клапан, где в верхней части смесителя расположен лопастной ротор-вентилятор, имеющий скорость вращения порядка 1500 об./мин., который порционно разбрасывает кормосмесь в корпусе смесителя, что также является ступенью смешивания. Ротор через планетарный редуктор вращает основной смешивающий шнек конструкции. Таким образом, смеситель «МОБИК» обладает четырехступенчатым смешиванием, что позволяет использовать смесители подобной конструкции для производства сложных полнорационных кормов с высочайшей степенью смешивания без расслаивания кормовых компонентов.

Такая схема работы позволяет производить комбикорм непрерывно и с минимальными затратами энергии. Электродвигатель в конструкции отсутствует, вращение шнека осуществляется за счет реактивной энергии воздушно-зерновой струи. По окончании смешивания комбикорма в одном из смесителей он освобождается открытием выгрузного устройства. После опустошения смесителя процесс изготовления корма повторяется до получения необходимого объёма. В установке «Мобик» используется три привода вращения: два на смесители и один на зернодробилку «Шмель». Для этого на платформе смонтирована гидростанция с приводом от двигателя внутреннего сгорания мощностью 25 л.с. Привод агрегатов осуществляется гидромоторами. Подобная схема позволяет значительно снизить расход топлива исходя из расчёта на 1 т изготавливаемого комбикорма – 2–2,5 л по сравнению 3,5–4 л на импортных аналогах.

Все комплектующие агрегаты комплекса отечественного производства. Импортные аналоги в России представлены Германией и Австрией. Эти агрегаты отличаются большой стартовой стоимостью и дороговизной в эксплуатации по причине высокой стоимости расходных оригинальных запчастей. Например, австрийский комплекс производительностью 10–12 т/ч продаётся за 17,5 млн руб., немецкий, производительностью 4–6 т/ч., предлагается за 8,5 млн. Стоимость «Мобика», производительностью 3–4 т/ч полнорационного комбикорма, составляет порядка 2,4 млн руб.

Наиболее рациональным вариантом использования «Мобика» является его использование на кооперативных принципах. В этом случае он будет обслуживать ряд хозяйств, что существенно снижает траты за его приобретение и эксплуатацию для каждого их этих хозяйств. В этом случае принимается заявка от заказчика на производство кормов по заданной рецептуре и объему. Определяется перечень недостающих у заказчика компонентов, готовится

объем кормовых добавок: премикс, патока, травяная мука, фосфат, мел, рыбная и мясокостная мука, микро- и макроэлементы, витаминная группа, недостающих у заказчика. «Мобик» направляется на зерносклад заказчика с готовыми добавками в мешках на своей платформе. По прибытию комплекс приводится в рабочее положение (10–15 мин.) и начинается производство комбикорма необходимого качества и требуемого объёма. За счет небольшой стоимости, мобильности, высокого качества смешивания ингредиентов и малой энергоемкости «Мобик» имеет явные конкурентные преимущества на рынке кормосмесителей малой мощности [8].

Разработанный мобильный кормоцех «МОБИК» обеспечивает высочайшую степень смешивания многокомпонентных полнорационных кормов без расслаивания комовых компонентов, предоставляя возможность полного самообеспечения сбалансированными кормами с низкой себестоимостью. При этом мобильность кормоцеха предоставляет возможность использовать его в хранилищах кормовых компонентов или непосредственно рядом с животноводческими помещениями и гибко менять рецептуру комбикорма в зависимости от вида, возраста и физиологических потребностей животных. Основным преимуществом кормоцеха является низкая энергоемкость и, соответственно, цена.

Авторы выражают благодарность Кузьмину В.Н. за рекомендации по совершенствованию исследования и Голубеву И.Г. за рецензирование статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Роль кормосмесителей в повышении продуктивности крупного рогатого скота и экономии кормов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://://biohim.com.ru/articles/kormosmesiteli, свободный. (дата обращения: 20.01.2018).
2. Маринченко, Т.Е. Необычные корма - в помощь фермеру / Т.Е. Маринченко // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 2. – С. 43-47.
3. Кузьмин, В.Н. Справочник фермера / В.Н. Кузьмин, В.Ф.Федоренко, Д.С. Буклагин и др./ М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 616 с.
4. Машины и оборудование для смешивания кормов. Зоотехнические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/shared/L/lexcol/educationalwork/Tab4/Leksia8.pdf, свободный (дата обращения: 20.01.2018).
5. Васильев С.П. Эффективность применения кормосмесителей раздатчиков/ С.П. Васильев // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: тр. межд. научн.-практ. конф. – 2015. – С. 34-36.
6. Мобильный кормоцех [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://://agroserver.ru/b/mobilnyy-kormotsekh-780199.htm, свободный (дата обращения: 20.01.2018).
7. ООО «Мобильные комбикормовые заводы» – верное решение на пути к выгодному и качественному производству// Знак Качества. – 2012. – № 07-08. – С. 18-20.
8. Мобильный кормоцех «Мобик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://shmell174.ru/products/mobilnyj-kormotsekh-mobik, свободный (дата обращения: 20.01.2018).

References

1. Rol' kormosmesitelej v povyshenii produktivnosti krupnogo rogatogo skota i ehkonomii kormov [The role of feed mixers in increasing the productivity of cattle and feed savings]. – URL: http://://biohim.com.ru/articles/kormosmesiteli, svobodnyj. (data obrashcheniya: 20.01.2018).

2. Marinchenko, T.E. Neobychnye korma - v pomoshch' fermeru [Unusual feed - to help the farmer] / T.E. Marinchenko // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2011. – No 2. – p. 43-47.

3. Kuz'min, V.N. Spravochnik fermera [Farmer's Handbook] / V.N. Kuz'min, V.F.Fedorenko, D.S. Buklagin i dr./ M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013. – p. 616.

4. Mashiny i oborudovanie dlya smeshivaniya kormov. Zootekhnicheskie trebovaniya [Machines and equipment for mixing feed. Zootechnical requirements]. – URL: http://portal.tpu.ru/shared/L/lexcol/educationalwork/Tab4/Leksia8.pdf, svobodnyj (data obrashcheniya: 20.01.2018).

5. Vasil'ev S.P. EHffektivnost' primeneniya kormosmesitelej razdatchikov [Efficiency of application of feed mixers distributors] / S.P. Vasil'ev // Agrarnaya nauka XXI veka. Aktual'nye issledovaniya i perspektivy: tr. mezhd. nauchn.-prakt. konf. [Agrarian science of the XXI century. Current research and prospects] – 2015. – p. 34-36.

6. Mobil'nyj kormocekh [Mobile feed mill]. – URL: http://://agroserver.ru/b/mobilnyy-kormotsekh-780199.htm, svobodnyj (data obrashcheniya: 20.01.2018).

7. OOO «Mobil'nye kombikormovye zavody» – vernoe reshenie na puti k vygodnomu i kachestvennomu proizvodstvu [LLC «Mobile Feed Mills» - the right decision on the way to a profitable and high-quality production]// Znak Kachestva. – 2012. – No 07-08. – p. 18-20.

8. Mobil'nyj kormocekh «Mobik» [Mobile feed factory "Mobik"]. – URL: http://shmell174.ru/products/mobilnyj-kormotsekh-mobik, svobodnyj (data obrashcheniya: 20.01.2018).

УДК 05.20.01 637.116+637.115

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ МАСТИТОВ И СТИМУЛЯЦИИ ЛАКТАЦИИ КОРОВ

THE SAFE ECOLOGICAL METHOD AND THE DEVICE FOR THERAPY OF COWS MASTITIS AND STIMULATION OF LACTATION

В.Е. ЛЮБИМОВ, *к. биол. наук, доцент, ст. науч. сотр.,* ***И.В. ЛЮБИМОВ,*** *магистр, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия*
V.E. LUBIMOV*, cand. biol. science, associate Professor, senior scientist. et al.,* ***I.V. LUBIMOV****, master student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. Здоровье вымени чрезвычайно важный экономический фактор молочного животноводства. Исследование экологически безопасных новых инженерных средств профилактики и лечения заболеваний вымени как раздел ветеринарной бионики, входит в направление интеллектуальных технологий биомашсистемы: человек – машина-корова. Лечение маститов антибиотиками эффективно, но неэкологично и неприемлимо - такое молоко нельзя употреблять в пищу. Лечение маститов применением физиотерапевтических методов и устройств, хорошо зарекомендовавших себя в медицинской практике – затруднено, т.к. связано с электропитанием, что небезопасно в условиях промышленной мтф. Применение для профилактики и лечения маститов, стимуляции лактации экологически безопасного механического устройства с вакуумным присоском и массажными пластинами для втирания лечебного линимента в вымя значительно облегчает и сокращает ручной труд зооветспециалистов в условиях промышленной фермы.*

Ключевые слова*: маститы коров, подготовка иммунной системы коровы, стимуляция развития вымени и лактации, механическое устройство; массажные пластины, вакуумный присосок, регулярное выдаивание содержимого вымени; лечебный линимент для вымени для профилактики и лечения маститов; станок для фиксации коров.*

Abstract*. Udder health of dairy cows have an important impact on the economic efficiency of milk production. The work relates to the new direction of the applications of biomachsystems at the intersection of artificial intelligence, bionics, veterinary medicine and animal husbandry. Mastitis of dairy cows are the great problem in milking husbandry. The research of new method of treatment the cows mastitis by application of ecological mechanical device with massage plates spreading active medicinal liniment to the affected quarter for 6 -20 min without problems for machine milking and cows freedom. So, prophylaxis, treatment and stimulation lactation by new device are very actually. At ordinary milking farms there are many factors causing mastitis a significant specific related to the maintenance : shape and sizes of udder teats and the udder shape, condition of vacuum, condition of milk rubber, possible movements of the animal in heat and fowling or in the process of service, etc., which significantly complicates the treatment of the disease.*

Keywords*: mastitis of dairy cows, stimulation immunological response, stimulation lactation, ecological mechanical safe device, vacuum sucker, massage plates, regular extracting of udder contents, physiology safe and active medicinal liniment for udder prophylaxis and treatment of cows mastitis, device for fixation cows.*

Стратегия профилактики мастита состоит в уменьшении риска контакта с возбудителем и подготовка иммунной системы коровы, чтобы сам организм коровы противостоял микроорганизмам [1]. Местный иммунитет вымени коровы — это врожденный и специфически приобретенный защитный механизм [2]. Подготовка иммунной системы коровы — это стимуляция генетически заложенного развития нейроэндокринной системы и секреторных тканей вымени и, приспособление рецепторной системы коровы к факторам, вызывающим реализацию рефлекса молокоотдачи (рабочие компоненты доильного аппарата (ДА) - вакуум, пульсатор, сосковая резина). Важно обеспечить оптимальное сочетание этих раздражителей пороговой силы для скорейшего приспособления коровы к условиям доения. Применение слабого механического раздражителя подпороговой силы для воздействия на остальные рецепторы вымени снимает часть общего нервного афферентного возбуждения, возникающего в сегментарной рефлекторной дуге от раздражения рецепторов соска вымени переменным вакуумом. Дополнительное одновременное действие основные рецепторные зоны вымени: главную соска и на окружающую сосок, создает «охранительное торможение» в лактационном центре и по типу положительной индукции усиливает эфферентный поток импульсов рефлекса молокоотдачи, что сокращает машинную дойку и уменьшает время раздражения рецепторов соска переменным вакуумом ДА.

Основой применения новых роботизированных систем машинного доения, в молочном животноводстве является беспривязное содержание. Для лечения мастита обязательно регулярное сдаивание экссудата из пораженной четверти в отдельную емкость с последующей стерилизацией или дезинфекцией, затем введение внутривымянно антибиотика типа мастисан, мастицид и инъекция антибиотика внутримышечно. Такая терапия производится ежедневно двукратно на протяжении 4-6 дней до исчезновения клинических признаков мастита. При этом, необходимо фиксация коровы, что является для нее стрессом. Фиксация и лечение одной коровы становится проблемой, т.к. занимает около 17 мин, где большая часть времени на фиксацию коровы. Для облегчения и улучшения зооветеринарных обработок молочных коров и снижения затрат ручного труда в отделе комплексной электрификации и механизации молочного животноводства ВИЭСХа разработан и успешно применяется в хозяйствах ярославской и ивановской областей фиксационный станок [11].

Зооветеринарная служба нерегулярно применяет меры профилактики маститов и незамедлительные способы борьбы с первыми симптомами воспаления, мало использует новые предлагаемые и эффективные способы и методы усиления кровообращения вымени для стимуляции лактации, что обусловлено текущей нагрузкой лечебной работы: проведения обязательных вакцинаций, взятия проб крови, лечение заболеваний конечностей и последствий задержания последов. Лечение маститов сводят к применению антибиотикосодержащих ветеринарных препаратов, а для профилактики

маститов полагают, что достаточно соблюдать режим промывки доильного оборудования после дойки. Профилактику маститов и лечение возникших маститов у первотелок - будущих основных производителей молока необходимо проводить комплексно и незамедлительно. В 1-ую очередь это своевременное выявление изменений в составе молока, когда «соматика» превышает содержание в 100 тыс. на 1 мл молока, что характеризует начало воспалительной реакции [7]. Это соблюдение техники машинного доения: сдаивание первых струек в специальную кружку, обмыв теплой водой вымени, применение индивидуальных разовых салфеток, стимулирующий массаж вымени, санитарная обработка сосков и вымени до и после доения проверенными препаратами, и главное: обязательное тщательное выдаивание всех четвертей.

Перспективно и экологически безопасно осуществлять лечение маститов и стимулировать лактацию механизацией зооветеринарной обработки с помощью переменного вакуума с применением лекарственных форм изготовленных из натуральных компонентов лекарственных трав. Механизация зооветеринарной обработки снижает затраты ручного труда, а лекарственные формы, изготовленные из натуральных компонентов лекарственных трав, сокращают сроки лечения воспаления вымени.

Нами разработано экологически безопасное устройство с вакуумным присоском, работающее с помощью переменного вакуума, в котором сочетается пневмомассаж с механическим растиранием лечебного препарата (линимента) из сменных прокладок с помощью массажных пластин в пораженную маститом четверть вымени, обеспечивая профилактику и лечение субклинического мастита.

При этом способе и устройстве лечения маститов и стимуляции лактации коров, за счет подачи переменного вакуума, производится массаж биологически активных зон вымени массажными пластинами кожуха, и, одновременно, пластинами и вакуумным присоском, производится растирание и втирание лечебного линимента из сменных прокладок изготовленных ЗАО ВИТА из натуральных компонентов лекарственных трав. Применение вакуумного присоска позволяет прикладывать прокладку с лечебным линиментом непосредственно к вене, пораженной маститом четверти вымени. Сочетание переменного вакуума и пневмомассажа с механическим растиранием лечебного препарата оказывает комплексное механическое воздействие и ускоряет всасывание лечебного линимента.

Устройство для лечения маститов и стимуляции лактации коров, содержит кожух с массажными пластинами, выполненными в виде корытца для размещения сменных прокладок с лечебным линиментом, вакуумным присоском со сменной прокладкой с лечебным линиментом, кожух и присосок соединены с вакуумпроводом через пульсатор посредством тройника отдельными вакуумными шлангами.

На Рис.1 изображена общая схема устройства. На Рис.2 устройство в разрезе.

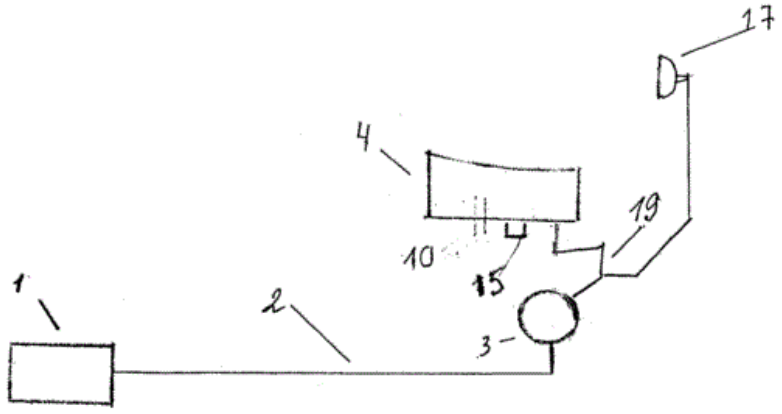


Рисунок 1

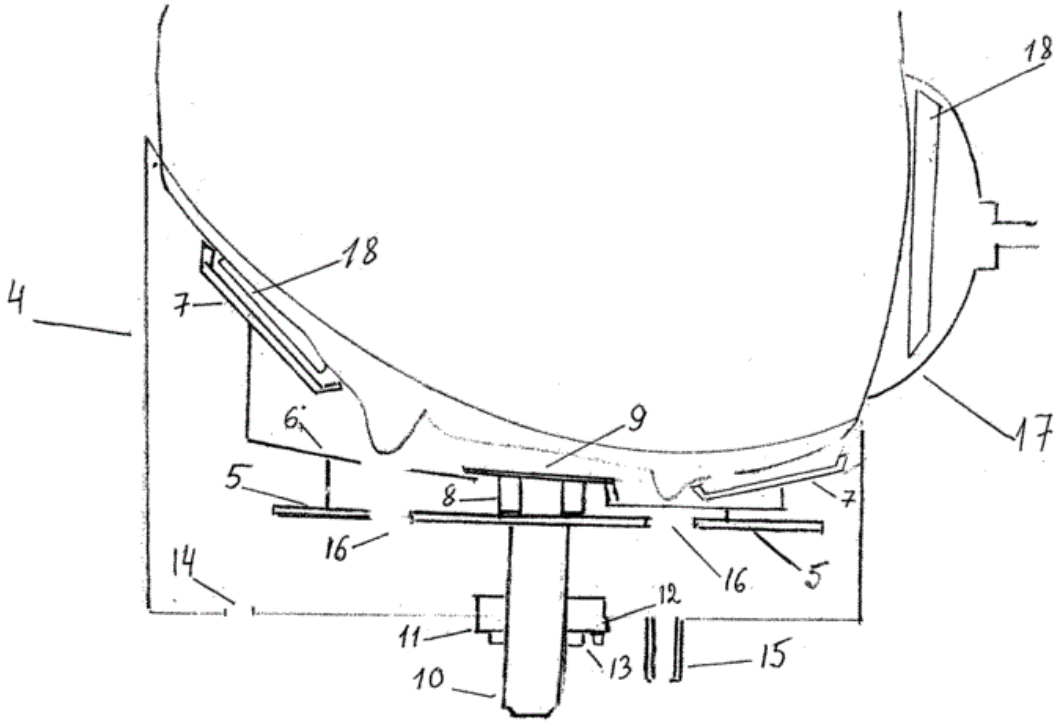


Рисунок 2

Устройство содержит вакуумный насос 1, соединенный вакуумпроводом 2 с пульсатором 3 и с кожухом 4 из прозрачного материала, в котором на съемной платформе 5 посредством рычагов 6 шарнирно закреплены массажные пластины 7 в виде корытца и снабжены механизмом привода, в виде установленного на съемной платформе 5 эластического элемента 8, в платформе 5 выполнены четыре отверстия 16 для свободного прохождения сосков. Устройство работает следующим образом.

При подключении переменного вакуума присосок 17 вместе с прокладкой 18, с лечебным линиментом, присасывается к больной четверти вымени коровы и за счет периодического сжатия импульсами переменного вакуума, массирует

четверть и обеспечивает размазывание и всасывание лекарственного линимента. Присосок 17 ставят непосредственно на молочную вену, что обеспечивает быстрое всасывание лекарственного препарата непосредственно в циркулирующую кровь коровы. Платформу 5 подводят к вымени на такое расстояние, чтобы во время импульса вакуумирования эластический элемент 8 с крышкой 9 сжимался при его контакте с центральной частью вымени и посредством рычагов 6 приводил в движение пластины 7 в виде корытца длиной 100 - 130 мм, шириной - 6-8 мм, глубиной - 3-6мм, ширина края корытца - 5-10 мм. Прокладку 18 с линиментом помещают в корытце пластины 7. При обжимании и массаже вымени линимент выдавливается из прокладки 18 и пластины 7 растирают лечебный линимент по массируемой поверхности вымени, ускоряя его всасывание и повышая лечебный эффект. Переменный вакуум прижимает пластины 7 к поверхности вымени и усиливает всасывание лекарственных веществ из прокладок 18, содержащих лечебный линимент, помещаемых в корытца пластин 7 и внутрь присоска 17. Применение вакуумного присоска позволяет прикладывать лечебный линимент непосредственно и точно на молочную вену пораженной маститом четверти, что ускоряет всасывание лекарственного препарата сразу в циркулирующую кровь, быстрее активизируя антибактериальные и иммунные реакции в тканях вымени.

Выполнение устройства разборным дает возможность заменять платформу 5 на более подходящую для данной породной группы коров и позволяет регулировать ее положение в зависимости от размеров и формы вымени. Воздействие переменным вакуумом дозированно раздражает как поверхностно, так и глубоко расположенные рецепторы вымени. Обжимание и массаж вымени пластинами и присоском значительно ускоряет всасывание линимента из прокладок, механически втирая и растирая препарат по массируемой поверхности и по молочной вене вымени. Глубокий массаж вымени расширяет кровеносные сосуды и обеспечивает усиление обмена веществ, устраняет застойные явления, стимулирует лактопоэз и рефлекс молокоотдачи.

Воздействие на вымя массажными пластинами и вакуумным присоском является адекватным раздражителем, вызывающим активацию нейрорецепторной и иммунной систем вымени и организма коровы.

При средней продолжительности лечения маститной четверти методами и медикаментами, принятыми в хозяйстве (двукратные ежедневные инъекции антибиотика + втирание мази) в 5, 6 дней до исчезновения клинических признаков и по показаниям кенотеста, применение предлагаемых способа лечения и устройства сокращает срок лечения коров на 2-3 дня, т.е. на 40-50%. Механизация процесса втирания и растирания лечебного линимента сокращает время ручного труда, в сочетании с одновременным пневмомассажем и действием вакуумного присоска ускоряет всасывание лекарственного препарата непосредственно в циркулирующую кровь, обеспечивая немедленное

действие медикамента на патогенную микрофлору, вызвавшую воспаление, и сокращает сроки лечения маститов.

Техническая задача предлагаемого механического устройства с вакуумным присоском по повышению эффективности лечения маститов и стимуляции лактации коров решается применением отечественных деталей и компонентов, изготовляемых по заказу на отечественных предприятиях в течение месяца.

Применение способа и устройства лечения маститов и стимуляции лактации повышает всасывание лекарственного линимента из натуральных растительных препаратов, сокращая сроки лечения животных, что позволит увеличить удои и стимулировать лактацию.

Список литературы

1. Васильев А.Н., Будников Д.А., Краусп В.Р., Дубровин В.А., Топорков В.Н., Нургалиев И.С., Смирнов А.А., Васильев А.А., Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А., Рудзик Э.С., Гришин А.А., Гришин А.П., Гришин В.А., Казакова В.А. Методы энергетического воздействия на семена приоритетных зерновых и овощных культур различных сортов, растения и сельскохозяйственные материалы. концепция использования электротехнологий для обработки кормов, удобрений, отходов растениеводства. научно обоснованные параметры энергосберегающих комбинированных установок для обеззараживания воздуха и поверхностей. отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций). Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 2017. 115 с.
2. Дирсинг-Эспенхорст М. Надежная защита //НСХ.-2017.-№5. С. 64-68.
3. Дойтц Армин. Здоровье вымени и качество молока: Практич. пособие/ Армин Дойтц, Вальтер Обритцхаузер; Под.ред. А. Батуревич.- Киев.: Аграр Медиен Украина, 2010.- 174 с.
4. Ковальчикова М., Ковальчик К. Адаптация и стресс при содержании и разведении с./х. животных/ М. Ковальчикова М., К.Ковальчик. - М.:Колос,1978.-271 с.
5. Способ лечения маститов и стимуляции лактации коров и устройство для его осуществления (патент РФ на изобретение№2645767, A61D 7/00, Бюл№7, опубл. 2018).
6. Санова З.С. Роботизированное доение коров в условиях калужской области / Санова З.С., Мазуров В.И., Джумаева Н.Е.//Сб.науч.тр./ФГБНУ Калуж. науч.-иссл. ин-т с.х.- Калуга, 2016.-С.302-306.
7. Хахенберг С., Райнекке Ф. Ищем слабое звено //НСХ-2017.- №1.-2017.-№5. С. 68-70.
8. Sandholm M., Kaartinen L., PYÖRÄLÄ S.(1990) Bovine mastitis: Why does antibiotic treatment not always work? An overview. J.Vet.Pharmacol.Therap.13, 248-260.
9. Owens W.E.,Watts J.L.,Boddie R.L.(1988): Antibiotic treatment of mastitis: Comparison of intramammary and intramammary plus intramuscular therapies, J.Am.Med.Assoc.169,1104-1109.
10. Мишуров Н.П. Методологические основы энергетической оценки производства молока/ Мишуров Н.П.// Техника и оборудование для села.-2017.-№5.-С.16-18.
11. Любимов В.Е., Зеленцов А.И., Любимов И.В. Станок для искусственного осеменения телок и коров, патент РФ на изобретение № 2616360(опубл.14.04.2017.Бюл.№11).

References

1. Vasil'ev A.N., Budnikov D.A., Krausp V.R., Dubrovin V.A., Toporkov V.N., Nurgaliev I.S., Smirnov A.A., Vasil'ev A.A., Sokolov A.V., YUferev L.YU., Dovlatov I.M., Kachan S.A., YUfereva A.A., Rudzik EH.S., Grishin A.A., Grishin A.P., Grishin V.A., Kazakova V.A. Metody ehnergeticheskogo vozdejstviya na semena prioritetnyh zernovyh i ovoshchnyh kul'tur razlichnyh sortov, rasteniya i sel'skohozyajstvennye materialy. koncepciya ispol'zovaniya ehlektrotekhnologij dlya obrabotki kormov, udobrenij, othodov rastenievodstva. nauchno obosnovannye parametry ehnergosberegayushchih kombinirovannyh ustanovok dlya obezzarazhivaniya vozduha i poverhnostej. otchet o NIR [Methods of energy impact on the seeds of priority grain and vegetable crops of various varieties, plants and agricultural materials. The concept of using electrical technologies for the processing of feed, fertilizer, plant waste. scientifically based parameters of energy-saving combination plants for disinfecting air and surfaces. research report] (Federal'noe agentstvo nauchnyh organizacij). Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. 2017. p.115.
2. Dirsing-EHspenhorst M. Nadezhnaya zashchita [Reliable protection] //NSKH.-2017.-No 5. p. 64-68.
3. Dojtc Armin. Zdorov'e vymeni i kachestvo moloka: Praktich. Posobie [Udder health and milk quality: A Practical Guide] / Armin Dojtc, Val'ter Obritckhauzer; Pod.red. A. Baturevich.- Kiev.: Agrar Medien Ukraina, 2010.-p.174.
4. Koval'chikova M., Koval'chik K. Adaptaciya i stress pri soderzhanii i razvedenii s./h. Zhivotnyh [Adaptation and stress in the maintenance and breeding of farm animals] / M. Koval'chikova M., K.Koval'chik. - M.:Kolos,1978.- p.271.
5. Sposob lecheniya mastitov i stimulyacii laktacii korov i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [A method of treating mastitis and stimulating lactation of cows and device for its implementation] (patent RF na izobretenie№2645767, A61D 7/00, Byul No 7, opubl. 2018).
6. Sanova Z.S. Robotizirovannoe doenie korov v usloviyah kaluzhskoj oblasti [Robotic milking of cows in the Kaluga region] / Sanova Z.S., Mazurov V.I., Dzhumaeva N.E.//Sb.nauch.tr./FGBNU Kaluzh. nauch.-issl. in-t s.h.-Kaluga, 2016.-p.302-306.
7. Hahenberg S., Rajnekke F. Ishchem slaboe zveno //NSKH-2017.- No1.-2017.-No5. p. 68-70.
8. Sandholm M., Kaartinen L., PYÖRÄLÄ S.(1990) Bovine mastitis: Why does antibiotic treatment not always work? An overview. J.Vet.Pharmacol.Therap.13, p. 248-260.
9. Owens W.E.,Watts J.L.,Boddie R.L.(1988): Antibiotic treatment of mastitis: Comparison of intramammary and intramammary plus intramuscular therapies, J.Am.Med.Assoc.169,1104-1109.
10. Mishurov N.P. Metodologicheskie osnovy ehnergeticheskoj ocenki proizvodstva moloka [Methodological basis of the energy assessment of milk production] / Mishurov N.P.// Tekhnika i oborudovanie dlya sela. [Machinery and equipment for the village] -2017.-No 5.-p.16-18.
11. Lyubimov V.E., Zelencov A.I., Lyubimov I.V. Stanok dlya iskusstvennogo osemeneniya telok i korov [Machine for artificial insemination of heifers and cows], patent RF na izobretenie No 2616360(opubl.14.04.2017.Byul.No11).

УДК 631.363:636

ОБОБЩЕННЫЙ ГРАФ СОСТОЯНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОРМОВАГОНА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ЖИВОТНЫХ

GENERALIZED GRAPH OF STATES OF AN AUTOMATIC FEED WAGON WHEN SERVICING TECHNOLOGICAL GROUPS OF ANIMALS

***А.И. КУПРЕЕНКО**, доктор технических наук, доцент, директор, **Х.М. ИСАЕВ**, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой, **С.М. МИХАЙЛИЧЕНКО**, аспирант, Брянский Государственный аграрный университет, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., Россия*

***A.I. KUPREENKO**, doctor of technical Sciences, associate Professor, Director, **H.M. ISAEV**, candidate of economic Sciences, associate Professor, head of the Department, **S.M. MIHAJLICHENKO**, post-graduate student, Bryansk state agrarian University, S. Kokino, Vygonichsky district, Bryansk region, Russia*

***Аннотация**. В настоящее время перспективным решением для автоматизации процесса кормления на фермах крупного рогатого скота является применение специальных роботов – кормовагонов. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с мобильными кормоцехами. Одной из важнейших задач, решаемых при выборе техники для кормления, является определение времени кормления животных, которое должно соответствовать установленным в хозяйстве зоотехническим нормам. Разработать обобщенный граф состояний кормовагона для решения задачи по определению вероятностного времени кормления разделенных на технологические группы животных с учетом особенностей эксплуатации данного оборудования. Исследование опирается на проведенный ранее обзор существующих на рынке решений в области автоматизации процесса кормления, а также на опыт посещения КФХ «Лопотов А.Н.» в Псковской области, где используются кормовагоны DeLaval RA135. В основе теоретического исследования лежит теория графов. Дано описание цикла работы кормовагона, отмечены особенности его эксплуатации. Для графического изображения поставленных задач использован вариант коровника на 400 голов с указанием расположения технологических групп животных. Приведен пример по разработке*

***Abstract**. Currently the using of special robots (automatic feed wagons) is the perspective solutions for the automation of the feeding process in dairy farms. The robots have a number of advantages compared with the mobile TMR mixers. Determination of the feeding time, which corresponds to the zootechnical norms established in a farm, is one of the most important tasks to be solved when the feeding equipment is selected. To develop the generalized graph of states of an automatic feed wagon taking into account the operation particular qualities of this equipment for solving the task of determining the probabilistic feeding time of animals divided into technological groups.*

The study is based on the earlier review of the existing solutions in the field of feeding process automation and the experience of visiting the peasant farm "Lopotov A.N." located in Pskov region, where the automatic feed wagons DeLaval RA135 are used. The theoretical research is based on graph theory. The description of the operating cycle of an automatic feed wagon and the wagon's operation particular qualities are given. The cowshed option on 400 heads showing the location of technological groups of animals is used to graphically display the tasks. The example of creating the feeding scheme is given for drafting of the feeding schedule of all groups. The recommendations are given

схемы кормления для составления графика кормления всех групп, учитывающего время работы и простоя кормовагона. Даны рекомендации по определению последовательности кормления животных для отображения очередности обслуживания кормовагоном технологических групп с учетом их деления на подгруппы. Для решения задачи по определению вероятностного времени кормления разделенных на технологические группы животных предложен обобщенный граф состояний кормовагона, дано его описание и приведены соответствующие пояснения. Данная задача имеет два направления: определение общего времени кормления всего стада и времени кормления отдельных групп животных. Это необходимо для выбора кормовагона соответствующего объема, установления для него оптимального режима работы, выбора кратности кормления для каждой группы.

***Ключевые слова**: время кормления КРС, кормовагон, теория графов.*

for determination of the feeding sequence of animals to display the priority of servicing of technological groups considering their division into subgroups. For determination of the probabilistic feeding time of animals divided into technological groups the generalized graph of an automatic feed wagon's states is proposed, its description and the corresponding explanations are given. This task has two directions: the determination of the summary feeding time of a whole herd and the feeding time of separate groups of animals. It is necessary for the following operations: the selection of the automatic feed wagon of the appropriate volume; the establishment of the optimal work schedule for the wagon; the selection of the number of feedings for each group.

***Keywords:** feeding time of cattle, automatic feed wagon, graph theory.*

В настоящее время перспективным решением для автоматизации процесса кормления на фермах КРС является применение специальных роботов – кормовагонов. По сравнению с прицепными кормораздатчиками они обладают целым рядом преимуществ, среди которых можно выделить возможность осуществления более точного кормления при делении стада на технологические группы и повышение кратности кормления животных [1, с. 882; 2, с. 48]. Как показывает опыт эксплуатации автоматических систем кормления в Европе, кратность может изменяться в пределах от 2 до 13 раз в сутки [3, с. 130]. Внедрение кормовагонов в систему кормления требует проведения соответствующих строительно-монтажных работ, приобретения дополнительного оборудования, внесения изменений в технологический процесс. Поэтому необходим взвешенный подход к выбору данного оборудования. Одной из важнейших задач, решаемых при выборе техники для кормления, является определение времени кормления животных, которое должно соответствовать установленным в хозяйстве зоотехническим нормам.

Цель исследования – разработка обобщенного графа состояний кормовагона для решения задачи по определению вероятностного времени кормления разделенных на технологические группы животных с учетом особенностей эксплуатации данного оборудования.

Работа проводилась по аналогии с разработанной ранее методикой по определению вероятностного времени кормления всего поголовья животных мобильными кормоцехами, в основе которой лежит теория графов [4, с. 25; 5, с. 27; 6, с. 105; 7, с. 4-6; 8, с. 198]. Исследование опирается на проведенный ранее обзор существующих на рынке решений в области автоматизации процесса

кормления, а также на опыт посещения КФХ «Лопотов А.Н.» в Псковской области, где используются кормовагоны DeLaval RA135.

Работа кормовагона представляет собой последовательную цикличную смену четырех состояний: *загрузка кормосмеси* ➔ *переезд к месту раздачи* ➔ *раздача кормосмеси* ➔ *возвращение к месту загрузки*.

Ранее были предложены графы состояний кормовагона для двух частных случаев: загрузка кормосмеси для выдачи одному ряду животных и для выдачи двум рядам. На практике чаще встречаются случаи разделения стада на технологические группы, при которых в одном ряду могут оказаться животные, получающие разный рацион. Также объем кормовагона может оказаться недостаточным для выдачи рациона целому ряду животных, особенно при малой кратности кормления (большинство кормовагонов имеет объем 1,5…3 м^3).

Поставленная задача представлена на Рис. 1, где изображен схематичный план 4-рядного коровника на 400 голов.

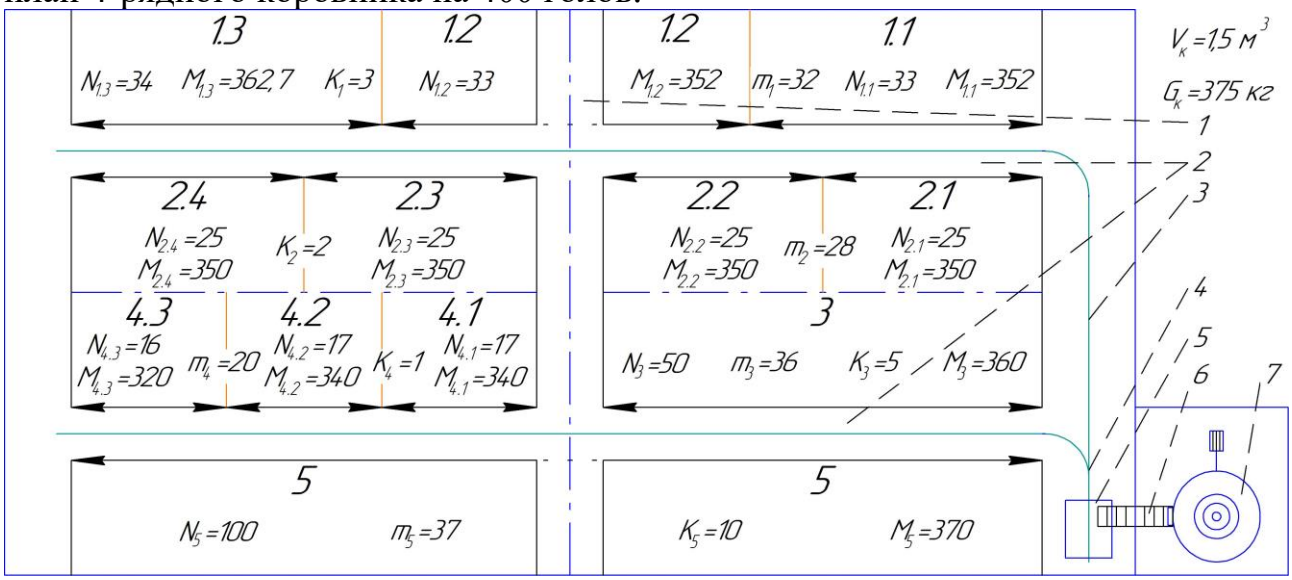


Рисунок 1 - План 4-рядного коровника: 1 и 2 – технологический и кормовой проходы соответственно, 3 – подвесной рельс, 4 – поворотный рельс, 5 – подвесной кормовагон, 6 – наклонный транспортер, 7 – стационарный смеситель

На рисунке приведена следующая информация: 1) названия групп животных (в примере они имеют условные обозначения: 1, 2, 3, 4 и 5) и подгрупп (вводятся в том случае, когда объема кормовагона недостаточно для разовой выдачи кормосмеси сразу всей группе: 1.1, 1.2, 1.3, 2.1 и т.д.); 2) двухсторонними стрелками отмечен фронт кормления, вдоль которого выдается готовая смесь за один цикл работы кормовагона; 3) N_i – количество животных в i-ой группе (подгруппе), голов; m_i – суточное потребление кормосмеси одним животным в i-ой группе, кг; M_i – масса выдаваемой за один раз кормосмеси i-ой группе (подгруппе), кг; K_i – кратность кормления i-ой группы, раз/сутки. Также приняты следующие значения: $\rho_{к\,i}$ – плотность кормосмеси для i-ой группы, принимаем $\rho_{к\,1} = \rho_{к\,2} = \ldots = \rho_{к\,5} = 250$ кг/м^3; $V_к$ – объем бункера кормовагона, $V_к = 1{,}5$ м^3; $G_к$ – грузоподъемность кормовагона, $G_к = 375$ кг.

За время одного кормления каждой группы $T_{к\,i}$ приняты значения:

$T_{к\,1}$ = 45 мин., $T_{к\,2}$ = 60 мин., $T_{к\,3}$ = 9 мин., $T_{к\,4}$ = 42 мин., $T_{к\,5}$ = 15 мин.

На практике это время зависит от скорости загрузки кормовагона, скорости его движения, расстояния переездов, количества выполняемых циклов работы, количества обслуживаемых животных и от других параметров.

Ниже представлена *схема кормления* с учетом выбранной кратности K_i, показывающая график работы кормовагона.

$$\frac{(04{:}00-04{:}15)}{5} \to \frac{(06{:}00-06{:}15)}{5} \to \frac{(06{:}20-06{:}29)}{3} \to \frac{(06{:}40-07{:}25)}{1} \to \frac{(08{:}00-08{:}15)}{5} \to$$
$$\frac{(08{:}20-09{:}20)}{2} \to \frac{(10{:}00-10{:}15)}{5} \to \frac{(10{:}20-10{:}29)}{3} \to \frac{(10{:}40-11{:}22)}{4} \to \frac{(12{:}00-12{:}15)}{5} \to$$
$$\frac{(12{:}20-13{:}05)}{1} \to \frac{(14{:}00-14{:}15)}{5} \to \frac{(14{:}20-14{:}29)}{3} \to \frac{(14{:}40-15{:}40)}{2} \to \frac{(16{:}00-16{:}15)}{5} \to$$
$$\frac{(18{:}00-18{:}15)}{5} \to \frac{(18{:}20-18{:}29)}{3} \to \frac{(18{:}40-19{:}25)}{1} \to \frac{(20{:}00-20{:}15)}{5} \to \frac{(22{:}00-22{:}15)}{5} \to$$
$$\frac{(22{:}20-22{:}29)}{3}.$$

Она получена исходя из принятых условий: кормление 5-й группы осуществляется 10 раз/сутки каждые 2 часа в период с 04:00 до 22:15; кормление 3-й группы – 5 раз/сутки каждые 4 часа в период с 06:20 до 22:29; кормление 1-й группы – 3 раза/сутки каждые 6 часов в период с 06:40 до 19:25; кормление 2-й группы – 2 раза/сутки в 08:20 и в 14:40; кормление 4-й группы – 1 раз/сутки в 10:40. В числителе указано время начала и окончания кормления группы, в знаменателе – название группы.

С учетом подгрупп (Рис. 1) можно составить *общую последовательность кормления*, показывающую очередность обслуживания всех животных:

5 – 5 – 3 – 1.1 – 1.2 – 1.3 – 5 –2.1 – 2.2 – 2.3 –2.4 – 5 – 3 – 4.1 – 4.2 – 4.3 – 5 – 1.1 – 1.2 – 1.3 – 5 – 3 – 2.1 – 2.2 – 2.3 – 2.4 –5 – 5 – 3 – 1.1 – 1.2 – 1.3 – 5 – 5 – 3.

При вычислении времени кормления кормовагоном решаются две задачи:

1. Определение времени кормления всего поголовья животных за сутки ($T_к$) – этот параметр необходим для выбора кормовагона подходящего объема и установления для него оптимального режима работы (кормовагоны способны работать 24 часа в сутки в запрограммированном автоматическом режиме).

2. Определение времени кормления одной или нескольких групп животных – решение данной задачи требуется независимо от результата решения первой задачи, например: по установленным в хозяйстве зоотехническим нормам группа 2 должна быть накормлена в течение 1 часа (в данном случае из всей *последовательности*, представленной выше, берется только часть: 2.1 – 2.2 – 2.3 – 2.4). Если результат не соответствует установленной норме, то выбирается кормовагон большего объема или повышается кратность кормления. Во втором случае время дополнительного кормления легко определить из представленной выше *схемы кормления* по времени простоя кормовагона.

Для решения поставленных задач разработан граф состояний кормовагона, общий вид которого представлен на Рис. 2.

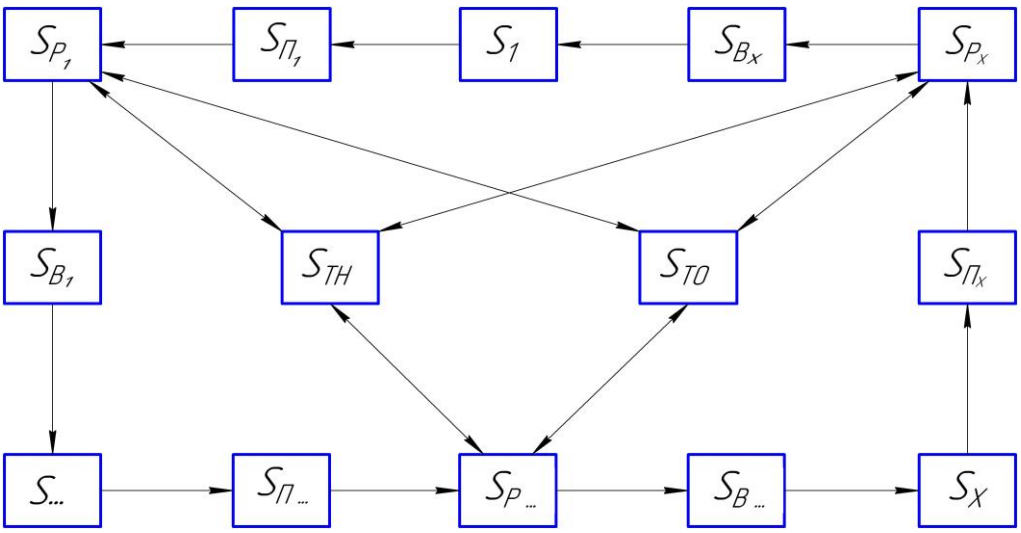


Рисунок 2 - Обобщенный граф состояний кормовагона

где x – количество групп/подгрупп животных с учетом кратности кормления (значение x соответствует количеству групп в составленной последовательности кормления, например: для представленной выше *общей последовательности кормления* x = 35*, для составленной в задаче «2» частной последовательности кормления x = 4);

S_1, $S_{...}$, S_x – состояния загрузки готовой смеси или компонентов рациона** в кормовагон для выдачи группе 1…x соответственно;

$S_{п1}$, $S_{п...}$, $S_{пx}$ – состояния переезда кормовагона от места окончания загрузки*** к месту начала раздачи рациона группе 1…x соответственно;

$S_{р1}$, $S_{р...}$, $S_{рx}$ – состояния выдачи рациона группе 1…x соответственно;

$S_{в1}$, $S_{в...}$, $S_{вx}$ – состояния переезда (возвращения) от места окончания раздачи рациона группе 1…x соответственно к месту начала загрузки;

$S_{ТН}$ и $S_{ТО}$ – состояния технологического нарушения и технического отказа соответственно****.

*Чтобы определить параметр x для *общей последовательности кормления*, следует воспользоваться формулой:

$$x = K_1 \cdot n_{п1} + K_2 \cdot n_{п2} + \cdots + K_i \cdot n_{пi}, \quad (1)$$

где

K_1, K_2 … K_i – кратность кормления 1, 2 … i-ой группы соответственно;

$n_{п1}$, $n_{п2}$ … $n_{п\,I}$ – количество подгрупп в 1, 2 … i-ой группе соответственно.

В рассмотренном примере K_1, K_2, K_3, K_4 и K_5 = 3, 2, 5, 1 и 10 соответственно; $n_{п1}$, $n_{п2}$, $n_{п3}$, $n_{п4}$ и $n_{п5}$ = 3, 4, 1, 3 и 1 соответственно.

**В зависимости от типа автоматической системы кормления рацион может загружаться в кормовагон в виде готовой смеси из стационарного смесителя (DeLaval Optimat, GEA Mix & Carry), либо компонентами по отдельности с последующим их смешиванием рабочим органом кормовагона (Lely Vector, Trioliet Triomatic T30, GEA MixFeeder).

***В зависимости от типа автоматической системы кормления загрузка кормовагона может происходить в одной точке (DeLaval Optimat, Lely Vector,

Trioliet Triomatic T40), либо на отрезке определенной длины при загрузке из кормовых бункеров (Trioliet Triomatic T30, GEA MixFeeder).

****Для упрощения расчетов принято следующее допущение: переход в состояния технологического нарушения или технического отказа возможен только из состояния раздачи корма (у большинства кормовагонов в данном состоянии задействованы все рабочие органы, тогда как в остальных состояниях – только ходовой двигатель).

На основании обобщенного графа могут быть составлены графы состояний кормовагона для частных случаев (x = 1, 2, 3 и т.д.). При этом количество состояний будет определяться по формуле: $y = 4x + 2$.

Для определения вероятностного времени кормления разного количества групп (значения x) кормовагоном с использованием ЭВМ необходимо найти общее решение составленных на основании предложенного обобщенного графа систем уравнений Колмогорова, аналогичное полученному ранее для обобщенного графа состояния мобильного кормоцеха [9, с. 47; 10, с. 24].

Предложенный обобщенный граф позволяет моделировать процесс кормления животных кормовагоном на фермах КРС при делении стада на технологические группы. С его помощью можно решать две задачи: определение общего времени кормления всего стада и времени кормления отдельных групп. Это необходимо для выбора кормовагона соответствующего объема, установления для него оптимального режима работы, выбора кратности кормления для каждой группы.

Список литературы

1. Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L., Da Borso F. Automatic feeding systems: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. Engineering for Rural Development. 2016. 15: 882-887.

2. Da Borso F., Chiumenti A., Sigura M., Pezzuolo A. Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms. Journal of Agricultural Engineering. 2017. XLVIII(s1):642. DOI: 10.4081/jae.2017.642.

3. Grothmann A., Nydegger F., Häußermann A., Hartung E. Automatic feeding system (AFS) – potential for optimisation in dairy farming. Landtechnik. 2010. Vol. 65 (No 2). Pp. 129-131.

4. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаханян А.В. Определение эксплуатационных показателей мобильных кормоцехов // Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. 2012. № 5. С. 25–27.

5. Михайличенко С.М. Моделирование эксплуатационных показателей мобильных кормоцехов // Вестник ВНИИМЖ. 2017. № 3(27). С. 27–32.

6. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Полянская А.И. Определение времени одного кормления мобильным смесителем-раздатчиком // Вестник НГАУ. 2014. № 1(30). С. 104–107.

7. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Полянская А.И. К определению эксплуатационных показателей кормовых вагонов // Вестник Брянской ГСХА. 2014. № 3. С. 3–6.

8. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Ефименко С.В. К обоснованию выбора мобильного кормоцеха для молочных ферм // Вестник ВНИИМЖ. 2010. Т. 21. № 2. С. 198–117.

9. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Решение системы уравнений Колмогорова для обобщенного графа состояний мобильного кормоцеха // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 7. С. 47–52.

10. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Определение эксплуатационных показателей мобильных кормоцехов на основе теории графов // Инновационная техника и технологии. 2017. No 1(10). С. 24–28.

References

1. Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L., Da Borso F. Automatic feeding systems: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. Engineering for Rural Development. 2016. 15: 882-887.

2. Da Borso F., Chiumenti A., Sigura M., Pezzuolo A. Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms. Journal of Agricultural Engineering. 2017. XLVIII(s1):642. DOI: 10.4081/jae.2017.642.

3. Grothmann A., Nydegger F., Häußermann A., Hartung E. Automatic feeding system (AFS) – potential for optimisation in dairy farming. Landtechnik. 2010. Vol. 65 (No 2). Pp. 129-131.

4. Kupreenko A.I., Isaev H.M., Isahanyan A.V. Opredelenie ehkspluatacionnyh pokazatelej mobil'nyh kormocekhov [Determination of performance of mobile feed mill] // Vestnik MGAU im. V.P. Goryachkina. 2012. No 5. p. 25–27.

5. Mihajlichenko S.M. Modelirovanie ehkspluatacionnyh pokazatelej mobil'nyh kormocekhov [Simulation of performance of mobile feed mill] // Vestnik VNIIMZH. 2017. No 3(27). p. 27–32.

6. Kupreenko A.I., Isaev H.M., Polyanskaya A.I. Opredelenie vremeni odnogo kormleniya mobil'nym smesitelem-razdatchikom [Determination of the time of one feeding mobile mixer-distributor] // Vestnik NGAU. 2014. No 1(30). p. 104–107.

7. Kupreenko A.I., Isaev H.M., Polyanskaya A.I. K opredeleniyu ehkspluatacionnyh pokazatelej kormovyh vagonov [To the definition of performance indicators of feed cars] // Vestnik Bryanskoj GSKHA. 2014. No 3. p. 3–6.

8. Kupreenko A.I., Isaev H.M., Efimenko S.V. K obosnovaniyu vybora mobil'nogo kormocekha dlya molochnyh ferm // Vestnik VNIIMZH. 2010. T. 21. No 2. S. 198–117.

9. Kupreenko A.I., Isaev H.M., Mihajlichenko S.M. Reshenie sistemy uravnenij Kolmogorova dlya obobshchennogo grafa sostoyanij mobil'nogo kormocekha [Solving the system of Kolmogorov equations for a generalized state graph of a mobile feed mill] // Traktory i sel'hozmashiny. 2017. No 7. p. 47–52.

10. Kupreenko A.I., Isaev H.M., Mihajlichenko S.M. Opredelenie ehkspluatacionnyh pokazatelej mobil'nyh kormocekhov na osnove teorii grafov [Determination of the operational performance of mobile feed shops based on graph theory] // Innovacionnaya tekhnika i tekhnologii. 2017. No 1(10). p. 24–28.

УДК 619:615.83–84(031)

ЧРЕСКОЖНАЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УДОЕВ И ПРОФИЛАКТИКИ МАСТИТОВ У КОРОВ

PERCUTANEOUS ELECTROSTIMULATION FOR THE INCREASE OF YIELDS OF MILK AND COW MASTITISES PROPHYLAXIS

Г.Н. РОЗОРИНОВ, *доктор технических наук, профессор,* ***Н.И. ЧИЧИКАЛО,*** *доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", г. Киев, Украина,* ***Н.А. КИКТЕВ,*** *кандидат технических наук, доцент; доцент, Национальный университет биотехнологий и природопользования, г. Киев, Украина*

G.N. ROZORINOV*, doctor of technical Sciences, Professor,* ***N.I. CHICHIKALO****, doctor of technical Sciences, Professor, national technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine,* ***N.A. KIKTEV****, candidate of technical Sciences, associate Professor; associate Professor, national University of biotechnology and nature management, Kiev, Ukraine*

Аннотация*. Обобщены и систематизированы данные об электростимуляции вымени дойных коров, полученные в результате испытаний на стаде из 22 голов. Показано, что безболезненность процесса электростимуляции, полная гальваническая изолированность живого организма от электрических источников дают возможность эффективно применять электрофизические методы для профилактики и лечения скрытого мастита. Приведена современная методика электростимуляции с использованием многоканального аппарата "Полистим–045".*

Ключевые слова*: молокоотдача, многоканальная электростимуляция, скрытый мастит.*

Abstract*. Generalized and systematized data on the electrical stimulation of the udder of dairy cows, resulting from tests on a herd of 22 heads. It is shown that the painless process of electrical stimulation, complete galvanic isolation of the living organism from electrical sources make it possible to effectively apply electrophysical methods for the prevention and treatment of latent mastitis. The modern method of electrical stimulation using a multi–channel device "Polistim-045"is presented.*

Keywords*: milk ejection, multichannel electrostimulation, hidden mastitis.*

При чрескожной нервно-мышечной электростимуляции мышечные волокна быстро освобождаются от таких продуктов обмена, как молочная и угольная кислоты и т.п. Происходит механическое воздействие на межфибриллярные и другие внутритканевые области. Электростимуляция вызывает также более усиленный приток артериальной крови как в стимулируемой области, так и по соседству и венозный отток. Усиливается кровообращение, в связи с чем усиливается питание мышц, повышается азотистый обмен [1–3].

Влияние на нервную систему происходит рефлекторным путем через нервные центры и вегетативную нервную систему, в результате чего изменяются

установившиеся связи между периферией и нервными центрами. Реагируют на электростимуляцию как поверхностные и глубокие чувствительные, так и двигательные нервы. Электрическое действие на периферические нервы рефлекторно передается центральной нервной системе.

Наконец, физиологическое действие электростимуляции наиболее сильно проявляется в том, что она способствует более быстрому продвижению межклеточной жидкости в лимфатические сосуды и обеспечивает интенсивное движение лимфы по лимфатическим и венозным сосудам (Рис. 1) [2, 4].

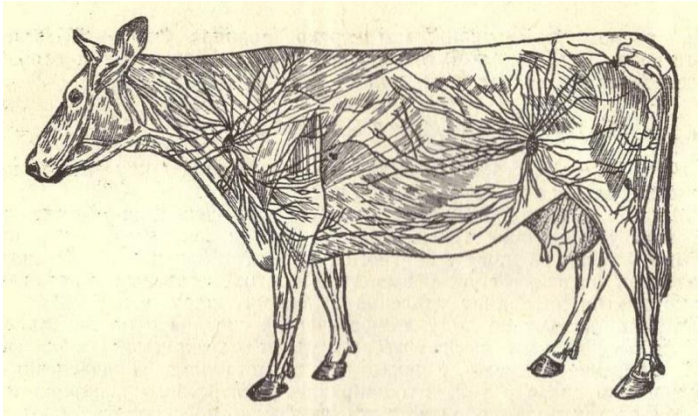


Рисунок 1 - Подкожные лимфатические узлы и сосуды коровы

Рисунок 2 - Электростимулятор "Полистим–045"

Есть сведения, что при проведении электрофореза коров и последующей двукратной чисткой кожи щетками их удои увеличиваются примерно на 16 %, а содержание жира в молоке — на 0,37% [2].

Электростимуляция, применяемая животным, является эффективным методом физиотерапии и физиопрофилактики, так как она может быть не только лечебным фактором, но способствует улучшению физиологического состояния организма, его закаливанию к неблагоприятным факторам внешней среды, повышению резистентности и устойчивости животных к болезням [2, 5, 6].

Существенной проблемой для животноводства является распространение в стадах коров мастита (заболевания молочной железы). По данным Международной молочной ассоциации, ежегодно клинической формой мастита переболевает 10–12% коров, а субклинической до 50%. Мастит наносит громадный экономический ущерб. Это – снижение молочной продуктивности и преждевременная выбраковка высокоценных в племенном и продуктивном отношении животных, ухудшение пищевых и технологических свойств молока и выбраковка, затраты на диагностику и лечение [2, 7].

Ветеринарной наукой и практикой достигнуты значительные успехи в лечении мастита у коров, однако болезнь продолжает поражать большое количество коров дойного стада.

С лечебной целью субклинического мастита предложено большое количество средств и методов, но они бывают малоэффективны, а широкое применение препаратов, содержащих антибиотики, приводит к образованию

антибиотикоустойчивых штаммов микроорганизмов, а попадание антибиотиков в пищу людям приводит к аллергическим заболеваниям [7]. В этой связи изыскание новых эффективных способов лечения субклинического мастита у коров, не обладающих отрицательными побочными действиями на организм животных, одновременно экологически чистых, является весьма актуальной задачей.

Целью работы является повышение эффективности электрофизических методов и разработка технических средств повышения удоев, профилактики скрытых маститов у коров.

Молочная железа коров – это орган, который состоит из ряда тканей и имеет возможность создавать и выводить молоко. Для этого в нем содержатся структуры: железистые, мышечные, соединительные, жировые, нервные, сосудистые, лимфатические.

Рефлекс молокоотдачи связан с удалением молока из вымени, как результата реакций нейрогуморальной системы. Позитивные раздражители рецепторов в коре головного мозга коров во время доения вызывают положительные условные рефлексы. Негативные раздражители нарушают стереотип доения коров.

Доильные аппараты имеют ряд недостатков, связанных с физиологией доения и в определенной степени, вызывают у коров либо усиленный, либо ослабленный рефлекс молокоотдачи. В наше время автоматизированного производства молока с помощью интегрированных технологий машинное доение коров невозможно без их адаптации к такому доению. Поэтому стимуляция чувствительных точек молочной железы является актуальной и неотложной задачей доения.

Несмотря на то, что эффективность и целесообразность электрофизиотерапии в ветеринарии общепризнаны, ее методологическая и техническая база развита слабо. Режимы электрофизиотерапии и устройства для их реализации взяты из медицины и в большинстве своем применяются без учета физиологических особенностей и уровня болевого дискомфорта у животных. Это свидетельствует о целесообразности проведения научно-исследовательских работ, направленных на разработку режимов и методик безболезненной электрофизиотерапии, а также создания устройств для их технической реализации.

Полевые испытания проводились на молочном поголовье коров красной степной и черно-пестрой пород в количестве 22 голов. Изучалось влияние одно- и двухканальной электростимуляции участков вымени возле каждого соска, которую проводили перед началом процесса доения тотчас после неполной подготовки вымени к дойке (обмывание и легкий массаж в течение 8–12 с). Длительность применения каждого из режимов электростимуляции 7 дней. Динамику молоковыведения регистрировали в течение 20 последовательных доек в каждом режиме.

Все исследования проводились на базе многофункционального 4-х канального нервно-мышечного электростимулятора "Полистим–045" [8] (Рис.2). Электростимулятор оказывает мощное воздействие на нервно-

мышечную систему живого организма. Благодаря выбору рациональной формы стимулирующего импульса "Полистим-045" не нарушает естественные физиологические процессы, происходящие в организме (Рис. 3).

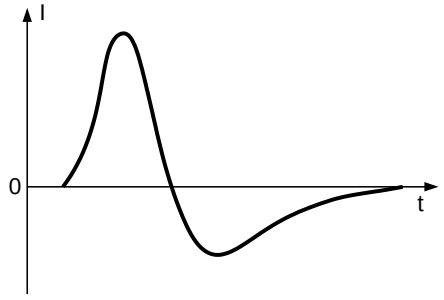


Рисунок 3 - Форма стимулирующего импульса

Рисунок 4 - Самоклеющиеся электроды

Основные технические характеристики электростимулятора "Полистим–045":

Число независимых каналов стимуляции – 4. Режимы работы: синхронный, балансный, парный, кольцевой, непрерывный.

Вид стимулирующего сигнала: непрерывный импульсный с регулируемой частотой (10…140) Гц; периодический модулированный по амплитуде (с нарастающим и спадающим участками) и частоте (девиация частоты 80%).

Форма стимулирующего сигнала: двухполярная, асимметричная, компенсированная.

Длительность основного импульса стимулирующего сигнала на уровне 0,5: 0,2 мс ± 10%. Диапазон изменения ритма модулированного сигнала: (1…30) с ± 5%, плавно регулируемый.

Диапазон изменения частоты модулированного сигнала: (10…120) Гц ± 5%. Интенсивность стимулирующего тока: (0…100) мА (пик) ± 10% на активной нагрузке 1,5 кОм, плавно регулируемая.

Диапазон таймера: 0…60 мин. Напряжение питания (9 ± 0,4) В.

Габаритные размеры: 250(w) x 90(h) x 150(d) мм. Масса 1 кг.

В качестве возбуждающих электродов использовались самоклеящиеся дисковые электроды диаметром 55 мм и прямоугольные электроды размером 30x50 мм с гелиевым токопроводящим покрытием (Рис. 4).

При одноканальной 30-тисекундной электростимуляции удой в среднем по группе увеличился по сравнению с фоновым периодом на 0,6 кг. Время доения в этот период уменьшилось на 0,2 мин, а средняя интенсивность молоковыведения возросла на 0,1 кг/мин.

При электростимуляции этих же коров с использованием 2-х канальной электростимуляции в течение 30-ти секунд величина удоя за обеденную дойку увеличилась в среднем по группе на 0,8 кг, время доения сократилось на 0,3 мин, средняя интенсивность возросла на 0,26 кг/мин.

Из сопоставления показателей коров, стимулируемых по одному и двум каналам видно, что положительная реакция выше при двухканальной электростимуляции (Табл. 1).

В среднем по группе при 2-х канальной электростимуляции коровы повысили свою молочную продуктивность на 11,8 %, время доения снизилось при одноканальной стимуляции на 4,1 %, при двухканальной – на 6,7 %, интенсивность молокоотдачи при одноканальной стимуляции возросла на 7,3 %, при двухканальной – на 18,2%.

Таблица 1

Влияние электростимуляции на удой и параметры молоковыведения коров при разных видах электростимуляции (в % от контрольного уровня)

Показатели доения	Число каналов электростимуляции	
	1	2
Удой за одну дойку, кг	8,2	11,8
Время доения, мин	-4,1	-6,7
Интенсивность, кг/мин	7,3	18,2

Используемая обычно электростимуляция постоянным током или импульсами постоянной амплитуды приводит к выработке стереотипа на воздействие тока и снижению молокоотдачи. Дискомфорт, который испытывает животное при электрическом воздействии приводит, в конечном счете, к угасанию рефлекса молокоотдачи.

Асимметричная форма импульса, показанная на Рис. 3, с равновеликими площадями положительной и отрицательной частей, а также модулированный режим работы с глубокой девиацией по периоду и частоте электростимулятора "Полистим-045" обеспечивает полную безболезненность процедуры.

С этим связано и применение электростимуляции для профилактики и лечения скрытых маститов у коров [7– 9]. Применяемые для диагностирования методы не обеспечивают точности определения состояния вымени при скрытом мастите, и это не дает возможности точно назначать дозы лекарственных препаратов. В результате имеет место либо передозировка, либо недостаточность дозы. Лечение и профилактика мастита, основанные на применении электростимуляции, обычно проводятся без учета особенностей физиологического состояния животного, что приводит к дискомфорту при электрическом воздействии и, в конечном счете, к угасанию рефлекса молокоотдачи [10].

Безболезненность стимуляции, полная гальваническая изолированность живого организма от электрических частей и каналов стимуляции между собой, быстродействующая защита организма от самопроизвольных отсоединений электродов во время процедуры стимуляции и от неправильной установки интенсивности стимулирующих сигналов, которые обеспечивает "Полистим-

045" дают возможность широко использовать электрофизические методы профилактики и лечения скрытого мастита.

Выводы

1. Электростимуляция молочной железы повышает рефлекс молокоотдачи и повышает удои до 11,8% от контрольного уровня.

2. Применение электростимулятора нового поколения, вырабатывающего сигнал, который не нарушает физиологические процессы, происходящие в живом организме, позволяет уменьшить время дойки.

Список литературы

1. Белов А.Д. Физиотерапия и физиопрофилактика болезней животных /А.Д. Белов, И.М. Беляков, В.А. Лукьяновский. – М.: Колос, 1983. – 207 с.

2. Электронная аппаратура для стимуляции органов и тканей / Под ред. Р.И. Утямышева и М. Враны. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.

3. Чайванов Д.Б. Анализ ограничений моделирования на животных физических методов модуляции и диагностики функционального состояния нервной системы человека с целью выбора животного-модели / Д.Б. Чайванов , Н.В. Станкова // Биомедицина. – 2013, № 4. – С. 164–168.

4. Kumsa D. Neuromuscular electrostimulation techniques: historical aspects and current possibilities in treatment of pain and muscle waisting / D. Kumsa, G.K. Steinke, G.F. Molnar, E.M. Hudak, F.W. Montague, S.C. Kelley, D.F. Untereker, A. Shi, B.P. Hahn, C. Condit // Neuromodulation. – 2018, Feb; 21(2): P. 117–125. Epub 2017, Aug 7.

5. Kang Y.T. Different effects of transcutaneous electric nerve stimulation and electroacupuncture at ST36-ST37 on the cerebral cortex / Y.T. Kang, Y.S. Liao, C.L. Hsieh // Acupunct Med. – 2015, Feb; 33(1): P. 36–41. Epub 2014, Nov 28.

6. Сеин О.Б. К вопросу об оптимальном положении электродов при проведении транскраниальной электростимуляции у животных / О.Б. Сеин, А.Н. Зохиров, К.А. Михайлов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014, №3. – С. 72–74.

7. Климов Н.Т. Мастит у коров / Н.Т. Климов, С.В. Шабунин, А.Г. Нежданов.– LAP Lambert Academic Publishing. –2012. – 240 с.

8. Rozorinov H.N. Features of electrostimulation of trunk muscles with S-shaped scoliosis // International Journal of Innovative and Information Manufacturing Technologies. – №1, 2014. – P. 41–44.

9. Сеин О.Б. Регуляция физиологических функций у животных / О.Б. Сеин, Н.И. Жеребилов. – СПб.-М.: Лань, 2009. – 281 с.

10. Васильев В.Г. Доение коров, больных маститом // Ветеринария, – 1998, № 5. – С. 33–36.

References

1. Belov A.D. Fizioterapiya i fizioprofilaktika boleznej zhivotnyh [Physiotherapy and physioprophylaxis of animal diseases] /A.D. Belov, I.M. Belyakov, V.A. Luk'yanovskij. – M.: Kolos, 1983. – p. 207.

2. Ehlektronnaya apparatura dlya stimulyacii organov i tkanej [Electronic equipment for stimulating organs and tissues] / Pod red. R.I. Utyamysheva i M. Vrany. – M.: EHnergoatomizdat, 1983. – p. 384.

3. Chajvanov D.B. Analiz ogranichenij modelirovaniya na zhivotnyh fizicheskih metodov modulyacii i diagnostiki funkcional'nogo sostoyaniya nervnoj sistemy cheloveka s cel'yu vybora zhivotnogo-modeli [Analysis of the limitations of animal modeling of physical methods of modulation and diagnosis of the functional state of the human nervous system in order to select an animal model] / D.B. CHajvanov , N.V. Stankova // Biomedicina. – 2013, No 4. – p. 164–168.

4. Kumsa D. Neuromuscular electrostimulation techniques: historical aspects and current possibilities in treatment of pain and muscle waisting / D. Kumsa, G.K. Steinke, G.F. Molnar, E.M. Hudak, F.W. Montague, S.C. Kelley, D.F. Untereker, A. Shi, B.P. Hahn, C. Condit // Neuromodulation. – 2018, Feb; 21(2): p. 117–125. Epub 2017, Aug 7.

5. Kang Y.T. Different effects of transcutaneous electric nerve stimulation and electroacupuncture at ST36-ST37 on the cerebral cortex / Y.T. Kang, Y.S. Liao, C.L. Hsieh // Acupunct Med. – 2015, Feb; 33(1): R. 36–41. Epub 2014, Nov 28.

6. Sein O.B. K voprosu ob optimal'nom polozhenii ehlektrodov pri provedenii transkranial'noj ehlektrostimulyacii u zhivotnyh [On the question of the optimal position of the electrodes during transcranial electrostimulation in animals] / O.B. Sein, A.N. Zohirov, K.A. Mihajlov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2014, No 3. – p. 72–74.

7. Klimov N.T. Mastit u korov [Mastitis in cows] / N.T. Klimov, S.V. SHabunin, A.G. Nezhdanov.– LAP Lambert Academic Publishing. –2012. – p. 240.

8. Rozorinov H.N. Features of electrostimulation of trunk muscles with S-shaped scoliosis // International Journal of Innovative and Information Manufacturing Technologies. – No1, 2014. – R. 41–44.

9. Sein O.B. Regulyaciya fiziologicheskih funkcij u zhivotnyh [Regulation of physiological functions in animals] / O.B. Sein, N.I. ZHerebilov. – SPb.-M.: Lan', 2009. – p. 281.

10. Vasil'ev V.G. Doenie korov, bol'nyh mastitom [Milking of cows with mastitis] // Veterinariya, – 1998, No 5. – p. 33–36.

УДК 631.3.075.7+632.937.3

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАПСУЛАМ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ТРИХОГРАММЫ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

THE MAIN REQUIREMENTS TO THE CAPSULES FOR INTRODUCTION OF TRICHOGRAMMA FROM A UAV

***А.Ю. СПИРИДОНОВ**, аспирант, м.н.с., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***A.YU. SPIRIDONOV**, postgraduate student, Junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация.** В статье представлено обоснование параметров капсул, предназначенных для внесения трихограммы с беспилотных летательных аппаратов на сельскохозяйственных угодьях. Показано, что наиболее оптимальным для данной агротехнической операции, является использование капсул сферической формы с параметрами, взаимосвязанными с физико-механическими и биологическими свойствами препарата энтомофага.*

***Ключевые слова:** энтомофаг, расселение энтомофагов, трихограмма, беспилотный летательный аппарат, дрон.*

***Abstract**. The article presents a study of the parameters of the capsules are intended for introduction of Trichogramma with drones on farmland. It is shown that the most optimal for this agrotechnical operation is the use of spherical capsules with parameters related to the physical, mechanical and biological properties of the entomophage preparation.*

***Keywords**: the agent, the resettlement of entomophagous Trichogramma, drone, drone.*

Одним из мировых трендов сельскохозяйственного производства является переход к альтернативному, биологическому земледелию, суть которого заключается в отказе от использования традиционных средств химизации и их замены биологическими методами борьбы с вредителями и болезнями растений [1, с. 141].

Несмотря на очевидные преимущества данного метода, доказанные в различных работах [2, с. 87–91; 3, с. 10; 4, с. 113; 5, с. 105–108] остаётся нерешённым вопрос наиболее эффективного и экономически выгодного расселения энтомофагов, являющихся на сегодняшний день самым распространённым естественным средством уничтожения вредителей сельскохозяйственных культур. Наиболее часто в нашей стране используются насекомые-паразиты рода трихограммы, имеющие различных хозяев среди вредителей сельскохозяйственных культур.

Существуют различные способы расселения энтомофагов, которые можно классифицировать по многим признакам, имеющие разную стоимость, эффективность и производительность, однако наиболее распространёнными следует считать механизированное наземное и авиационное расселение с использованием конструктивно схожих пневматических систем. При использовании данных технических средств происходит распределение биоматериала по обрабатываемой поверхности, однако ввиду того, что его

чувствительность к различным физическим воздействиям и состоянию внешней среды крайне высока [6, с. 6], итоговая биологическая эффективность, выраженная в уменьшении числа вредителя на единицу площади может быть крайне низкой, ввиду того, что большая доля энтомофага в процессе расселения попадёт в неблагоприятные условия и окажется нежизнеспособной.

Решением данной проблемы является применение систем дозированного распределения биопрепарата по обрабатываемой площади с использованием капсул, сохраняющих энтомофаг от неблагоприятных воздействий окружающей среды и существенно уменьшающих общую травмированность биоматериала. В сочетании с использованием авиационного метода расселения, данное техническое решение позволяет существенно ускорить обработку и минимизировать повреждение культурных растений.

Цель исследования – обоснование параметров капсул для внесения трихограммы с беспилотного летательного аппарата.

В процессе определения основных требований к капсулам-носителям энтомофага руководствовались основными физико-механическими свойствами биоматериала [6, с. 6], биологическими и агротехническими требованиями к процессу расселения трихограммы [7, 13–18] и методикой определения качества трихограммы [8, с. 3–11].

В качестве базовой технологии расселения энтомофага трихограммы с помощью беспилотных летательных аппаратов использовали технологию, разработанную компанией BIOCARE GmbH (Германия).

В общем виде биоматериал представляет собой заражённые трихограммой яйца зерновой моли (ситотроги), из которых после расселения в естественной среде происходит выход имаго энтомофага (Рис. 1). Яйца ситотроги имеют продолговатую овальную форму, схожую с эллипсоидом вращения, обладают ребристой поверхностью. Средние геометрические размеры: длина – $0{,}598 \times 10^{-3}$ м, толщина – $0{,}231 \times 10^{-3}$ м. Насыпная плотность биоматериала колеблется в пределах 0,268 – 0,367 г/см^3.

Рисунок 1 – Общий вид биоматериала

Известен опыт применения различных материалов для изготовления капсул, в том числе использование желатина [4, с. 114], для обеспечения биологической разлагаемости изделия и отсутствия негативного влияния на экосистему сельскохозяйственных угодий, однако наиболее рациональным и надежным является использование двухслойной оболочки, основной слой которой состоит из картона, изготавливаемого по ГОСТ 7933-89, и имеющей покрытие из парафинированной бумаги (ГОСТ 9569-2006) для защиты содержимого от влаги.

Поскольку точность сбрасывания капсулы имеет большое значение для качественного выполнения процесса расселения, форма капсулы должна способствовать минимальному её сносу при падении. При сравнении коэффициентов лобового сопротивления различных тел в свободном потоке воздуха [9, с. 72–75] установлено, что наиболее оптимальной формой с точки зрения удобства дозирования и обеспечения минимального сопротивления при падении является сферическая форма, имеющая коэффициент сопротивления C_x = 0,25.

Внутренний объём сферы, учитывающий минимальное жизненное пространство для оптимального выведения трихограммы, определяется по формуле [10, с. 163]:

$$V = \beta_i \frac{M_E}{\rho_E}, \quad (1)$$

где ρ_E – удельная плотность биомассы (ρ_E = 1,0 г/см^3), M_E – масса энтомокультуры, β_i – коэффициент использования объёма в трофической фазе.

Поскольку расселение осуществляется посредством распределения энтомокультуры в 100 точках на 1 га [7, с. 15], при норме выпуска 1 – 3 г/га (80-240 тыс. особей), максимальную массу энтомокультуры, помещаемую в одну капсулу определим, исходя из выражения:

$$M_E = \frac{\mathrm{M_н}}{100}, \quad (2)$$

где $\mathrm{M_н}$ – нормативная масса выпускаемой энтомокультуры, г/га.

При значении M_E = 0,03 г и β_i = 3 получаем V = 0,09 см^3. Таким образом, минимальный радиус жизненного пространства капсулы r = 0,596 см.

Толщина стенок капсулы должна обеспечивать защиту биоматериала от повреждений при падении и обеспечить достаточную прочность для защиты от хищных насекомых. При использовании стандартного по толщине слоя картона 1,5 мм обеспечивается оптимальный запас прочностных характеристик и достаточная жёсткость капсулы. Таким образом, с учётом толщины стенок, диаметр капсулы d = 1,49 см.

Диаметр отверстий для выхода имаго и их количество должны обеспечивать минимальный риск проникновения хищных насекомых внутрь капсулы и обеспечивать благоприятные условия для выхода энтомофага. При среднем размере особи 0,3-0,6 мм оптимальным будет использование отверстий диаметром 0,8 мм и количеством 2 – 4 шт., расположенных на противоположных полушариях сферы. Указанные параметры используются, в частности, при изготовлении капсул биотехнологическими компаниями на Украине и в Германии (Рис. 2).

Рисунок 2 – Внешний вид капсул с энтомофагом

Основные требования к капсулам для внесения трихограммы авиационным методом представлены в таблице.

Таблица

Параметры капсул для расселения энтомофагов	
Параметр	Значение
Коэффициент сопротивления C_x	0,25 ± 0,025
Мин. внутренний объём, см^3	0,09
Мин. внутренний радиус, см	0,596
Внешний диаметр, см	1,49 ± 0,1
Макс. масса энтомофага, г	0,03
Толщина стенки, см	0,15 ± 0,05
Диаметр выходных отверстий, мм	0,8 ± 0,05
Кол-во выходных отверстий, шт.	2 – 4

Установлено, что:

1. Максимальное количество биомассы энтомофага в одной капсуле при норме внесения 3 г/га (240 тыс. шт.) и количестве точек выпуска 100 шт./га составляет 0,03 г.

2. При данном количестве биомассы и коэффициенте использования объёма β_i = 3, минимально возможный объём капсулы для её защиты составляет 0,09 см^3.

3. Наиболее рациональная сферическая форма капсулы с минимальным коэффициентом аэродинамического сопротивления будет иметь диаметр 1,49 см.

Список литературы

1. А. С. Кобець, О. М. Кобець, О. Ф. Кузьменко. Механізація захисту рослин у системі природного землеробства // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 45, ч.II., С. 141 – 147. – Кропивницький: ЦНТУ, 2015

2. Яхяев Х. К., Аминова Д. Х. Пути совершенствования биологического метода защиты хлопчатника // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2018. Т. 4. №1. С. 87-91. Режим доступа: http://www.bulletennauki.com/yakhyaev (дата обращения 15.01.2018).

3. Методика определения экономической эффективности применения трихограммы / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т биол. методов защиты растений. - Кишинев: Тимпул, 1976. - 16 с.

4. Трихограмма в защите растений: Сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ, ВНИИ биол. методов защиты растений; Под ред. Н. М. Голышина, Ш. М. Гринберга. - М.: Агропромиздат, 1988. - 151 с.

5. Носирова З. Г., Рустамова М., Бахромов Б. Эффективность применения энтомофагов в борьбе с ночными насекомыми-вредителями // Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы. Сб. статей X Международной научно-практической конференции, С. 105 – 108. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2018.

6. Краховецкий, Н. Н. Технология и технические средства для биологической защиты растений: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.20.01 / Науч.-исслед. ин-т сельскохозяйственного машиностроения. - Москва, 2005. - 24 с.

7. Аленчикова Т. Ф. Биологическое обоснование и методика оценки наземного механизированного расселения: автореферат дис. кандидата биологических наук: 06.01.11 / Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева. - Москва, 1987. - 24 с.

8. Методика определения качества трихограммы / ВАСХНИЛ, ВНИИ биол. методов защиты растений. - Кишинев: [б. и.], 1979. - 15 с.

9. Королев Е.В., Жамалов Р.Р. Аэродинамическое сопротивление плохо обтекаемых тел // Вестник НГИЭИ, 2011. Т. 2. №1. С. 61-77.

10. К вопросу определения объемов обитания энтомокультур в промышленных биотехнологических системах /В.М. Бельченко [и др.] // Защита растений: сб. науч. труд. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений; под ред. Л.И. Трепашко. - Несвиж, 2013. - Вып. № 37. - С. 161-167.

References

1. A. S. Kobec', O. M. Kobec', O. F. Kuz'menko. Mekhanizaciya zahistu roslin u sistemi prirodnogo zemlerobstva [Mechanization of plant protection in the system of natural agriculture] // Zagal'noderzhavnij mizhvidomchij naukovo-tekhnichnij zbirnik. Konstruyuvannya, virobnictvo ta ekspluataciya sil's'kogospodars'kih mashin, vip. [National interdepartmental scientific and technical collection. Design, manufacture and operation of agricultural machines] 45, ch.II., p. 141 – 147. – Kropivnic'kij: CNTU, 2015

2. YAhyaev H. K., Aminova D. H. Puti sovershenstvovaniya biologicheskogo metoda zashchity hlopchatnika [Ways to improve the biological method of protecting cotton] // Byulleten' nauki i praktiki. EHlektron. zhurn. 2018. T. 4. No 1. p. 87-91. URL: http://www.bulletennauki.com/yakhyaev (data obrashcheniya 15.01.2018).

3. Metodika opredeleniya ehkonomicheskoj ehffektivnosti primeneniya trihogrammy [Method of determining the economic efficiency of the use of Trichogramma] / Vsesoyuz. akad. s.-h. nauk im. V. I. Lenina, Vsesoyuz. nauch.-issled. in-t biol. metodov zashchity rastenij. - Kishinev: Timpul, 1976. – p.16.

4. Trihogramma v zashchite rastenij [Trichogram in plant protection]: Sb. nauch. tr. / VASKHNIL, VNII biol. metodov zashchity rastenij; Pod red. N. M. Golyshina, SH. M. Grinberga. - M.: Agropromizdat, 1988. – p. 151.

5. Nosirova Z. G., Rustamova M., Bahromov B. EHffektivnost' primeneniya ehntomofagov v bor'be s nochnymi nasekomymi-vreditelyami [The effectiveness of entomophages in the fight against nocturnal pests] // Proryvnye nauchnye issledovaniya: problemy, zakonomernosti, perspektivy.[Breakthrough scientific research: problems, patterns, prospects] Sb. statej H Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, p. 105 – 108. – Penza: MCNS «Nauka i prosveshchenie», 2018.

6. Krahoveckij, N. N. Tekhnologiya i tekhnicheskie sredstva dlya biologicheskoj zashchity rastenij [Technology and technical means for biological plant protection]: avtoreferat dis. kandidata

tekhnicheskih nauk: 05.20.01 / Nauch.-issled. in-t sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya. - Moskva, 2005. – p. 24.

7. Alenchikova T. F. Biologicheskoe obosnovanie i metodika ocenki nazemnogo mekhanizirovannogo rasseleniya [Biological substantiation and methodology for the assessment of terrestrial mechanized settlement]: avtoreferat dis. kandidata biologicheskih nauk: 06.01.11 / Moskovskaya ordena Lenina i ordena Trudovogo Krasnogo Znameni sel'skohozyajstvennaya akademiya imeni K. A. Timiryazeva. - Moskva, 1987. – p. 24.

8. Metodika opredeleniya kachestva trihogrammy [Method for determining the quality of trichogram] / VASKHNIL, VNII biol. metodov zashchity rastenij. - Kishinev: [b. i.], 1979. – p. 15.

9. Korolev E.V., ZHamalov R.R. Aehrodinamicheskoe soprotivlenie ploho obtekaemyh tel [Aerodynamic resistance of poorly streamlined bodies] // Vestnik NGIEHI, 2011. T. 2. No 1. p. 61-77.

10. K voprosu opredeleniya ob"emov obitaniya ehntomokul'tur v promyshlennyh biotekhnologicheskih sistemah [To the question of determining the habitats of entomocultures in industrial biotechnological systems] /V.M. Bel'chenko [i dr.] // Zashchita rastenij: sb. nauch. trud. / NPC NAN Belarusi po zemledeliyu, In-t zashchity rastenij; pod red. L.I. Trepashko. - Nesvizh, 2013. - Vyp. No 37. - p. 161-167.

УДК 63.117

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАДОМ НА МОЛОЧНОЙ ФЕРМЕ
THE DIGITAL MANAGEMENT SYSTEM ON DAIRY FARM

***Ю.А. ЦОЙ**, доктор техн.наук, член-корреспондент РАН, заведующий отделом,*
***Р.А. БАИШЕВА**, канд.техн.наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия*

***YU.A. COJ**, doctor of tech. sci., cor. memb. RAS, head of Department, **R.A. BAISHEVA**, cand. tech. sci., senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*

***Аннотация**. В формировании информационной базы системы управления стадом характерны три потока информации: исходное информационное обеспечение по результатам бонитировки, справочные данные и поток информации, который поступает от технических систем обслуживания молочной фермы. Дана структура исходной информационной базы системы управления стадом. Представлена структура информационных технологических систем сбора и передачи информации системы управления стадом на ферме.*

***Ключевые слова**: информационный блок, личная карточка животного, алгоритм управления, сбор и передача информации.*

***Abstract**. In the formation of the information base of the herd management system, three information streams are typical: initial information support based on the results of valuation, reference data and information flow, which comes from the technical systems of servicing the dairy farm. The structure of the initial information base of the herd management system is given. The structure of information technology systems for collecting and transferring information of a herd management system on a farm is presented.*

***Keywords**: information block, cow personal record, control algorithm, information collection and transmission.*

Эффективность работы молочной фермы как эргатической системы по определению зависит от множества разноплановых факторов, характеризующих взаимодействие объекта и субъекта труда.

Процесс функционирования фермы в свою очередь полностью определяется информационным обменом между звеньями в системе "человек – машина - животное". Соответственно адекватность и уровень принимаемых решений и эффективность работы фермы в целом будет зависеть от полноты и качества получаемой информации и информационного обмена.

Для жизненного цикла коровы, как известно, характерны три экстремальные точки: отел, охота и осеменение и запуск. Периоды между ними характеризуют различные физиологические состояния животных и соответственно требуют дифференцированного подхода к кормлению и содержанию. В этой связи на первый план для человека (ЭС) выходит отслеживание и контроль временных координат экстремальных точек, сбор информации и анализ информации, разработка и принятие решений [1, 2, 3].

Цель исследований – разработать структуру, алгоритм сбора и использование информации о животных в системе управления стадом.

Основные функции системы управления стадом сводятся к следующим вопросам [1, 5, 6, 7]:

- контроль и управление дойкой в реальном времени;
- селекционная работа со стадом;
- определение животных в охоте;
- определение качества молока;
- оперативная выработка системных сообщений и тревог, планирование работ на определенные периоды (день, неделя, месяц).
- формирование отчетов по продуктивности, физиологическому состоянию, параметрам лактации, здоровью и пр.

В формировании информационной базы системы управления стадом характерны три потока информации: исходное информационное обеспечение по результатам бонитировки или сопровождающей при покупке документации, а также справочных данных, которые в ПК вводятся вручную. Третий поток информации поступает от технических обслуживающих систем молочной фермы [8, 9, 10].

На Рис. 1 представлена структура исходной информационной базы системы управления стадом.

В сочетании с информационными технологическими системами вводимая информация поступает в подсистемы: справочный блок, отчеты, в базу данных по доению в цехе по производству молока, включая тревоги и запреты на выполнение процесса, в управление селекционными воротами, оценки и принятие решения связанное с качеством молока [11, 12].

Рисунок 1 - Структура исходной информационной базы системы управления стадом (СУС)

В составе системы управления стадом формируется наиболее важный блок – личная карточка животного, включающая следующие сведения: а) общая информация и общие сведения; б) раздел «События», характеризующий охоту, осеменение, проверку стельности, отел, заболевание/лечение, аборт, запуск,

решение о выбраковке и выводе из стада. Кроме того в этот раздел также включают данные по контрольной дойке, графики (кривые молокоотдачи), сведения «родители/телята», кормление и отчеты по животному.

Ниже приведены блок-схема алгоритма событий лактации и физиологического статуса животного (Рис. 2).

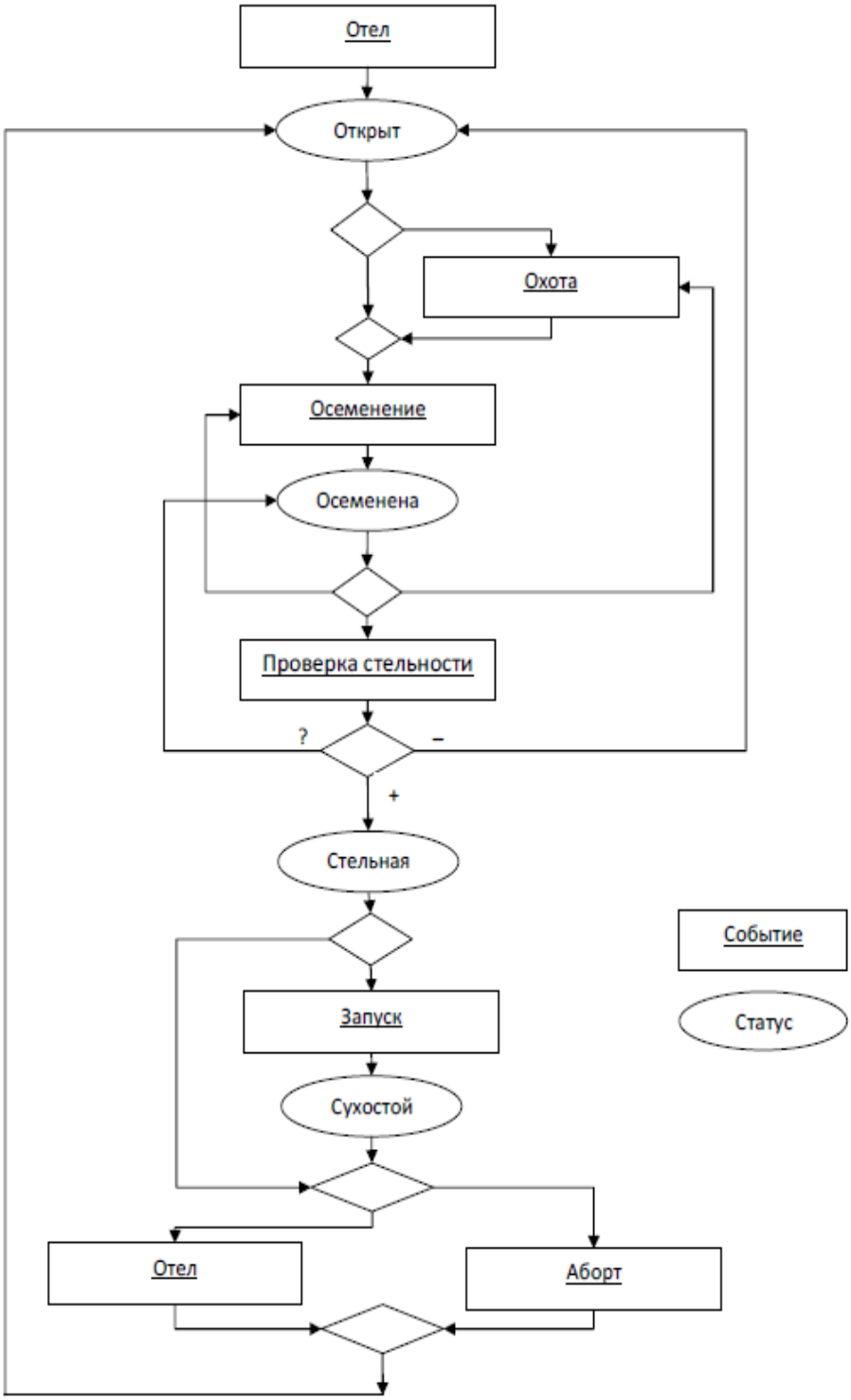


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма событий лактации и физиологического статуса животного.

Для работы с системой управления стадом (СУС) формируется контекстное меню пользователя, которое состоит из следующих основных функций:

1. Перевести в группу.
2. Убрать из группы.
3. Вернуть в стадо.
4. Отделить на сегодня, завтра.
5. Отделить с параметрами.
6. Карточка коровы.
7. Вывести животное из состава фермы.
8. Добавить новое животное.

Обязательным элементом системы управления стадом является справочный информационный блок, куда включают следующие данные, представленные в Табл. 1.

Таблица 1

Данные, включенные в справочный информационный блок системы управления стадом (СУС)

№ п/п	Животные	Корм, лекарства
1	Группы	Лекарства
2	Быки-производители	Заболевание
3	Породы	Лечение
4	Персонализация через константы	Корм
5	Персонал	Таблицы рационов

Структура информационных технологических систем сбора и передачи информации системы управления стадом на ферме представлена на Рис.3.

Рисунок 3 - Структура информационных технологических систем сбора и передачи информации (СУС).

Полученные данные поступают в блоки отчетов, справочную и личную карточку животного и в блоки исходной информации.

Созданная структура сбора и передачи информации позволяет систематизировать информацию, которая может быть применена как электронный файл (личная карточка) для каждого животного. С помощью системного анализа и методов разработки программного обеспечения можно эффективно управлять стадом на молочной ферме. Управление стадом на каждой стадии обеспечивает здоровье коров, повышает продуктивность и качество молока, что в дальнейшем способствует экономическому росту молочной фермы.

Список литературы

1. *Цой Ю.А., Кирсанов В.В.* Алгоритмизация процессов молочных ферм и инженерные приложения. М., 2016. 120 с.

2. Afimilk Introduces AfiFarm 5.2., 2017. Brochure. https://www.afimilk.com/sites/default/files/1070/afifarm_5.2.pdf

3. Dairy Farm Management, 2017. http://www.fao.org/ag/againfo/themes/documents/pub6/p612.htm

4.Dairy herd management system. 2018. https://www.nedap-livestockmanagement.com/dairy-farming/solutions/

5. Dairy Production and Management**,** 2016. From the course by University State Pennsylvania, USA. Video: https://www.coursera.org/learn/dairy-production/lecture/KZzV7/dairy-farm-management.

6.FAO and IDF. 2011. Guide to good dairy farming practice. Animal Production and Health Guidelines. No. 8. Rome.

7. FarmSync Dairy Management Project Veronica Vermeulen, Surbhi Jhavar Systems Design Engineering Supervisor: Paul Fieguth https://uwaterloo.ca/systems-design-engineering/sites/ca.systems-design-engineering/files/uploads/files/g14-farm-sync-abstract.pdf

8. *House John*, 2011. A guide to dairy herd management. The University of Sydney, New South Wales, Australia: 79.

9. *Invited review:* Learning from the future – A vision for dairy farms and cows in 2067. Britt J.H. et al. Journal of Dairy Science , May 2018, Volume 101 , Issue 5 , 3722 - 3741.

10. Leading the way for sustainable dairy farming Providing assurance to customers about farm practices, 2015. Dairy Farmers of Canada, Canada: 25.

11. *Ron Berger & Anat Hovav* , 2013: Using a Dairy Management Information System to Facilitate Precision Agriculture: The Case of the AfiMilk® System, Information Systems Management, 30:1, 21-34

12. *Sorensen C. G., Fountas, S., Nash E., Personen L. et al.* 2010. Conceptual model of a future farm management information system. Computers and Electronics in Agriculture, 72(1), 37-47. DOI: 10.1016/j.compag.2010.02.003

References

1. Coj YU.A., Kirsanov V.V. Algoritmizaciya processov molochnyh ferm i inzhenernye prilozheniya. [Algorithmization of dairy farm processes and engineering applications] M., 2016. p.120.

2. Afimilk Introduces AfiFarm 5.2., 2017. Brochure. https://www.afimilk.com/sites/default/files/1070/afifarm_5.2.pdf

3. Dairy Farm Management, 2017. http://www.fao.org/ag/againfo/themes/documents/pub6/p612.htm

4.Dairy herd management system. 2018. https://www.nedap-livestockmanagement.com/dairy-farming/solutions/

5. Dairy Production and Management, 2016. From the course by University State Pennsylvania, USA. Video: https://www.coursera.org/learn/dairy-production/lecture/KZzV7/dairy-farm-management.

6.FAO and IDF. 2011. Guide to good dairy farming practice. Animal Production and Health Guidelines. No. 8. Rome.

7. FarmSync Dairy Management Project Veronica Vermeulen, Surbhi Jhavar Systems Design Engineering Supervisor: Paul Fieguth https://uwaterloo.ca/systems-design-engineering/sites/ca.systems-design-engineering/files/uploads/files/g14-farm-sync-abstract.pdf

8. House John, 2011. A guide to dairy herd management. The University of Sydney, New South Wales, Australia: 79.

9. Invited review: Learning from the future – A vision for dairy farms and cows in 2067. Britt J.H. et al. Journal of Dairy Science , May 2018, Volume 101 , Issue 5 , 3722 - 3741.

10. Leading the way for sustainable dairy farming Providing assurance to customers about farm practices, 2015. Dairy Farmers of Canada, Canada: 25.

11. Ron Berger & Anat Hovav , 2013: Using a Dairy Management Information System to Facilitate Precision Agriculture: The Case of the AfiMilk® System, Information Systems Management, 30:1, 21-34

12. Sorensen C. G., Fountas, S., Nash E., Personen L. et al. 2010. Conceptual model of a future farm management information system. Computers and Electronics in Agriculture, 72(1), 37-47. DOI: 10.1016/j.compag.2010.02.003

УДК 631.95

РАСЧЕТ РАССТОЯНИЯ ОТ ИСТОЧНИКА УФ ОБЛУЧЕНИЯ ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО НЕОБХОДИМУЮ ДОЗУ ЭФФЕКТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

THE CALCULATION OF THE DISTANCE FROM THE SOURCE OF UV RADIATION PROVIDES THE NECESSARY EFFECTIVE DOSE OF RADIATION

ДОВЛАТОВ И.М., ЮФЕРЕВ Л.Ю.*, д. т. н, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

DOVLATOV I.M., YUFEREV L.Yu., *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia*

Аннотация*. В статье, описаны методы борьбы с вредоносной микрофлорой. Наиболее безопасным методом для борьбы будет являться физический. УФ облучение является не безопасным для зрения персонала и животных. По этой причине облучательные установки, в которые устанавливают УФ источники, делаются закрытого типа. Основные УФ источники были сведены в общую таблицу, был выбран УФ источник для которого определена максимальная граница удалённости стенок от источника. Далее была представлена методика расчёта по зависимостям дозы облучения при удалении от источника; дозы от скорости; дозы от длины источника. По известным данным о необходимой дозе для уничтожения наиболее распространенных микроорганизмов на основании проведенного исследования другими учеными. С учетом полученной формулы была найдена граница диапазона эффективной дозы для инактивации микроорганизмов в птичнике и соответственно расстояние от источника излучения до стенок УФ облучателя. Определен диапазон скорости в разрабатываемой электроустановке для получения микроорганизмами необходимой дозы облучения во время прохождения через УФ источник и размер источника УФ на основе полученных данных ранее.*

Ключевые слова*: УФ источник, микроорганизмы, бактерицидный поток, доза облучения, птичник.*

Abstract. *The article describes the methods of combating harmful microflora. The safest method to fight will be physical. UV radiation is not safe for the sight of personnel and animals. For this reason, irradiation installations in which UV sources are installed are made of a closed type. The main UV sources were summarized in a General table, a UV source was selected for which the maximum boundary of the distance of the walls from the source was determined. Next was presented a method of calculation for the dependency of radiation dose with distance from the source; doses of speed; the dose of the length of the source. According to known data on the required dose for the destruction of the most common microorganisms on the basis of the study by other scientists. Taking into account the obtained formula, the boundary of the effective dose range for inactivation of microorganisms in the poultry house and, accordingly, the distance from the radiation source to the walls of the UV irradiator was found. The range of speed in the developed electrical installation for obtaining the necessary dose of irradiation by microorganisms during the passage through the UV source and the size of the UV source on the basis of the previously obtained data is determined.*

Keywords: *UV source, microorganisms, bactericidal flow, radiation dose, aviary.*

Введение

В наши дни существуют несколько методов борьбы с вредоносной микрофлорой, такие как химический, электрофизический и механический [1].

Наиболее передовым и безопасным является электрофизический [2]. В описанных работах [3-7] проведены исследования по облучению микроорганизмов электрофизическим способом, которые демонстрируют его эффективность. В электрофизический метод обеззараживания входит УФ облучение, которое получило наибольшее распространение, но может быть вредным для глаз животных и персонала, по этой причине такие источники рекомендовано устанавливать в облучатели закрытого типа, внутри которых и происходит инактивация микроорганизмов [8-11]. Для их большей производительности, при условии их 100% эффективности в них устанавливают вентиляторы и такие облучатели закрытого типа называются рециркуляторами.

Цель исследования – определение границ эффективного УФ облучения от источника для полной инактивации всех микроорганизмов которые попадают в бактерицидный поток на примере птичника.

Материалы и методы исследования

Проведено теоретическое исследование по обоснованию границ эффективного облучения при удалении от источника облучения. С целью нахождения изменения дозы от расстояния, дозы от скорости прохождения через УФ источник, дозы от длины источника облучения.

При проведении расчетов были использованы светотехнические методы расчета.

Результаты и обсуждение

На основании литературного анализа была составлена таблица 1, в которой отражены основные УФ источники облучения, выпускаемые на рынке.

Выбор УФ источника для дальнейшего расчета проводился, основываясь максимальным бактерицидным потоком и наибольшем эксплуатационном сроком службы.

По заданным параметрам из УФ ламп в таблице 1 подходящей является УФ источник низкого давления с амальгамным покрытием Philips TUV PL–L 95W/4P производства Германия. Необходимость амальгамного покрытия обусловлена необходимостью отсутствия озона в воздухе по причине его вредности в больших концентрациях.

Далее основываясь источником [12] была выведена формула облучения (1) с добавочным значением учета ослабления светового потока т.к. формула из теории Релея описанная в рассматриваемом источнике актуальна для чистого воздуха, в нашем случае работа установки в реальной среде в птичнике.

$$E_{ц} = \frac{I_{\gamma}\, sin^2\alpha_l}{2\pi h^2} \cdot e^{-\mathscr{k} l} \qquad (1)$$

где е - число Эйлера (математическая константа, равная 2.71828182845905);

$\mathscr{k}$ – ослабление светового поток ($\mathscr{k} = 6.38$) , 1/м; [12]

l – длина источника облучения, м;

I_{γ} – сила света (излучения) линейного излучателя единичной длины в плоскости γ, Вт;

h – расстояние до стенки, м;

$E_ц$ – освещенность Вт/м^2 ;

α_l – угол между осью приемного цилиндра и направлением излучения от каждого источника или его элемента.

Таблица 1 - Сравнение основных ультрафиолетовых ламп на Российском рынке

Тип ламп	**Страна производитель**	**Мощность лампы, Вт**	**Длина, м**	**Бактерицидный поток, Вт**	**Средняя продолжительность горения, ч.**	**η бакт, %**	**Цена, руб. 2017–2018 г.**
ДБК–8	Россия	8	0,3	3,1	3000	39	80,91
ДБК–36	Россия	36	0,86	11,0	4000	30,6	148,34
ДБ–30	Россия	30	0,9	10	4000	33	155,08
OSRAM PURITEC HNS 15W	Германия	15	0,44	4,9	9000	32,6	309
OSRAM PURITEC HNS 30W	Германия	30	0,94	12	9000	40	50
OSRAM PURITEC HNS 55W	Германия	55	1,5	18	9000	32,7	900
Philips TUV TL–D 15W	Голландия	15,9	0,91	4,9	8000	31	568.55
Philips TUV TL–D 30W	Голландия	30	0,9	12	8000	40	729
Philips TUV PL–L 95W/4P	Голландия	95	0,52	32	9000	34	4428
Philips TUV PL–L 60W/4P	Голландия	60	0,42	18	9000	30	2691
LTC15 T8	Венгрия	15	0,44	4,7	8000	31,3	2 714
ЛИТ ALC 100/32*	Россия	100		23	8000	23	16000
ЛИТ ALC 120/45*	Россия	120		30	8000	25	18000
ЛИТ ALC 170/70*	Россия	170		50	8000	29	20000
OSRAM HNS 8W G5	Германия	8	0,29	2.8	6000	35	240

*такие лампы продаются только целиком с установкой, в которой они размещены

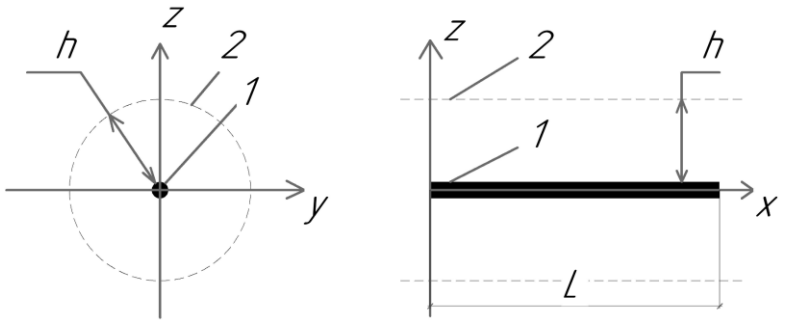
Методика расчёта дозы облучения.

Запишем условия:

1) В установке время облучения для инактивации патогенной микрофлоры в птичниках напрямую зависит от необходимого времени экспозиции микроорганизмов определяемое из дозы облучения УФ источника.

2) Скорость перемещения микроорганизмов в электроустановке постоянно и условно одинакова на протяжении всего времени облучения и составляет U.

3)Длина на протяжении которой микроорганизмы подвергаются облучению *l* (рис. 1).



1 –источник излучения; 2 – граница эффективного облучения.

Рисунок 1 – Схема и определение границ эффективного облучения и дозы облучения

Облученность находится по выражению:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} E_{ц} dt = \frac{I_\gamma \, sin^2\alpha_l}{2\pi h^2} \cdot \frac{1}{e^{kl}} \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$E = \frac{I_\gamma \, sin^2\alpha_l}{2\pi h^2} \cdot \frac{1}{e^{kl}} \int_{L_1}^{L_2} \frac{dl}{U} = \frac{I_\gamma \, sin^2\alpha_l}{2\pi h^2} \frac{l}{U} \cdot \frac{1}{e^{kl}} \qquad (2)$$

где t – время нахождения микроорганизмов в зоне облучения в секундах (t=0,26 с)

$sin^2\alpha_l = 1$

Из выведенного уравнения (2) можно утверждать, что поток от источника в каждую точку на плоскости составит Дж/м^2

По полученному выражению (2) найдем изменение доз облучения на удалении от источника для определения расстояния от источника, при условии соблюдения необходимой дозы облучения.

Таблица 2 – Дозы облучения при удалении от источника

h, м	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
E, Дж/м^2	537,5	125	55,6	31,25	20	13,9

В [13] источнике Вашков В.И. вывел таблицу 3 с названием бактерий и необходимом количеством энергии УФ лучей для вивариев, в которых содержатся курицы.

Таблица 3 – Необходимое количество энергии для инактивации бактерий [5]

Название бактерий	***Энергия мкВт.с/мм^2 (Дж/м^2)***
Сибироязвенной палочки	4,52;
BAC. megatherium	1,13
Бактерий дизентерии	1,68
Кишечной палочки	3
Протея	2,64
Белого стафилококка	1,84
Золотистого стафилококка	2,28–4,95
Стрептококка зеленящего	2
Сарцины	19,7
Дифтеритной палочки	3,37

Сарцины являются живыми организмами (сапрофитами). Они выделяют определенные продукты жизнедеятельности, которые могут вызывать различные виды аллергий.

Зная данные табл. 2 и известные значения в табл. 3 определим границу диапазона эффективной дозы для инактивации микроорганизмов в птичнике и построим рисунок 2.

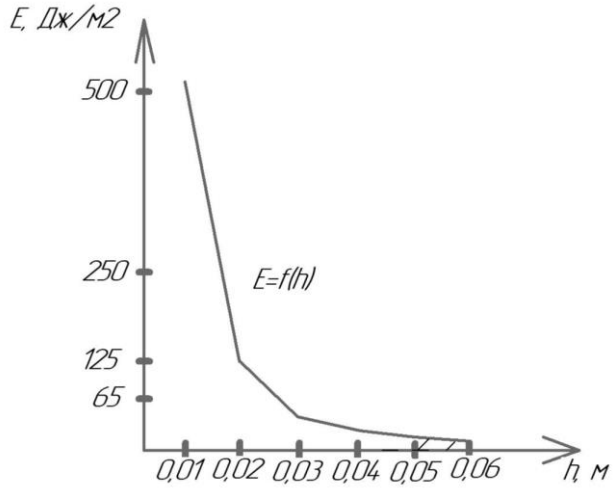


Рисунок 2– Зависимость дозы от расстояния

Расстояние от УФ источника для полной инактивации всех вредоносных микроорганизмов, которые присутствуют в птичниках должно быть в диапазоне 0,05–0,06 м.

Найдём диапазон скорости в разрабатываемой электроустановке для получения микроорганизмами необходимой дозы облучения во время прохождения через УФ источник и сведем в таблицу 4. На основании таблицы 4 построен рисунок 3, в котором отразим границы зная необходимую дозу облучения.

Таблица 4 Зависимость дозы от скорости

U, м/с	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
E, Дж/м^2	86	43	28,6	21,5	17,2	14,3	12,3

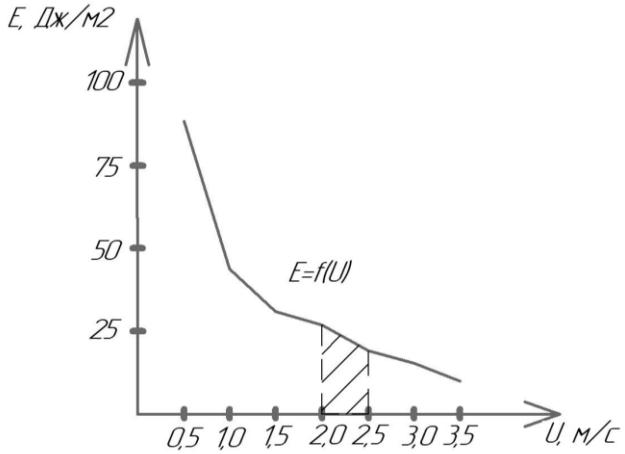


Рисунок 3 – Зависимость дозы от скорости прохождения через УФ источник

По расчетам диапазон скорости должен варьироваться в диапазоне 2,0–2,5 м/с

Следующим действием необходимо найти размер источника УФ на основе полученных данных ранее и сведем в таблицу 5.

Таблица 5 Зависимость получаемой дозы от длины источника

L, м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
E, Дж/м^2	8,6	12,9	17,2	21,5	25,8	30,1	34,4	38,7	43

На основании таблицы 5 построен рисунок 4, в котором отразим границы зная необходимую дозу облучения.

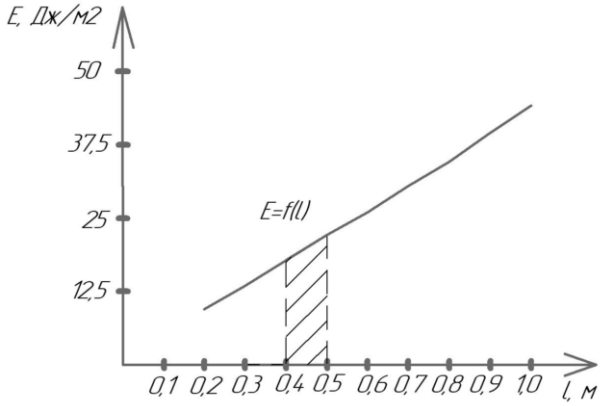


Рисунок 4 – Зависимость дозы от длины источника облучения

По произведенным расчетам длина УФ источника должна быть не менее 0,4–0,5 м

Выводы:

При выбранном УФ источнике и микроорганизмам, существующим в птичниках, проведенные расчеты показали:

- Облучаемый объект должен находиться в пределах 0,05–0,06 м от источника бактерицидного облучения;
- Скорость прохождения объекта через источник должна быть в диапазоне 2,0–2,5 м/с;
- Длина облучательного источника должна быть в пределах 0,4– 0,5 м.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00793

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-38-00793

Список литературы

1. Довлатов И.М., Качан С.А., Юферева А.А. Методы обеззараживания помещений для содержания птицы / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 4 (25). С. 71-75.

2. Довлатов И.М. Обеззараживание воздуха в птицеводческих помещениях ультрафиолетовым излучением / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 13-134.

3. Пименов Е.П., Павлов А.Н., Васильева Н.А., Морозова А.И. Изменение численности микроорганизмов в какао-порошке при гамма облучении и последующем хранении /Мир современной науки. 2018. № 1 (47). С. 8-11.

4. Миронов А.А., Агданцева Е.Н., Баранова А.А. Адаптивная реакция микроорганизмов на воздействие малыми дозами облучения / В сборнике: Медико-

экологические информационные технологии - 2018 Сборник научных статей по материалам XXI Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Н.А. Кореневский. 2018. С. 182-188.

5. Быковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Кухто В.А., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В. Радиационное воздействие электронов на чистые культуры микроорганизмов / Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 12. С. 45-49.

6. Семиволос А.М., Хорошенькова Е.С. Изучение воздействия свч-излучения на маститогенную микрофлору молока / Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2011. № 12. С. 40-41.

7. Варганов М.В., Егоркина С.Б., Кузяев М.В., Кузнецов С.Ф., Салаватуллин А.В. Влияние голубого, зеленого и красного спектра света прибора "биоптрон" на внутрибольничные штаммы микроорганизмов / Приволжский научный вестник. 2016. № 6 (58). С. 77-79.

8. Довлатов И.М., Юферев Л.Ю. Бактерицидные облучатели и установки для обеззараживания животных и птицы / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 4 (25). С. 27-34.

9. Юферев Л.Ю., Довлатов И.М. Повышение эффективности энерго-ресурсосберегающей системы уф облучения / Вестник ВИЭСХ. 2017. № 2 (27). С. 70-75.

10. Довлатов И.М. Факторы, влияющие на эффективность источников уф излучения / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2 (23). С. 41-44.

11. Довлатов И.М., Рудзик Э.С. Улучшение микроклимата в сельскохозяйственном помещении за счет обеззараживания воздуха ультрафиолетовым излучением / Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3 (28). С. 47-52.

12. Мешков В.В. Основы светотехники, ч.1. М.: Энергия, 1979.–368 с.

13. Вашков В.И. Средства и методы стерилизации, применяемые в медицине. М.: Медицина, 1973. – 368 с.

References

1. Dovlatov I. M., Kachan S. A., Yufereva A. A. methods of disinfection of premises for poultry keeping / Innovations in agriculture. 2017. No 4 (25). P. 71-75.

2. Dovlatov I. M. Disinfection of air in poultry premises by ultraviolet radiation / Innovations in agriculture. 2017. No 1 (22). P. 13-134.

3. Pimenov E. P., Pavlov A. N., Vasilyeva N. Ah. Morozov, a Change in the number of microorganisms in cocoa powder under gamma irradiation and subsequent storage /World of modern science. 2018. No. 1 (47). Pp. 8-11.

4. Mironov A. A., Agenzia E. N., Baranov A. A. Adaptive response of microorganisms to exposure to low doses of irradiation / In the book: Medical-ecological information technologies - 2018 the Collection of scientific articles on materials of XXI International scientific-technical conference. Responsible editor N. Ah. Korenevsky. 2018. P. 182-188.

5. Butovchenko, T. V., Volkova O. V., Zavialov M. A., Filippovich V. P., Kuchta V. A., Pavlov Yu., Prokopenko V. A. Radiation effects of electrons on a pure culture of microorganisms / Storage and processing of agricultural products. 2014. No. 12. P. 45-49.

6. Semivolos A. M., E. S. Horoshenkov study of the effects of microwave radiation on the microflora of milk mastitogo / Bulletin of Saratov state agrarian University im. N. And. Vavilova. 2011. No. 12. Pp. 40-41.

7. Varganov, M. V., Egorkina S. B., kuziaev M. V., Kuznetsov S. F., Salvinorin A. V. the Influence of blue, green and red spectrum of light device "BIOPTRON" on nosocomial strains of microorganisms / Privolzhsky scientific journal. 2016. No 6 (58). P. 77-79.

8. Dovlatov I. M., Yuferev L. Bactericidal irradiators and installations for disinfection of animals and poultry / Innovations in agriculture. 2017. No 4 (25). PP. 27-34.

9. Yuferev L. Yu., Dovlatov, I. M. improving the efficiency of energy-resource-system UV / Bulletin of viesh. 2017. No 2 (27). P. 70-75.

10. Dovlatov, I. M. Factors affecting the efficiency of UV radiation sources / Innovations in agriculture. 2017. No 2 (23). P. 41-44.
11. Dovlatov I. M., Rudzik E. S. Improvement of microclimate in agricultural premises due to air disinfection by ultraviolet radiation / Innovations in agriculture. 2018. No 3 (28). Pp. 47-52.
12. Meshkov V. V. Fundamentals of lighting, part 1. M.: Energy, 1979.-368 p.
13. Vashkov V. I. Means and methods of sterilization used in medicine. M.: Medicine, 1973. - 368 p.

УДК 631.95

СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ОБЕСПЫЛИВАНИЮ ВОЗДУХА АЭРОЗОЛЬНОЙ СМЕСЬЮ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

COMPARISON OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DATA ON THE PROTECTION OF AIR BY AEROSOL MIXTURE IN AGRICULTURAL PREMISES

ДОВЛАТОВ И.М., ЮФЕРЕВ Л.Ю.*, д. т. н, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*

DOVLATOV I.M., YUFEREV L. Yu., *Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia,*

Аннотация*. В статье рассматривается оседание аэрозоля в отсутствие и при наличии конвекции. В отсутствие конвекции при не очень малом размере частиц и монодисперсности аэрозоля верхний слой оседает с постоянной скоростью, а ниже границы концентрации аэрозоля, постоянная во всем его объеме, не изменяется со временем. Вертикальная составляющая скорости конвекции, а следовательно, и коэффициента конвективной диффузии стремится к нулю при приближении ко дну камеры. Приведена формула нахождения изменения концентрации пылевых частиц и на основании известных числовых значений находится изменение концентрации пыли для разного времени одной экспозиции. Далее демонстрируются найденные ранее экспериментальные значения по обеспыливанию помещения и сопоставляются с теоретически найденными значениями. Для количественной оценки соответствия теоретических и экспериментальных данных в качестве показателей, с помощью которых определялась достоверность принятых допущений при разработке математической модели обеспыливания воздуха, были выбраны следующие критерии: коэффициент корреляции, который равен 0,96 и который показывает связь близкою к функциональной между сравниваемыми результатами, критерий Фишера, который равен 0,928152 и коэффициент Стьюдента, который равен 1,05.*

Ключевые слова*: обеспыливание, коэффициент корреляции, натурный эксперимент, аэрозоль*

Abstract. *The article deals with the deposition of aerosol in the absence and in the presence of convection. In the absence of convection with not very small particle size and monodispersity of the aerosol, the upper layer settles at a constant speed, and below the boundary of the aerosol concentration, constant throughout its volume, does not change over time. The vertical component of the convection velocity, and hence the convection diffusion coefficient, tends to zero when approaching the bottom of the chamber. The formula for finding the change in the concentration of dust particles is given and based on the known numerical values, the change in the dust concentration for different times of one exposure is found. The experimental values for dust removal are demonstrated and compared with the theoretically found values. To quantify the compliance of theoretical and experimental data as indicators by which to determine the validity of the assumptions made in the development of a mathematical model of dust removal, the following criteria were chosen: the correlation coefficient which is equal to 0.96 which shows a relationship close to the functional between the compared results, the Fisher criterion which is equal to 0.928152 and the student coefficient which is equal to 1.05.*

Keywords: *dust removal, correlation coefficient, full-scale experiment, aerosol*

Введение

В воздухе помещений для животных и птиц постоянно содержатся механические взвешенные плотные частицы, образующие воздушную пыль.

Пыль содержит немало токсинов и тяжелых металлов, и, вдыхая бытовую пыль, мы постоянно поддерживаем состояние интоксикации. Она представляет собой воздушно-дисперсную систему, состоящую из дисперсной фазы (пыли и других примесей) и дисперсионной среды (воздуха). Каждая частица в воздухе находится под воздействием силы тяжести, благодаря которой она стремится осесть, и силы трения среды, которая препятствует ее оседанию. Заражение животных через воздух называют аэрогенным (воздушным). В зависимости от характера носителей инфекция бывает пылевой и капельной [1-4]. Наличие пыли в воздухе может быть причиной разных заболеваний. Различают специфические и неспецифические поражения. К специфическим относят аллергическую реакцию и пневмокониозы. К неспецифическим заболевания кожи, глаз и органов дыхательных путей. Самым эффективным средством борьбы с таким патогеном по мнению ветеринаров является аэрозольное распыление [5,6]. Большая концентрация пыли затрудняет уничтожение вредоносных микроорганизмов физическим методом воздействия, который является эффективным и не дорогим [7-10]

Цель исследования – выявить зависимость влияния времени распыла аэрозоли на изменение количества пыли и сравнить полученную зависимость с экспериментальными значениями для определения тесноты связи.

Материалы и методы исследования.

Проведен теоретический расчёт по нахождению зависимости изменения количества пыли от времени экспозиции**.** Проведено сравнение полученных данных теоретическим и экспериментальным путем на тесноту связи по коэффициенту корреляции. При проведении расчетов были использованы методы из газо и гидродинамики.

Результаты и обсуждение.

В источнике [11] описана методика нахождении осаждения частиц при конвекции и перемешивании.

На основании источника [11] концентрация осаждения частиц в воздухе находится по формуле (1):

$$n = \frac{n_0}{e^{\frac{0,55\sqrt{gz\alpha\Delta T}\ t}{h_b}}} \qquad (1)$$

где е – число Эйлера;

α – коэффициент расширения газа;

t –время работы установки, с;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

h_b – высота камеры, м;

ΔT – разница температур при оседании аэрозоли, ^{o}C;

z – высота от основания стенки (равная высоте камеры), м;

n_0 – начальная концентрация частиц в воздухе, мг/м^3.

В качестве допущения принимаем, количество осажденных частиц аэрозоли равно количеству осажденных частиц пыли. В дальнейшем это допущение подтверждено экспериментальными исследованиями.

Подставляя значения параметров, при которых проводился эксперимент, которые подставляем в выражение (1) с учетом разного времени составим в таблицу 1

Таблица 1 - Зависимость времени экспозиции на количество пылевых частиц

t, с	0	600	1200	1800	2400	3000	3600
n, мг/м^3	54	29	15,9	8,7	4,7	2,57	1,4

На основании таблицы 1 построим зависимость времени экспозиции на количество пыли в м^3

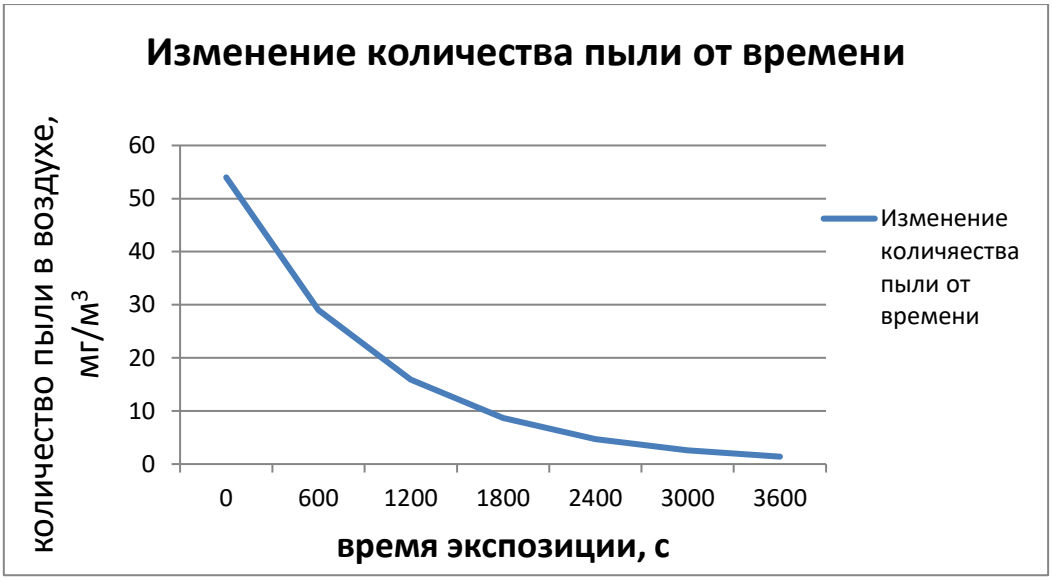


Рисунок 1 - Зависимость времени экспозиции на количество пыли

Для сравнения полученных теоретических данных таблицы 1, было заблаговременно проведено испытание в изолированной камере на изменение влажности и пыли, результаты сведены в таблицу 2. На основании полученных данных была найдена эффективность обеспыливания %-ая.

Таблица 2 – Эффективность комбинированной–электроустановки по обеспыливанию воздуха в камере

Экспозиция, t мин	**Относительная влажность, φ %**	**Количество пыли в 1м^3 воздуха, Nп мг/м^3**	**Эффективность обеспыливания, %**
С распылом аэрозоли			
До включения	53	54,0±1,8	–
10	60	26,9±0,6	50,15
20	71	16±0,4	71,12
30	79	6,5±0,3	87,97
40	84	2,3±0,2	95,56
50	89	1,8±0,2	96,64
60	95	1,5±0,3	97,04

Примечание: исследования проведены в трехкратной повторности, разница температуры в начале и конце опыта составила 0,03 °С

Далее полученные данные таблицы 1 и таблицы 2 для наглядности были сведены в рисунок 2 и в таблицу 3.

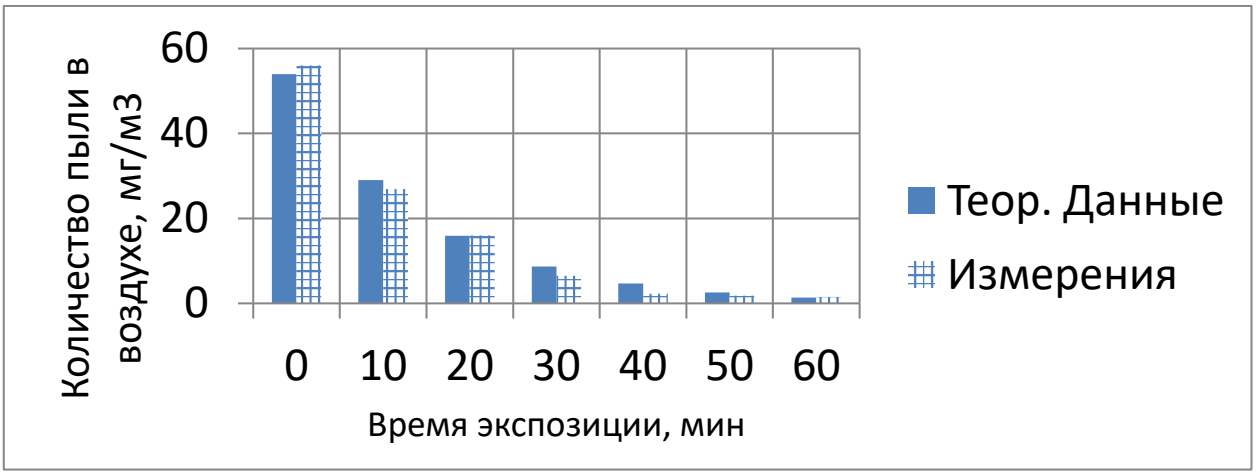


Рисунок 2 – Сведенные значения полученныке теоретически и экспериментально

Таблица 3 - Данные полученные натурным, теоретическим и полиномиальным способом

Теоретические данные	54	29	15,9	8,7	4,7	2,57	1,4
Измерения	56	26,9	16	6,5	2,3	1,8	1,5

Для количественной оценки соответствия теоретических и экспериментальных данных в качестве показателей, с помощью которых определялась правомочность принятых допущений при разработке математической модели электроустановки, были выбраны следующие критерии: коэффициент корреляции, критерий Фишера и коэффициент Стьюдента, определяемые по следующим формулам [12,13].:

Коэффициент корреляции r_{xy} [12,13]

$$r_{xy} = \frac{\delta_{y_T}}{\delta_{y_Э}}, \text{ при } \delta_{y_T} \le \delta_{y_Э} \qquad (2)$$

где $\delta_{ут}$ – среднее квадратическое отклонение переменной величины, вычисленное теоретически, на математической модели;

δут =19,08

$\delta_{уэ}$ – среднее квадратическое отклонение переменной величины, полученное опытным путем.

$\delta_{уэ}$=19,8

$r_{xy} = 0{,}96$

$$\delta_{y_T} = \sqrt{\frac{\sum y_{Ti}^2}{n} - \bar{y}_T^2} \quad ; \quad \delta_{y_Э} = \sqrt{\frac{\sum y_{Эi}^2}{n} - \bar{y}_Э^2} \qquad (3)$$

где $y_{Ti}, y_{Эi}$ – соответственно теоретические и экспериментальные значения переменной величины;

Коэффициент корреляции оценивает тесноту связи между теоретическими и экспериментальными значениями переменной величины. Степень тесноты связи оценивают согласно источникам [12,13]. Из таблицы следует, что степень тесноты связи приближается к функциональной.

Коэффициент Стьюдента t [14]

$$t = \frac{\bar{y}_T}{\bar{y}_Э}, \text{ при } \bar{y}_T \geq \bar{y}_Э \quad (4)$$

$\overline{y_r}$–теоретические значения математических ожиданий переменной величины.

$\overline{y_r}$ = 16,61

$\overline{y_э}$ – экспериментальные значения математических ожиданий переменной величины.

$\overline{y_э}$ =15,862

t= 1,05

Табличное значение коэффициент Стьюдента 2,3 и 3,5

Сравнивая коэффициент t полученный расчетным путем с табличным значением t_T , определяем значимость или не значимость расхождений между теоретическими и экспериментальными данными (при $t_p<t_T$ разница не значима и модель принимается) [12,13].

Критерий Фишера F

$$F = \frac{D_{y_T}}{D_{y_Э}}, \text{ при } D_{y_T} \geq D_{y_Э} \quad (5)$$

$D_{y\text{т}} = 364{,}1517$

$D_{y\text{э}} = 392{,}3405$

F= 0,928152

Критерий Фишера показывает адекватность модели экспериментальным данным. Если расчетное значение F_p меньше табличного значения F_T ($F_p<F_T$) то модель считается адекватной экспериментальным данным и принимается как правильно описывающая процесс [12, 13].

Критерий Фишера был определён для числа степеней свободы f= 6 большей дисперсии, и f=6 меньшей дисперсии (количество точек или измерений) для теоретических и экспериментальных данных при при 5% уровне значимости.

Данные показывают, что адекватность теоретических значений, полученных на модели и экспериментальных значении, может считаться удовлетворительной, так как значения критериев Стьюдента и Фишера не превышают максимальных значений, а коэффициент корреляции показывает связь близко к функциональной между сравниваемыми результатами.

Выводы

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что при невозможности проведения натурных экспериментов, можно проводить теоретическое исследование, по предлагаемой методике т.к. коэффициент корреляции показывает связь близко к функциональной между сравниваемыми результатами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00793

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-38-00793

Список литературы:

1. Байдевлятов А., Прокудин А. и др. Предельно–допустимое содержание микроорганизмов в птичниках // Птицеводство, 1983. — №6. – С. 32 .–33.

2. Готовский Д.Г. Сравнительная эффективность антибактериального действия некоторых дезинфектантов, применяемых в виде аэрозолей в присутствии птицы / Ученые записки ВГАВМ, 2004. – Том. 40. Ч.1 .– С. 45–46.

3. Готовский Д.Г. Влияние искусственных санирующих аэрозолей на микрофлору птичников и резистентность цыплят / Зоотехническая наук Беларуси // Сборник науч. трудов к 55–летию института животноводства, 2004. – С. 354–357.

4. Кузнецов А.Ф. Гигиена содержания животных: Справочник. – СПб.: Изд–во «Лань», 2003. – с.43–51.

5. Палий, А.П. Дезинфицирующие средства в системе противоэпизоотических мероприятий. / Палий А.П., Родионова Е.А. // Известия Великолукской Государственной Сельскохозяйственной Академии. 2017. С. 24–33

6. Довлатов И.М. Установки для обеззараживания птичников аэрозолем / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2 (23). С. 61-66.

7. Юферев Л.Ю., Довлатов И.М. Повышение эффективности энерго-ресурсосберегающей системы уф облучения / Вестник ВИЭСХ. 2017. № 2 (27). С. 70-75.

8. Довлатов И.М. Факторы, влияющие на эффективность источников уф излучения / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2 (23). С. 41-44.

9. Довлатов И.М., Юферев Л.Ю. Бактерицидные облучатели и установки для обеззараживания животных и птицы / Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 4 (25). С. 27-34.

10. Довлатов И.М., Рудзик Э.С. Улучшение микроклимата в сельскохозяйственном помещении за счет обеззараживания воздуха ультрафиолетовым излучением / Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3 (28). С. 47-52.

11. Н.А. Фукс Механика аэрозолей М.: Издательство академии наук СССР 1955.–351с.

12. Гатаулин А.М. Система прикладных статистико–математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. Ч.2 / А.М. Гатаулин.– М.: Изд–во МСХА, 1992. – 192 с.

13. Гатаулин А.М. Система прикладных статистико–математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. Ч.1. / А.М. Гатаулин. – М.: Изд–во МСХА, 1992. – 160 с.

14. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.:Машиностроение, 1981. – 184 с

References

1. Baidavletov A., Prokudin A. and others. Maximum permissible content of microorganisms in the poultry // Poultry, 1983. - No 6. - P. 32 .-33.

2. Gotovsky D. G. Comparative effectiveness of antibacterial action of some disinfectants used in the form of aerosols in the presence of poultry / Scientific notes VGAVM, 2004. – Thom. 40. Part 1 .- P. 45-46.

3. Gotovsky D. G. Influence of artificial sanitizing aerosols on microflora of poultry houses and resistance of chickens / Zootechnical Sciences of Belarus // Collection of scientific works. proceedings to the 55th anniversary of the Institute of animal husbandry, 2004. - P. 354-357.

4. Kuznetsov, A. F. the Hygiene of the animals: a Handbook. – SPb.: Publishing house "LAN", 2003. - p. 43-51.

5. Paliy, Disinfectants in the system of anti-epizootic measures. / Paliy A. P., Rodionova, E. A. // Proceedings Of The Velikie Luki State Academy Of Agriculture. 2017. P. 24-33

6. Dovlatov I. M. Installations for disinfection of poultry houses with aerosol / Innovations in agriculture. 2017. No 2 (23). P. 61-66.

7. Yuferev L. Yu., Dovlatov, I. M. improving the efficiency of energy-resource-system UV / Bulletin of viesh. 2017. No 2 (27). P. 70-75.

8. Dovlatov, I. M. Factors affecting the efficiency of UV radiation sources / Innovations in agriculture. 2017. No 2 (23). P. 41-44.

9. Dovlatov I. M., Yuferev L. Bactericidal irradiators and installations for disinfection of animals and poultry / Innovations in agriculture. 2017. No 4 (25). PP. 27-34.

10. Dovlatov I. M., Rudzik E. S. Improvement of microclimate in agricultural premises due to air disinfection by ultraviolet radiation / Innovations in agriculture. 2018. No 3 (28). Pp. 47-52.

11. N.. Fuchs, Mechanics of aerosols, Moscow: publishing house of the Academy of Sciences of the USSR from 1955.- 351s.

12. Gataulin M. system of applied statistical and mathematical methods of processing of experimental data in agriculture. CH. 2 / M. Gataulin.– M.: publishing house of ICCA, 1992. - 192 p.

13. Gataulin M. system of applied statistical and mathematical methods of processing of experimental data in agriculture. Part 1. / A. M. Gataulin. – M.: publishing house of ICCA, 1992. - 160 p.

14. The Planning of the experiment in the study of technological processes /. - Moscow: Mechanical Engineering, 1981. - 184 p.