ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2022 № 5 (59)

Наука в центральной России

В журнале публикуются статьи проблемного и научно-практического характера, представляющие собой результаты завершённых исследований, обладающие новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала

ФГБНУ ВНИИТиН

Александру Ивановичу Петрашеву *70* лет*!*

Петрашев А. И. — доктор технических наук, главный научный сотрудник, работает в должности заведующего лабораторией хранения и защиты техники от коррозии с ***2013*** года и по настоящее время.

*Уважаемый **Александр Иванович!***

Сотрудники ФГБНУ ВНИИТиН сердечно поздравляют Вас с ***70***-летним юбилеем. Большого уважения заслуживает Ваш вклад в становление и развитие нашего института, в стенах которого Вы прошли путь от рядового инженера до доктора наук и заведующего лабораторией. Все Ваши достижения и жизненные успехи стали возможны, благодаря огромному трудолюбию, высокой ответственности, целеустремленности и принципиальности в решении поставленных задач.

В научном сообществе и среди сельскохозяйственных товаропроизводителей Вы известны, как выдающийся ученый-коррозионист и высококвалифицированный специалист по разработке и применению технических средств для консервации и хранения сельскохозяйственных машин и оборудования, человек широкого кругозора и оригинальных решений. Вы входите в редакционную коллегию научно-производственного периодического журнала «Наука в центральной России». Ваши мудрость и дальновидность, незыблемая жизненная позиция и объективность не раз становились определяющими при решении разных вопросов, возникающих как внутри лаборатории, которую Вы возглавляете, так и в институте, на ученом и диссертационном советах, в редакционной коллегии.

В этот замечательный день желаем Вам новых профессиональных свершений и побед, крепкого здоровья, семейного благополучия и успехов во всех Ваших начинаниях!

Директор института, главный редактор ***А.Н. Зазуля***

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA» **12+**

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris

№ 5 (59), 2022 г.

Основан в 2012 г. It is based in 2012.

Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

Учредитель и издатель журнала:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» **(ФГБНУ «ВНИИТИН»)**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. Отделом ФГБНУ «Росинформагротех»

ЖАЛНИН Эдуард Викторович – заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор

ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович – главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ

ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич – главный редактор, директор ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

КАЗАКЕВИЧ Пётр Петрович – заместитель председателя президиума Национальной академии наук Республики Беларусь, член-корреспондент национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, иностранный член РАН

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН

КОВАЛЕВ Михаил Михайлович – доктор технических наук, заслуженный изобретатель РСФСР, академик российской академии естественных наук, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ

ЛАРЮШИН Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»

ЛОБАЧЕВСКИЙ Яков Петрович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН

МАНАЕНКОВ Константин Алексеевич – директор Инженерного института ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет, доктор технических наук, профессор

МАШКОВ Алексей Николаевич – зам. главного редактора, кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН

МИЩЕНКО Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, ФГБОУ ВО ТГТУ

НАГОРНОВ Станислав Александрович – зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

BIANCO Vincenzo – Department of mechanical, energy, management end transportation engineering, Univercity of Genoa, Italy, Ph.D., Associate Professor

VIGDOROVITSCH Michael – Geschäftsführer ANGARA GmbH, Düsseldorf, Deutschland, doktor fiziko-matematicheskih nauk (Doktor der physikalischen und mathematischen Wissenschaften) Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry Russian Academy of Sciences

Редакция

Журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia»

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Главный редактор: Зазуля А.Н.; заместители главного редактора: Нагорнов С.А., Машков А.Н.

№5 (59). Дата выхода в свет 31.10.2022. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская обл., г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru

Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.

Печатное издание журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г.

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2022

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 5 (59), 2022 г.

Основанв 2012 г. It is based in 2012.
Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

АНАШКИН Александр Витальевич – ведущий научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук

ВЕДИЩЕВ Сергей Михайлович – заведующий кафедрой «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, доцент

ДОРОВСКИХ Владимир Иванович – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук, доцент

ЕРОХИН Геннадий Николаевич – заведующий лабораторией использования зерноуборочной техники ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

ПЕТРАШЕВ Александр Иванович – заведующий лабораторией хранения и защиты техники от коррозии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук

РЫКОВ Виктор Борисович – главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства структурного подразделения «СКНИИМЭСХ» ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», доктор технических наук

ТИШАНИНОВ Николай Петрович – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

УЛЮКИНА Елена Анатольевна профессор кафедры материаловедения и технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, доцент

ХАКИМОВ Рамиль Тагирович – заведующий кафедрой «Автомобили, тракторы и технический сервис» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», доктор технических наук, доцент

ХОХЛОВ Алексей Леонидович – заведующий кафедрой «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», доктор технических наук, профессор

ЧЕРНИКОВ Дмитрий Вячеславович – ведущий системный администратор ФГБНУ ВНИИТиН

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – главный научный сотрудник лаборатории использования топливно-энергетических ресурсов в стационарной энергетике сельского хозяйства ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

ЩЕРБАКОВ Сергей Юрьевич – заведующий кафедрой «Технологические процессы и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», кандидат технических наук, доцент

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

МЕТОДЫ, СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Петрашев А.И., Клепиков В.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЖЕКТОРНЫХ ПНЕВМОПИСТОЛЕТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КОНСЕРВАЦИИ СЕЛЬХОЗМАШИН..... 7

Тишанинов К.Н.
ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....20

Везиров А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ С ТЕПЛИЧНЫМ ГРУНТОМ..... 28

Михальченков А.М., Феськов С.А., Кубышкин А.В.
ИЗНОСЫ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА СКОРОСТНЫХ ПЛУГОВ ПСКУ ..... .37

Зубарев А.Г., Кукушкин И.Ю., Ларюшин Н.П., Шуков А.В.
ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОШНИКА ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ С ШАРНИРНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ НАПРАВИТЕЛЯ СЕМЯН И РЫХЛИТЕЛЯ ПОЧВЫ С КОРПУСОМ 48

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Тишанинов Н.П.
ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИКИ 53

МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АГПРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Бралиев М.К., Давлетьяров А.Ш., Завражнов А.И., Ведищев С.М., Траисов Б.Б., Есенгалиев К.Г.
УСТАНОВКА ДЛЯ БОНИТИРОВКИ И ИСКУССТВЕННОГО ОСЕМЕНЕНИЯ ОВЕЦ 62

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ, ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О.
ОБОСНОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДНО-НАПОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН РАБОТАЮЩИХ В ДВИЖЕНИИ ПО КРУГУ ..... .69

МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА, ЭКОЛОГО-РЕАБИЛИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Иванова Е.П., Данилин С. И., Скоморохова А. И., Никитин Д. В., Родионов Ю. В., Гливенкова О.А.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХМЕЛЕВО-ТОПИНАБУРНОЙ ЗАКВАСКИ..... ...77

СВОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СРЕД И МАТЕРИАЛОВ, КАК ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ

Зазуля А.Н., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ НА СКЛАДАХ В ЛЕЧЕБНО-ИСПРАВИТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ ПЕНИТЕНЦИАРНОЙ СИСТЕМЫ..... .86

ЦИФРОВЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю., Левина Л.В., Коваленко И.А.
КОНЦЕПЦИЯ «УМНОГО НЕФТЕСКЛАДА» НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ..... 94
Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю., Левина Л.В., Коваленко И.А.
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОПЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ..... .102

МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, ДОЛГОВЕЧНОСТИ, ДИАГНОСТИКИ, ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА, ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ, РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Быконя А.Н., Псарев Д.Н., Киба М.Р.
МЕТОД РАСЧЕТА УСТАНОВОК ИНФРАКРАСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ.....110

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ, МЕТАЛЛОВ, ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ, ИЗДЕЛИЙ, МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ, ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Чернышева А.В., Черепанова А.Д., Колобков Б.И., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОДИЗЕЛЬНЫХ И СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ.....120

CONTENTS

METHODS, INSTRUMENTS FOR RESEARCH AND TESTING MACHINERY, EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Petrashev A., Klepikov V.
RESULTS OF THE STUDY OF PNEUMATIC EJECTOR GUNS FOR USE THE PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINES 7
Tishaninov K.
THE MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF GRAIN CLEANING EQUIPMENT 20
Vezirov A.
PERFORMANCE STUDY OF MACHINES FOR WORKING WITH HOTHOUSE SOIL 28
Mikhalchenkov A., Feskov S., Kubyshkin A.
WEAR OF PARTS OF THE WORKING BODY OF THE PSKU HIGH-SPEED PLOW 37
Zubarev A., Kukushkin I., Laryushin N., Shukov A.
FIELD STUDIES OF THE COULTER OF A GRAIN SEEDER WITH A HINGED CONNECTION OF A SEED GUIDE AND A RIPPER SOILS WITH BODY 48

CERTIFICATION AND STANDARDIZATION OF TECHNOLOGIES AND TECHNICAL FACILITIES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Tishaniov N.
DISTINCTIVE FEATURES OF THE INTERSTATE STANDARD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF EQUIPMENT.....53

MECHANIZED, AUTOMATED AND ROBOTIZED TECHNOLOGIES AND HARDWARE FOR AGRICULTURAL INDUSTRIAL COMPLEX

Braliev M., Davletyarod A., Zavrazhnov A., Vedishchev S., Traisov B., Esengaliev K.
INSTALLATION FOR BONITIZATION AND ARTIFICIAL INSEMINATION OF SHEEP S 62

METHODS AND TOOLS FOR OPTIMIZING TECHNOLOGIES, PARAMETERS AND OPERATION MODES OF MACHINERY AND EQUIPMENT

Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A.
JUSTIFICATION OF IMPROVEMENT OF THE FLOW REGULATOR OF SPRINKLERS OF MULTI-SUPPORT SPRINKLERS.....69

METHODS, TECHNOLOGIES AND TECHNOLOGIES FOR ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY, PROCESSING AND UTILIZATION OF AGRICULTURAL WASTE, ENVIRONMENTAL AND REHABILITATION PROCESSES AND TECHNOLOGIES

Ivanova E., Danilin S., Skomorohova A., Nikitin D., Rodionov Y., Glivenkova O.
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF HOP AND TOPINABUR STARTER.....77

PROPERTIES OF AGRICULTURAL ENVIRONMENTS AND MATERIALS AS OBJECTS OF TECHNOLOGICAL IMPACTS, TRANSPORTATION AND STORAGE

Zazulya A., Makarov V., Makarova O., Gasparyan S.
IMPROVING THE ORGANIZATION OF FOOD STORAGE IN WAREHOUSES IN THE MEDICAL AND CORRECTIONAL INSTITUTION OF THE PENITENTIARY SYSTEM 86

DIGITAL INTELLIGENT TECHNOLOGIES, AUTOMATED AND ROBOTIC EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Levin M., Nagornov S., Levina E., Levina L., Kovalenko I.

THE CONCEPT OF «SMART OIL STORAGE» BASED ON MACHINE VISION TECHNOLOGIES.....94

Levin M., Nagornov S., Levina E., Levina L., Kovalenko I.

FUEL TEMPERATURE MEASUREMENT METHOD USING MACHINE VISION 102

METHODS AND TECHNICAL MEANS FOR ENSURING RELIABILITY, DURABILITY, DIAGNOSIS, TECHNICAL SERVICE, TECHNOLOGY OF HARDENING, REPAIR AND RESTORATION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

Li R., Rizaeva Y., Bykonya A., Psarev D., Kiba M.

METHOD OF CALCULATION OF INFRARED TREATMENT UNITS OF POLYMER COATINGS DURING BODY RECOVERY COMPONENTS OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT 110

METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF MATERIALS, METALS, TECHNICAL LIQUIDS, PRODUCTS, MACHINES, EQUIPMENT, PRODUCTION LINES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Chernysheva A., Cherepanova A., Kolobkov B., Kornev A., Nagornov S.

A PHYSICO-CHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF BIODIESEL AND COMPOSITION FUELS.....120

Тип статьи: научная
УДК 631.12: 667.661.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-7-19

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЖЕКТОРНЫХ ПНЕВМОПИСТОЛЕТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КОНСЕРВАЦИИ СЕЛЬХОЗМАШИН

Александр Иванович Петрашев [1]***, Виктор Валерьевич Клепиков*** [2]
[1, 2] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*
[1] vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, Researcher ID: ABD-2066-2021, Scopus ID:57211665518
[2] viktrikt@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Петрашев
Corresponding author: Alexandr Petrashev

Реферат. *Для нанесения антикоррозионных материалов с крупными наполнителями применяют эжекторные пневмопистолеты GAV-167 и Voylet PS-5. Пневмопистолеты имеют приемную камеру для ввода материала, эжектор с воздушным соплом, камеру смешения и распылительное сопло. При подаче сжатого воздуха через эжектор в приемной камере создается разрежение. Исследованием установлено, что давление разрежения в приемной камере возрастало при увеличении давления распыла, размера распылительного сопла и уменьшении длины приемной камеры. Изучен процесс распыла технических жидкостей условной вязкостью от 11 до 80 с по вискозиметру ВЗ-4. Отмечено низкое качество распыла жидкостей пневмопистолетом GAV-167. Расход жидкости при распыле пневмопистолетом Voylet PS-5 зависел от длины приемной камеры. При увеличении длины камеры с минимальной до максимальной расход повышался в 2 раза. Предложено, для распыления маловязкого материала устанавливать максимальную длину приемной камеры. Для распыления вязкого материала необходимо устанавливать минимальную длину камеры. Наблюдения показали, что на минимальной длине приемной камеры степень диспергирования материала была выше. Проведена модернизация пневмопистолета Voylet PS-5 на принудительную подачу материала по шлангу из напорного бака. Разработаны гибкая насадка и удлинитель для нанесения антикоррозионного материала на труднодоступные поверхности машин.*

Ключевые слова: *эжекторный пневмопистолет, давление разрежения, расход жидкости, антикоррозионная защита.*

RESULTS OF THE STUDY OF PNEUMATIC EJECTOR GUNS FOR USE IN THE PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINES

Alexandr Petrashev [1]***, Victor Klepikov*** [2]
[1, 2] *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1] vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, Researcher ID: ABD-2066-2021, Scopus ID:57211665518
[2] viktrikt@mail.ru

Abstract. *Ejector pneumatic pistols such as the GAV-167 and Voylet PS-5 used for the application of anticorrosive materials with large fillers. Pneumatic pistols have a receiving chamber for material input, an ejector with an air nozzle, a mixing chamber and a spray nozzle. When compressed air supplied through the ejector, a vacuum created in the receiving chamber. The research found that the vacuum pressure in the receiving chamber increased with an increase in the spray pressure, the size of the spray nozzle and a decrease in the length of the receiving chamber. The process of spraying technical liquids*

with a conditional viscosity from 11 to 80 seconds according to the VZ-4 viscometer has studied. The low quality of liquid spraying of the GAV-167 pneumatic pistol was noted. The liquid consumption when sprayed with a Voylet PS-5 pneumatic pistol depended on the length of the receiving chamber. With an increase in the length of the chamber from the minimum to the maximum, the consumption increased by 2 times. It proposed to set the maximum length of the receiving chamber for spraying low-viscosity material. To spray viscous material, it is necessary to set the minimum length of the chamber. Observations showed that the degree of dispersion of the material was higher at the minimum length of the receiving chamber. The Voylet PS-5 pneumatic pistol has upgraded to force the supply of material through a hose from a pressure tank. A flexible nozzle and extension have developed for applying anticorrosive material to hard-to-reach surfaces of machines.

Keywords: *ejector pneumatic pistol, vacuum pressure, liquid consumption, anticorrosion protection*.

Для цитирования: Петрашев А.И., Клепиков В.В. Результаты исследования эжекторных пневмопистолетов для применения при консервации сельхозмашин // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 7-19. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-7-19.

For citation: Petrashev A., Klepikov V. Results of the study of pneumatic ejector guns for use in the protection of agricultural machines. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 7-19. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-7-19.

Введение. По окончании полевых работ изготовленные из углеродистых сталей поверхности рабочих механизмов сельскохозяйственных машин нуждаются в антикоррозионной защите. Как правило, антикоррозионная защита выполняется путем нанесения консервационных составов (консервантов) в процессе подготовки машин к длительному хранению. Следует отметить, что потребность машин в консервантах носит регулярный характер – на МТП среднего сельхозпредприятия их требуется ежегодно от 200 кг. Положительный эффект от применения мер антикоррозионной защиты неочевиден и проявляется спустя несколько лет после начала эксплуатации машины в виде повышения безотказности, технического ресурса и снижения затрат на ремонты [1]. Финансовая нестабильность сельхозпредприятий не позволяет им ежегодно закупать дорогостоящие промышленные антикоррозионные материалы по цене от 250 до 500 руб/кг на сумму от 50 тыс. руб. Для того чтобы минимизировать статью расходов на приобретение средств для консервации сельхозмашин, технические специалисты готовят доступные консерванты собственными силами с привлечением отработанных масел, битума, бензина, дизтоплива, пушечного сала или отходов нефтехимии [2]. Консерванты собственного приготовления часто содержат нерастворенные примеси, мелкие фрагменты упаковки, растительные включения и т.п. Поэтому они нуждаются в тщательном фильтровании на специализированных устройствах, которых сельхозпредприятия не имеют.

Для механизированного нанесения консервантов на поверхности сельхозмашин рентабельны окрасочные установки с пневматическими краскораспылителями, оснащенными распылительными головками [3]. При использовании краскораспылителей для нанесения консервантов собственного приготовления достаточно часто наблюдаются технологические отказы из-за засорения материальных сопел, через которые состав поступает на распыление сжатым воздухом.

В зависимости от места смешения консерванта (или краски) с воздухом распылительные головки подразделяются на головки внешнего и внутреннего смешения [4]. В краскораспылителях с внешним смешением воздушное сопло расположено концентрично материальному и имеет форму кольцевого отверстия. Торцевые стороны обоих сопел находятся практически в одной плоскости, поэтому краска и воздух истекают из сопел в атмосферу. При включении краскораспылителя сжатый воздух с большой скоростью выходит из кольцевого отверстия и создает разрежение перед материальным соплом. Краска подсасывается в зону разрежения, где диспергируется на мелкие капли и образует факел движущегося аэрозоля. Краска (или консервант) в факеле аэрозоля достигает окрашиваемой поверхности и осаждается на ней, образуя покрытие. К краскораспылителям с головками внешнего смешения относятся КРП-11 (с верхним наливным бачком), СО-71 (с верхним бачком и нижним штуцером), Matrix 57316 (с нижним металлическим

бачком) и др. Ни рисунке 1 показаны эти краскораспылители. Они хорошо распыливают жидкую краску с повышенными до 22 % потерями на туманообразование [3].

В краскораспылителях с внутренним смешением краска под давлением подается в полость головки, где вступает в контакт со сжатым воздухом. Необходимость подачи краски под давлением обусловлена противодавлением, которое создает воздух в зоне смешения. Увлекаясь потоком воздуха, краска движется внутри головки к распылительному соплу. В узком отверстии сопла скорость воздуха возрастает, и краска дробится на капли. Как правило, степень дробления краски головками внутреннего смешения меньше, чем головками внешнего смешения. Так как их факел состоит из грубодисперсных капель, то потери краски на туманообразование тоже меньше [5]. Однако, из-за низких декоративных свойств покрытий, формируемых грубодисперсным аэрозолем, головки внутреннего смешения при окраске машин не используют.

КРП-11 СО-71 Matrix 57316

Рисунок 1 – Краскораспылители с головками внешнего смешения

К консервационным покрытиям декоративные требования, относительно блеска, фактуры и класса, не предъявляются. Поэтому головки внутреннего смешения находят применение при нанесении консервантов на поверхности труднодоступных узлов, внутренних полостей и в условиях ветровой нагрузки на открытых площадках [4]. Такого типа головки и насадки монтируются на краскораспылителях КРП-11 или СО-71 при комплектовании ими компактного аппарата ПРК-4, передвижной установки для распыления красок и мастик ПРК-3 [6], навесного консервационного агрегата УЛН-03 (рисунок 2) и других.

ПРК-4 ПРК-3 УЛН-03

Рисунок 2 – Консервационное оборудование с головками внутреннего смешения

Общим недостатком головок внешнего и внутреннего смешения, устанавливаемых на пневматических краскораспылителях, является малый диаметр материального сопла: 1,8 мм у КРП-11 и 2,1 мм у СО-71. Для выполнения покрасочных работ с тонкодисперсными лакокрасками

эти диаметры сопел являются оптимальными, но для нанесения автоконсервантов с наполнителями в виде резиновой крошки они не пригодны. Производители технологического оборудования для автосервиса предлагают наносить подобного вида автоконсерванты с помощью пневмопистолетов, снабженных воздушно-жидкостными эжекторами [7]. Принципиальная схема пневмопистолета с эжектором для подачи и распыления автоконсерванта показана на рисунке 3.

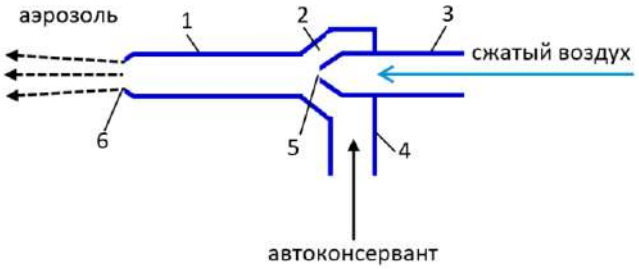


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства эжекторного пневмопистолета для нанесения автоконсерванта: 1 – камера смешения; 2 – приемная камера; 3 – воздушный канал; 4 – канал для ввода автоконсерванта; 5 – воздушное сопло; 6 – распылительное сопло

Пневмопистолет с эжектором относится к распылителям с внутренним смешением автоконсерванта и воздуха. Сжатый воздух, движущийся по каналу 3, ускоряется в узком сечении воздушного сопла 5 и создает разрежение в приемной камере 2. Под действием разрежения автоконсервант засасывается по каналу 4 и поступает в приемную камеру 2, где увлекается воздушным потоком. Та часть жидкости, которая втягивается в ядро воздушного потока, резко ускоряется, диспергируется воздухом на капли и движется по камере 1 смешения в виде аэрозоля. Другая часть жидкости поступает в пристенную зону камеры 1 смешения, где скорость воздушного потока невелика, и движется по ее стенке в виде кольцевого слоя. В камере 1 смешения происходит выравнивание давлений потоков воздуха и автоконсерванта, а кинетическая энергия смеси отчасти преобразуется в потенциальную энергию сжатия [8]. На выходе из узкого распылительного сопла 6 скорость воздушного потока возрастает. При этом кольцевой слой автоконсерванта, перемещаемый этим потоком, тоже ускоряется, а при сходе с кромки сопла 6 разрывается на капли. Соединяясь с воздушным потоком капли консерванта образуют аэрозольный факел распыла. Так как в пистолете с эжектором реализован способ внутреннего смешения, то факел распыла получается грубодисперсным. Степень дробления автоконсерванта на капли находится в обратной зависимости от сечения распылительного сопла 6 [5].

На рынке предлагаются разнообразные по исполнению и назначению пневмопистолеты с эжекторами для нанесения автоконсервантов (мовиля, мастики, антигравия), в их числе пневмопистолет Kraft KT-707055, пневмопистолет Voylet PS-5 и пневмопистолет GAV-167, показанные на рисунке 4.

Kraft KT-707055 Voylet PS-5 GAV-167

Рисунок 4 – Пневмопистолеты с эжектором для нанесения автоконсервантов

Пневмопистолет Kraft KT-707055 оснащен нижним наливным бачком на 0,5 л, к пневмопистолетам Voylet PS-5 и GAV-167 присоединяются жестяные евробаллоны на 1,0 л, наполненные автоконсервантами. Пневмопистолет Voylet PS-5 имеет регулируемую приемную камеру. Так как в пистолетах с эжекторами вводится (засасывается) автоконсервант под действием

разрежения в приемной камере, то возникновение противодавления воздуха в камере смешения может влиять на подачу автоконсерванта. Использование запасных евробаллонов, заранее заправленных автоконсервантом, способно сократить потери времени на их замену и повысить производительность процесса нанесения. Однако, широкое применение последних двух пневмопистолетов сдерживается дефицитностью евробаллонов, которые поставляются вместе с автоконсервантом по цене от 600 руб/шт [9]. Эта цена составляет, примерно, треть стоимости пневмопистолета. Отечественная полиэтиленовая тара из-под жидких напитков не годится для замещения евробаллонов из-за разности параметров резьбы на горловине.

Эжекторы находят применение в конструкциях струйных аппаратов и насосно-эжекторных систем, например, для транспортирования песчано-гравийной смеси [10], для отсоса газов и жидкости при нефтедобыче [11], для ввода реагента в промысловое оборудование [12]. В статье [10] показано, что при входе песчаного-гравийного потока в камеру смешения происходит падение давления, вызванное сопротивлением входа и разгоном потока. В работе [13] по результатам исследования газо-жидкостного эжектора выявлено, что эффективность процесса эжектирования снижается с увеличением величины отношения давления высоконапорной среды (воздуха) к давлению низконапорной среды (жидкости). При этом плотность потока жидкостно-газовой смеси:

$$\rho_{см} = \frac{K_{об}\rho_{ж} + \rho_{в}}{K_{об} + 1},$$

где $K_{об}$ – объемный коэффициент эжекции; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости; $\rho_{в}$ – плотность воздуха.

Объемный коэффициент эжекции:

$$K_{об} = \frac{G_{ж}\rho_{в}}{G_{в}\rho_{ж}},$$

где $G_{ж}$, $G_{в}$ – массовый расход соответственно низконапорной среды (жидкости), и высоконапорной среды (воздуха), м^3/с.

Михальченкова А.Н., исследуя процесс эжекции жидких сред [14], установила, что с увеличением плотности эжектируемой (всасываемой) жидкости коэффициент эжекции повышается, а при увеличении вязкости эжектируемой жидкости коэффициент эжекции снижается. По итогам исследования характеристик газо-газовых бездиффузорных струйных аппаратов Мазилевским И.И. получено, что длина камеры смешения, равная 4,7 ее диаметра ($4{,}7d_{кс}$ = 15 мм), обеспечивает наибольший напор струйного аппарата [15]. С увеличением коэффициента эжекции напор смеси газов снижается.

Проведенный анализ работ, посвященных изучению применимости эжекционных устройств, не выявил исследований по оценке влияния конструктивно-технологических параметров газо-жидкостных эжекторов на расход и качество распыления технических жидкостей различной вязкости, в т. ч. при нанесении консервационных покрытий.

Цель исследования – повышение технологической надежности и производительности работы эжекторных пневмопистолетов для применения при нанесении консервационных покрытий на рабочие механизмы сельхозмашин.

Материалы и методы

Исследования проводили в помещении при температуре воздуха 12-19 ^{o}C на 3-х моделях пневматических пистолетов-распылителей, оснащенных нижними всасывающими трубками:

краскораспылитель Matrix 57316 снабжен головкой внешнего смешения и сменными материальными соплами диаметрами $d_{с}$ = 1,5 и 1,8 мм;

пневмопистолет GAV-167 снабжен нерегулируемой приемной камерой и сменными распылительными соплами: круглым соплом $d_{с}$ = 9 мм, соплом для обработки внутренних полостей и экспериментальным овальным соплом 12х3 мм;

пневмопистолет Voylet PS-5 снабжен круглым соплом $d_{с}$ = 6 мм и приемной камерой, регулируемой от l_{min} (минимальная длина) до $l_{max} = l_{min}$ + 20 мм (максимальная длина).

Проведены работы по модернизации пневмопистолетов с целью замещения евробаллонов на отечественную полиэтиленовую тару (ПЭТ) из-под молочных продуктов с горловиной, соответствующей стандарту «38» для преформы. У пневмопистолета Voylet PS-5, имеющего

сборную металлическую гайку-крышку для крепления евробаллона, эта задача решена путем закрепления пластиковой крышки от горловины ПЭТ внутри гайки-крышки. Для пневмопистолета GAV-167 с пластиковым узлом крепления евробаллона изготовлен на 3D-принтере новый пластиковый узел с внутренней резьбой стандарта «38», которая соответствует горловине ПЭТ.

Общая схема исследования технологических параметров пневмопистолетов дана на рисунке 5. Изучали влияние давление распыливающего воздуха (давление распыла) $p_{сж}$ на величину давления разрежения (вакуума) $\Delta p_{в}$ в материальном сопле краскораспылителя Matrix 57316 и в приемной камере пневмопистолетов GAV-167 и Voylet PS-5.

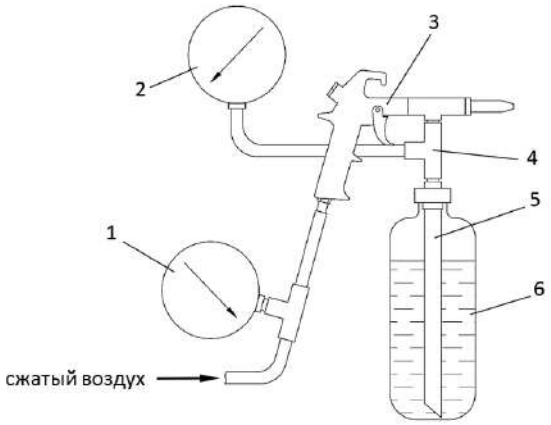


Рисунок 5 – Общая схема исследования параметров эжекторных пневмопистолетов: 1 – манометр давления распыла; 2 – вакуумметр; 3 – пневмопистолет; 4 – тройник; 5 – всасывающая трубка с гайкой-крышкой; 6 – ПЭТ с технической жидкостью

Для определения давления разрежения $p_{раз}$ – всасывающую трубку 5 вместе с баллоном 6 отсоединяли от тройника 4, а отверстие в тройнике 4 закрывали заглушкой. Посредством пневморедуктора с манометром устанавливали давление распыливающего воздуха: 100, 200, 300, 400 и 500 кПа. Измерение вакуума выполняли посредством вакуумметра ВП4-У класса точности 1,5 (ГОСТ 2405-80) с ценой деления 0,02 kgf/cm^2 (2 кПа). На каждом давлении распыла делали по 5 измерений вакуума. Величину давления разрежения рассчитывали, как среднее значение из полученных измерений.

Для исследования расхода технической жидкости – от пневмопистолета 3 отсоединяли тройник 4, а к пневмопистолету 3 присоединяли всасывающую трубку 5 с гайкой-крышкой, к которой крепили баллон 6 с жидкостью. Определяли расход q технической жидкости в зависимости от давления $p_{сж}$ распыливающего (сжатого) воздуха. В качестве технических жидкостей использовали дизельное топливо (ДТ), смесь отработанного моторного масла с 15 % дизтоплива (ММО+ДТ) и отработанное моторное масло (ММО). Вязгость определяли с помощью вискозиметра ВЗ-246 по методике ГОСТ 8420-74. Исследуемую техническую жидкость заливали в баллон (бачок) пневмопистолета (краскораспылителя) в объеме – V_1 = 1000 мл. Пневморедуктором устанавливали необходимое давление распыливающего воздуха (200, 300, 400 и 500 кПа), которое контролировали по манометру. Пневмопистолет направляли в открытую пластиковую камеру и распыливали жидкость в течение 20 с на стенку камеры. Время распыления – t контролировали по секундомеру. По истечении этого времени прекращали распыление и замеряли объем – V_2 жидкости, оставшийся в бачке (баллоне).

Распыленный объем – ΔV (мл) вычисляли как разность объемов:

$$\Delta V = V_1 - V_2.$$

Расход – q (мл/с) рассчитывали по формуле:

$$q = \Delta V / t.$$

При определении давления всасывания – $p_{вс.}$ в приемной камере пневмопистолета 3 в процессе распыления жидкости – работали по схеме, приведенной на рисунке 5.

Результаты и их обсуждение

Процесс истечения сжатого воздуха из воздушных сопел сопровождался появлением разрежения в материальном сопле краскораспылителя Matrix 57316 и в приемных камерах пневмопистолетов Voylet PS-5, GAV-167 (рисунок 6). Установлено, что величина давления разрежения $p_{вак}$ находится в прямой зависимости от давления распыла $p_{рас}$ и достаточно точно описывается эмпирическим полиноминальным уравнением второй степени. Обобщенное эмпирическое уравнение давления разрежения для всех графиков, отображенных на рисунке 6, имеет вид:

$$p_{вак} = -a \cdot 10^{-b} p_{рас}^2 + c \cdot p_{рас} + d,$$

где a, b, c, d – эмпирические коэффициенты линии тренда из диаграммы Exel.

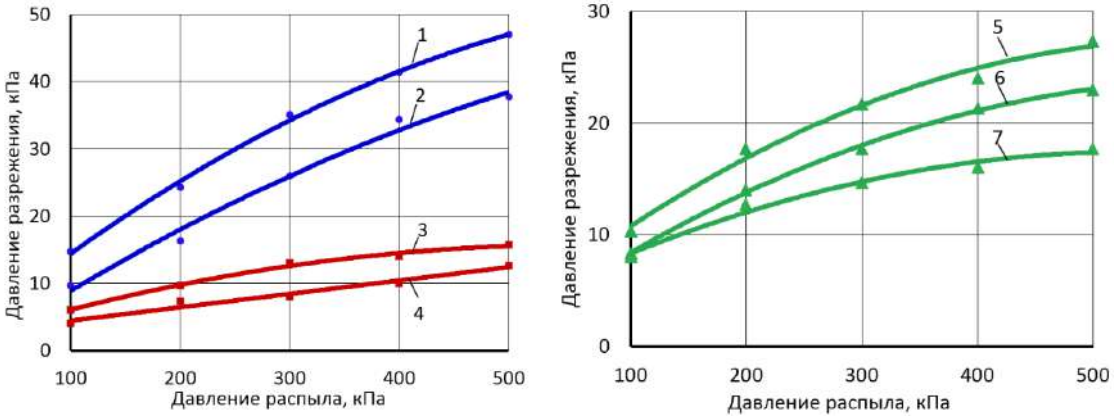


Рисунок 6 – Зависимость давления разрежения (вакуума) от давления распыла: пневмопистолет Voylet PS-5, сопло круглое d_c = 6 мм, минимальная длина приемной камеры – график 1, максимальная длина – график 2; краскораспылитель Matrix 57316, сопло круглое d_c = 1,5 мм – график 3, сопло круглое d_c = 1,8 мм – график 4; пневмопистолет GAV-167, сопло круглое d_c = 9 мм – график 5, сопло для порогов – график 6, сопло овальное 12х3 мм – график 7

Рассмотрим влияние конструктивных параметров исследованных распылителей на величину давления разрежения. Анализ проведем по данным, полученным при давлении распыла $p_{сж}$ = 400 кПа, которое указывается во всех паспортных данных на распылители.

Краскораспылитель Matrix 57316. Давление разрежения зависело от диаметра сопла. В сопле меньшего диаметра (d_c = 1,5 мм) его величина составила 14 кПа, что было немногим (на 4 кПа) выше, чем в сопле большего диаметра (1,8 мм). В данном краскораспылителе давление разрежения было меньше, чем в пневмопистолетах эжекторного типа.

Пневмопистолет Voylet PS-5. Диаметр распылительного сопла не менялся (d_c = 6 мм). Давление разрежения зависело от длины приемной камеры. Минимальная длина приемной камеры обеспечила разрежение в 41 кПа, максимальная – на 20 % меньше (32,4 кПа по линии тренда).

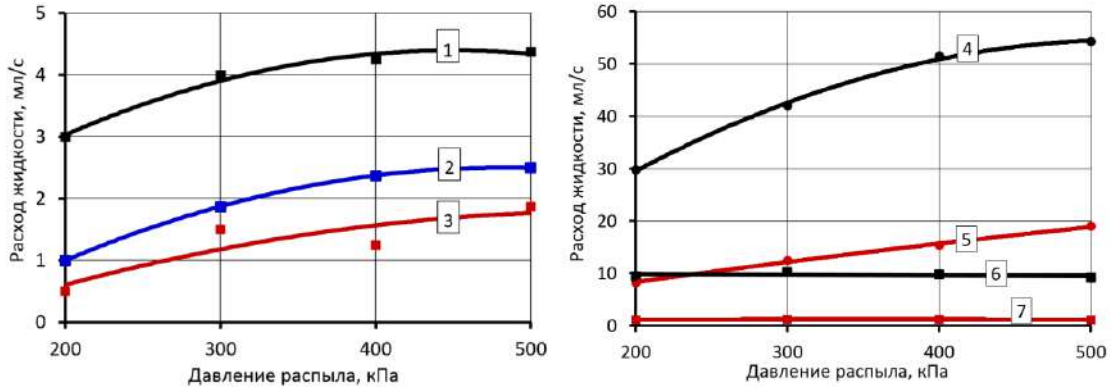
Пневмопистолет GAV-167. Конструкция приемной камеры не имела регулировку длины. Давление разрежения напрямую зависело от площади распылительного сопла. При исследовании круглого сопла площадью 64 мм^2 (d_c = 9 мм^2) получено давление разрежения 24 кПа, на овальном сопле площадью 29 мм^2 давление разрежения не превысило 16 кПа (было ниже на 33 %).

Проведенным исследованием эжекторных пневмопистолетов установлено, что давление всасывания (вакуум) в приемной камере возрастало при увеличении давления распыла и площади сечения распылительного сопла, а также при уменьшении длины приемной камеры.

На рисунке 7 приведены результаты исследования краскораспылителя Matrix 57316 и пневмопистолета GAV-167 по оценке влияния давления распыла на расход технических жидкостей различной вязкости. С увеличением давления распыла с 200 до 400 кПа отмечен рост расхода маловязкой жидкости (11 с ВЗ-4) при ее распылении из краскораскораспылителя Matrix 57316 (расход возрос до 4,6 мл/с). В случае распыления жидкости средней вязкости (37 с ВЗ-4)

расход из краскораспылителя не превысил 2,5 мл/с, а при распылении вязкой жидкости (69 с ВЗ-4) – 1,5 мл/с. Эксперименты показали, что краскораспылитель пригоден для работы с лакокрасочными и консервационными материалами небольшой вязкости.

Пневмопистолет GAV-167, снабженный круглым соплом (d_c = 9 мм^2), на маловязкой жидкости работал подобно струйному воздушно-жидкостному насосу, выкачивая жидкость из ПЭТ с расходом 50 мл/с (3,0 л/мин). При распылении вязкой жидкости ее расход из круглого сопла пневмопистолета понизился до приемлемого уровня – 10 мл/с, но качество распыла стало неудовлетворительным, так как исходящий воздушно-жидкостный поток состоял из крупных капель, сконцентрированных в центральной части факела распыла. Оснащение пневмопистолета овальным соплом позволило улучшить качество распыла маловязкой жидкости, снизив расход до 16 мл/с. Однако, данное сопло не пригодно для нанесения вязкой жидкости из-за низкого уровня расхода – не более 1,3 мл/с.



краскораспылитель Matrix 57316 пневмопистолет GAV-167

Рисунок 7 – Зависимость расхода от давления распыла и вязкости жидкости для краскораспылителя Matrix 57316: сопло круглое d_c = 1,8 мм – графики 1, 2, 3; для пневмопистолета GAV-167: сопло круглое d_c = 9 мм – графики 4, 5; сопло овальное 12х3 мм – графики 6, 7; условная вязкость жидкостей: 11 с ВЗ-4 – графики 1, 4, 6; 37 с ВЗ-4 – график 2; 69 с ВЗ-4 – графики 3, 5, 7

Результаты исследования расхода жидкостей при распылении пневмопистолетом Voylet PS-5 отражены на рисунке 8.

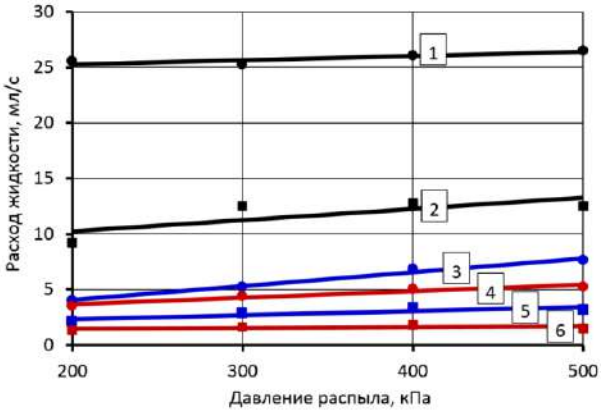


Рисунок 8 – Зависимость расхода от давления распыла и вязкости жидкости для пневмопистолета Voylet PS-5: длина приемной камеры минимальная – графики 1, 3, 4; длина приемной камеры максимальная – графики 2, 5, 6; условная вязкость жидкостей: 11 с ВЗ-4 – графики 1, 2; 37 с ВЗ-4 – графики 3, 5; 80 с ВЗ-4 – графики 4, 6

Обобщенное эмпирическое уравнение расхода q (мл/с) жидкости по всем графикам, отображенным на рисунке 8, имеет вид:

$$q = c \cdot p_{\text{рас}} + q_{\text{о}},$$

где c – эмпирический коэффициент линии тренда из диаграммы Exel, мл/(с·кПа); $q_{\text{о}}$ – расход жидкости при давлении распыла $p_{\text{рас}}$ = 200 кПа, мл/с.

По данным исследований, расход жидкости при распылении пневмопистолетом Voylet PS-5 в большей мере зависел от регулировки длины приемной камеры, чем от давления распыла. Так, при давлении распыла 400 кПа, расход жидкости, независимо от ее вязкости, возрастал почти в 2 раза при изменении регулировки длины приемной камеры с максимальной на минимальную.

Анализ результатов исследования позволил предложить для распыления маловязкой жидкости (11-20 с ВЗ-4) регулировать приемную камеру на длину ближе к максимальной, для распыления жидкости средней вязкости (30-40 с ВЗ-4) – на длину меньше средней, для распыления вязкой жидкости (менее 80 с ВЗ-4) – на минимальную длину. Наблюдения показали, что степень диспергирования жидкости была выше на минимальной длине приемной камеры. Визуально установлено, что с увеличением вязкости жидкости возрастали размеры капель в факеле распыла, повышалась толщина покрытия и увеличивался расход жидкости на 1 м^2 площади поверхности.

Проведены опыты по определению давления всасывания – $p_{\text{вс.}}$ в приемной камере пневмопистолета в процессе распыления маловязкой жидкости при минимальной регулировке длины приемной камеры. Установлено, что в момент поступления жидкости в приемную камеру давление всасывания падало с 41 кПа до 2 кПа, что вызывало пульсацию подачи жидкости и прерывистость факела распыла. Падение давления всасывания связано с повышением противодавления в приемной камере из-за роста сопротивления воздушному потоку, которое вызвано сужением сечения камеры смешения при поступлении в нее жидкости, а также торможением воздушного потока при передаче части кинетического импульса к потоку ускоряющейся жидкости. Это согласуется с выводами, приведенными в работе [10].

С целью обеспечения стабильности работы и качественного распыления консервантов различной вязкости проведена модернизация пневмопистолета Voylet PS-5, предусматривающая принудительную подачу консерванта в приемную камеру из напорного бака. Взамен всасывающей трубки и гайки-крышки к пневмопистолету прикреплен запорный кран с подпружиненной рукоятью (рисунок 9а), а на поверхности патрубка, представляющего собой камеру смешения, нарезана резьба. Запорный кран посредством шланга присоединен к напорному баку с консервантом. Подача консерванта в пневмопистолет осуществляется под давлением сжатого воздуха в напорном баке.

а)

б)

в)

Рисунок 9 – Варианты комплектования эжекторного пневмопистолета Voylet PS-5:
а) – певмопистолет с запорным краном; б) – с гибкой насадкой; в) – с удлинителем

В результате проведенной модернизации пневмопистолета Voylet PS-5 изменен способ подачи в него консерванта из эжекторного (подача консерванта за счет всасывания) в инжекторный (подача консерванта под давлением). При этом приемная камера пневмопистолета фиксируется на минимальной длине, обеспечивающей мелкодисперсное распыление консерванта. Чтобы включить пневмопистолет в работу, одной рукой нажимают на его курок и подают в камеру смешения сжатый воздух, а другой – на рукоять запорного крана и подают консервант. Возможна фиксация курка пневмопистолета во включенном состоянии с постоянной подачей сжатого воздуха, при этом его работой управляют посредством включения и выключения запорного крана. Расход консерванта, степень его диспергирования и производительность нанесения регулируют путем изменения давлений воздуха на его распыл и на выдачу из напорного бака.

Для расширения технологических возможностей по применению пневмопистолета, разработаны и изготовлены гибкая насадка (рисунок 9б) и удлинитель с овальным соплом (рисунок 9в), которые навинчиваются на выполненную резьбовую часть патрубка пневмопистолета. Гибкая насадка предназначена для нанесения консерванта в закрытые полости порогов, лонжеронов и коробов автомобиля. Удлинитель – для нанесения консерванта на днище и арки колес автомобиля, а также для обработки консервантом труднодоступных узлов сельхозмашин. Применение удлинителя удаляет факел распыла от зоны дыхания работающего оператора и приближает его к поверхности консервируемого узла. В результате улучшаются условия работы оператора, и снижаются потери консерванта от ветровой нагрузки, воздействующей на факел распыла. Следует учесть, что достаточно большой диаметр проходного отверстия (6 мм) для консерванта позволят исключить засорение пневмопистолета и сбои в его работе. Тем самым обеспечивается высокий уровень технологической надежности процесса пневмонанесения консервационных покрытий на узлы сельхозмашин.

Заключение

Применение краскораспылителей с головками внешнего и внутреннего смешения, имеющих материальные сопла малого диаметра 1,5-2,1 мм, сопряжено с частыми технологическими отказами при нанесении консервантов, которые содержат крупнодисперсные наполнители, добавки или неотфильтрованные включения. Более приемлемыми для нанесения таких консервантов, расфасованных в жестяные евробаллоны вместимостью 1 л, являются эжекторные пневмопистолеты, у которых площадь сечения отверстий для прохода консерванта на порядок больше, чем у краскораспылителей.

Выполнены работы по модернизации эжекторных пневмопистолетов для замещения евробаллонов на отечественную полиэтиленовую тару (ПЭТ) из-под молочных продуктов вместимостью 1 л с горловиной, соответствующей стандарту «38» для преформы. Проведены исследования по оценке влияния конструктивно-технологических параметров на работу эжекторных пневмопистолетов GAV-167, Voylet PS-5 и краскораспылителя Matrix 57316 при распылении технических жидкостей различной вязкости. Исследованием эжекторных пневмопистолетов установлено, что давление разрежения в приемной камере возрастало до 41 кПа при увеличении давления распыла и уменьшении длины приемной камеры, а также при увеличении площади сечения распылительного сопла.

Эксперименты по распылению технических жидкостей показали, что краскораспылитель Matrix 57316 пригоден для работы с лакокрасочными и консервационными материалами небольшой вязкости. Пневмопистолет GAV-167, снабженный круглым соплом (d_c = 9 мм^2), смог распыливать вязкую жидкость (69 с ВЗ-4) с расходом 10 мл/с только на крупные капли (неудовлетворительное качество распыла). Расход жидкости при распылении пневмопистолетом Voylet PS-5 в большей мере зависел от регулировки длины приемной камеры, чем от давления распыла. Так, при давлении распыла 400 кПа, расход жидкости, независимо от ее вязкости, возрастал почти в 2 раза при изменении регулировки длины приемной камеры с максимальной на минимальную. Предложено для распыления маловязкого консерванта (11-20 с ВЗ-4) регулировать приемную камеру на длину ближе к максимальной, для распыления консерванта средней вязкости (30-40 с ВЗ-4) – на длину меньше средней, для распыления вязкого консерванта (менее 80 с ВЗ-4) – на минимальную длину. Наблюдения показали, что на минимальной длине приемной камеры степень диспергирования консерванта была выше.

Для обеспечения стабильности работы и качественного распыления консервантов различной вязкости, пневмопистолет Voylet PS-5 переоборудован на их принудительную подачу под давлением из напорного бака. Разработаны гибкая насадка к этому пневмопистолету для нанесения консерванта в закрытые полости автомобиля и удлинитель – для нанесения консерванта на днище и арки колес автомобиля, а также для обработки консервантом труднодоступных узлов сельхозмашин.

Список источников

1. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И. Практика защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в современных условиях // Технология металлов. 2000. № 8. С. 14-20. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (дата обращения 20.09.2022).

2. Петрашев А.И., Зазуля А.Н., Клепиков В.В. Доступный консервант для почвообрабатывающей техники // Сельский механизатор. 2019. № 2. С. 36-37. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41245346 (дата обращения 20.09.2022).

3. Экспериментальные закономерности пневмораспыления консервационных материалов / А.И. Петрашев, В.Д. Прохоренков, В.В. Клепиков, Ф.Д. Таха // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 59-63. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24345815 (дата обращения 20.09.2022).

4. Яковлев А.Д., Евстигнеев В.Г., Гисин П.Г. Оборудование для получения лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1982. 192 с.

5. Петрашев А.И. Гибкая насадка для распыления консервационных составов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2004. № 1. С. 27-28. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=38470516 (дата обращения 20.09.2022).

6. Петрашев А.И. Пневматическая установка для нагрева и распыления вязких красок и мастик в условиях АПК // Практика противокоррозионной защиты. 2001. № 4 (22). С. 23-26. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (дата обращения 20.09.2022).

7. Все инструменты. Пистолеты для нанесения покрытий. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/pnevmoinstrument/pnevmopistolety/drugie/ (дата обращения 20.09.2022).

8. Дубровин И., Дубровин Н. Этот старый новый струйный аппарат. Газета: Энергетика и промышленность России. 2009, № 13 (129). [Электронный ресурс]. – URL: https://www.eprussia.ru/epr/129/10010.htm (дата обращения 20.09.2022).

9. Ozon.ru. Антикор Евробаллон [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ozon.ru/category/antikor-evroballon/ (дата обращения 20.09.2022).

10. Спиридонов Е.К., Якубов Г.Г., Хабарова Д.Ф. Гидроструйный эжекционный гидрометатель сыпучих материалов. Рабочий процесс и характеристики // Вестник Южно-Уральского ГУ. Серия «Машиностроение». 2020. Т. 20, № 1. С. 47-54. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42545101 (дата обращения 20.09.2022).

11. Дроздов А.Н., Демьянова JLA. Исследование работы струйного аппарата при различных длинах камеры смешения и эжектирования струей жидкости газожидкостной смеси // Нефтепромысловое дело, 1994, № 6. С 4-7. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35232357 (дата обращения 20.09.2022).

12. Способ ввода ингибитора в промысловый газопровод с помощью односоплового эжекционного струйного аппарата / П.П. Павленко, А.В. Поляков, С.И. Бойко, П.С. Кунина // Газовая промышленность, 2012. № 6 (677). С. 44-46. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=17804031 (дата обращения 20.09.2022).

13. Поляков А.В. Исследование и разработка устройств для подачи реагента в трубопровод при давлении реагента ниже давления в трубопроводе: автореф. дис. … канд. техн. наук. Краснодар, 2012. 22 с. – URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005484037.pdf (дата обращения 20.09.2022).

14. Михальченкова А.Н. Влияние конструктивных и режимных параметров работы вихревого аппарата на процесс эжекции жидких сред: автореф. дис. … канд. техн. наук. Москва, 2018. 16 с. – URL: https://diss.muctr.ru/media/autorefs/2018/09/Avtoreferat_Mikhalchenkova_A_N.pdf(дата обращения 20.09.2022).

15. Мазилевский И.И. Исследование характеристик газо-газовых бездиффузорных струйных аппаратов: автореф. дис. … канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2016. 23 с. – URL: https://www.smtu. ru/rus/nauka/dissovet/persons/mazylevsky/docs/p2/Avtoreferat.pdf (дата обращения 20.09.2022).

References

1. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I. The practice of corrosion protection of agricultural machinery in modern situation *Tehnologija metallov* = Metal technology. 2000; (8):14-20. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

2. Petrashev A.I., Zazulja A.N., Klepikov V.V. Available preservative for tillage machinery *Sel'skij mehanizator* = Agricultural machine operator. 2019; (2):36-37. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id =41245346 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

3. Petrashev A.I., Prohorenkov V.D., Klepikov V.V. et al. Experimental regularity of pneumatic spraying of conservation materials *Trudy GOSNITI* = Works of GOSNITI. 2015; (120):59-63. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=24345815 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

4. Jakovlev A.D., Evstigneev V.G., Gisin P.G. Equipment for obtaining colorful coatings L.: Himija; 1982. 192 p.

5. Petrashev A.I. Flex nozzle for spraying of conservation materials *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva* = Mechanization and electrification of agriculture. 2004; (1):27-28. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id= 38470516 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

6. Petrashev A.I. Pneumatic installation for heating and spraying of viscous compounds and mastics in agricultural conditions *Praktika protivokorrozionnoj zashhity* = Anticorrosive protection practice. 2001; 4(22):23-26. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

7. Vseinstrumenti.ru. Coating guns. Retrieved from https://www.vseinstrumenti.ru/ instrument/pnevmoinstrument/pnevmopistolety/drugie/ (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

8. Dubrovin I., Dubrovin N. This old new inkjet machine. *Gazeta: Jenergetika i promyshlennost' Rossii = Newspaper: Energy and industry of Russia*. 2009;13(129). Retrieved from https://www.eprussia.ru/epr/129/10010.htm (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

9. Ozon.ru. Antikor eurobalon. Retrieved from https://www.ozon.ru/category/ antikor-evroballon / (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

10. Spiridonov E.K., Jakubov G.G., Habarova D.F. Hydraulic jet ejection hydrometer of bulk materials. Workflow and characteristics *Vestnik Juzhno-Ural'skogo GU. Serija «Mashinostroenie»* = Bulletin of the South Ural State University. The series «Mechanical Engineering». 2020; 20(1):47-54. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=42545101 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

11. Drozdov A.N., Dem'janova JLA. Research of the operation of the jet apparatus at different lengths of the mixing chamber and ejection by a liquid jet of a gas-liquid mixture. *Neftepromyslovoe delo* = Oilfield business, 1994; (6):4-7. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=35232357 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

12. Pavlenko P.P., Poljakov A.V., Bojko S.I. et al. A method for introducing an inhibitor into a field gas pipeline using a single-layer ejection jet device *Gazovaja promyshlennost' = Gas industry*, 2012; 6(677):44-46. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=17804031 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

13. Poljakov A.V. Research and development of devices for supplying reagent to the pipeline at a reagent pressure below the pressure in the pipeline: dis. abstract… cand. of tech. scien.. Krasnodar, 2012. 22 p. Available at: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005484037.pdf (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

14. Mihal'chenkova A.N. Influence of design and operating parameters of the vortex apparatus on the process of ejection of liquid media: dis. abstract… cand. of tech. scien.. Moskva, 2018. 16 p. Available at: https://diss.muctr.ru/media/autorefs/2018/09/Avtoreferat_Mikhalchenkova_A_N.pdf (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

15. Mazilevskij I.I. Research of characteristics of gas-gas diffusorless jet devices: dis. abstract… cand. of tech. scien. Sankt-Peterburg, 2016. 23 p. Available at: https://www.smtu.ru/rus/nauka/dissovet/persons/mazylevsky/docs/p2/Avtoreferat.pdf (accessed 20.09.2022). (In Russ.).

Информация об авторах

А.И. Петрашев - доктор технических наук; В.В. Клепиков - кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Petrashev - Doctor of Technical Sciences; V. Klepikov - Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: А.И. Петрашев – обзор литературы, формулировка цели и выводов, анализ результатов исследований; В.В. Клепиков – проведение экспериментальных исследований, обработка полученных результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

A. Petrashev – literature review, formulation of the goal and conclusions, analysis of research results; V. Klepikov – conducting experimental studies, processing the results.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.09.2022 Принята к публикации (Accepted): 13.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-20-27

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Константин Николаевич Тишанинов [1]
[1]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]TishaninovKN@rambler.ru

Реферат. *Установлены основные направления исследований касающихся послеуборочной обработки зерна: к первой категории относятся методы очистки, ко второй конструкции сепараторов, к третьей технологии очистки зерна. Выделены наиболее часто используемые методы очистки. Установлено, что современные машины для первичной обработки зерна используют двухканальные аспирационные системы и три решета в одном ярусе решетного стана. Показаны различия и преимущества воздушно-решетных машин. Показана низкая эффективность пневмосепараторов как самостоятельных устройств для очистки зерна: при подаче зернового материала 7,9 т/ч чистота материала при использовании сепаратора ПС-15 выросла с 98,16% до 98,70%; при подаче 9,6 т/ч с 98,02% до 99,03%; при подаче 13,4 т/ч с 97,73% до 98,04%; при подаче 14,9 т/ч с 98,12% до 98,77%; при подаче 16,0 т/ч с 97,55% до 98,29%. Показана эффективность энергосберегающих гравитационных сепараторов ЗГ-5: содержание сорной примеси при его использовании уменьшилось до 0,67…0,98%, зерновой примеси до 0,87…1,25%. Обозначены основные цели различного зерноочистительного оборудования: основная очистка, выделение трудноотделимых примесей, получение качественных семян, энергосбережение. Приведены две основные новые технологии очистки зерна: фракционирование и дифференцирование зернового вороха. Даны рекомендации для разработчиков зерноочистительного оборудования.*

Ключевые слова: *послеуборочная очистка зерна, фракционирование.*

THE MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF GRAIN CLEANING EQUIPMENT

Konstantin Tishaninov [1]
[1]*ALL-Russian research Institute for the use of machinery and petroleum products in agriculture, Tambov, Russian Federation*
[1]TishaninovKN@rambler.ru

Abstract. *The main directions of research concerning post-harvest grain processing have been established: the first category includes cleaning methods, the second separator design, and the third grain cleaning technology. The most frequently used cleaning methods are highlighted. It is established that modern machines for primary grain processing use two-channel aspiration systems and three sieves in one tier of the sieve mill. The differences and advantages of air-sieve machines are shown. The low efficiency of pneumatic separators as independent devices for grain cleaning is shown: when feeding grain material of 7.9 t/h, the purity of the material when using the PS-15 separator increased from 98.16% to 98.70%; when feeding 9.6 t/h from 98.02% to 99.03%; when feeding 13.4 t/h from 97.73% to 98.04%; when feeding 14.9 t/h from 98.12% to 98.77%; when feeding 16.0 t/h from 97.55% to 98.29%. The efficiency of energy-saving gravity separators ZG-5 is shown: the content of the weed impurity when using it decreased to 0.67...0.98%, grain impurity up to 0.87...1.25%. The main objectives of various grain cleaning equipment are outlined: basic cleaning, isolation of difficult-to-separate impurities, obtaining high-quality seeds, energy saving. Two main new technologies of grain purification are given: fractionation and differentiation of grain heaps. Recommendations for developers of grain cleaning equipment are given.*

Keywords: *post-harvest grain cleaning, fractionation.*

Для цитирования: Тишанинов К.Н. Основные тенденции развития зерноочистительной техники // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 59, № 5. С. 20-27. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-20-27.

For citation: Tishaninov K. The main trends in the development of grain cleaning equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 59(5): 20-27. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-20-27.

Введение. Наращивание производства зерна является важнейшей задачей агропромышленного комплекса. На урожайность посевов влияют множество факторов: сорт семян, климатические условия и др. Качество семян во многом определяет урожайность будущих посевов, а для получения хороших семян комбайновый ворох необходимо доочищать до требуемых кондиций по чистоте. В процессе послеуборочной доочистки требуются также решать ряд дополнительных задач (например, минимизировать травмированность зерна, не допускать потери чистого зерна в отход). Все это требует конкурентоспособной зерноочистительной техники. Для совершенствования зерноочистительного оборудования (наряду с решением других проблем послеуборочной очистки зерна [1]) необходимо понимать в каких направлениях развивается современная зерноочистительная техника. Поэтому обзор основных тенденций развития зерноочистительного оборудования является актуальной задачей.

Результаты и обсуждение. Современные исследования, направленные на улучшение послеуборочной очистки зерна, можно разделить на три группы:

1) Поиск новых и совершенствование старых методов очистки зерна;
2) Создание новых конструкций сепараторов;
3) Совершенствование существующих технологий процесса очистки зерна.

Методы очистки зерна, применяемые на текущий момент, показаны на схеме 1. Эта классификация очень часто встречается в работах по интенсификации процесса сепарации зерна (например, у авторов работ [2, 3, 4]). Наибольшее распространение получили методы разделения по геометрическим свойствам (толщине, широте, длине), по скорости витания и удельному весу. Перспективным направлением являются методы разделения по цвету (фотосепараторы).

Рисунок 1 – Схема современных методов очистки зерна

Второе направление развития зерноочистительной техники представлено многими новыми отечественными разработками (Таблица 1). В первую очередь, к ним можно отнести воздушно-решетные машины – СВУ-5А, ОЗС-50/25/10, ОЗФ-50/25/10. Эти машины имеют двухканальную аспирационную систему, позволяющие выделять легкие примеси и битое зерно, как до решетной очистки, так и после нее. Решетная часть этих зерноочистительных машин различается принципиально. Машина СВУ-5А имеет трехъярусное расположение колосовых (Б1, Б2), сортировальных (Г1, Г2), подсевных (В1, В2) решет. В машине ОЗС-50/25/10 подсевные (В), сортировальные (Г) и колосовые (Б) решета расположены в одном ярусе. Машина ОЗФ-50/25/10 (Рисунок 2) имеет два яруса решет: верхний (состоит из сортировальных (Г) и колосового (Б)) выделяет чистое зерно, нижний (состоит из подсевных (В) и сортировального (Г)) – фуражную фракцию.

Таблица 1- Современные сепараторы зерна

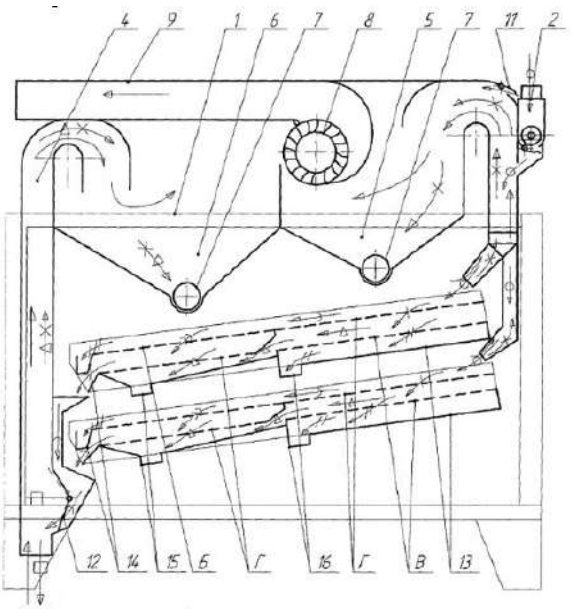
Назначение устройства	Тип устройства	Наименование устройства
Основная очистка зерна	машины для первичной очистки зерна	СВУ-5А, ОЗС-50/25/10, ОЗФ-50/25/10
Выделение трудноотделимых примесей, отличающихся по аэродинамическим свойствам	машины для предварительной и для вторичной очисток зерна	МПО-50, ПС-15
Получение качественных семян из очищенного зернового вороха	пневмосортировальные столы	ПСС-2,5, ПСМ-0,5
	фотосепаратор	фотоэлектронный сепаратор
Энергосбережение	гравитационные сепараторы	ЗГ-5, СГУ-0,15

Машины ОЗФ и ОЗС выполняют разные задачи. Так, машина ОЗФ-50/25/10 позволяет выделять из зернового вороха фракцию семян и фуражную фракцию. Семенная фракция стоит дороже продовольственного зерна, а фураж используются для приготовления кормов. Одноярусное расположение подсевных, сортировальных и колосовых решет в машине ОЗС-50/25/10 рассчитано на максимальную эффективность решетной очистки. Решетные части этих машин (ОЗФ-80/40/20, ОЗС-50/25/10) имеют увеличенное количество решет в одном ярусе – 3 вместо 2-х (ЗВС-20А - машина производства 60-х годов).

Машины ПС-15, МПО-50 используют для предварительной очистки комбайного вороха (выделяют битые, колотые зерна основной культуры и легкие примеси, отличающиеся по аэродинамическим свойствам). Пневмосепараторы используют замкнутые аспирационные системы. ПС-15 (Рисунок 3, [2]) работает следующим образом: зерновой ворох поступает в приемное устройство, где шнеком 7 выравнивается по ширине пневмоканала.

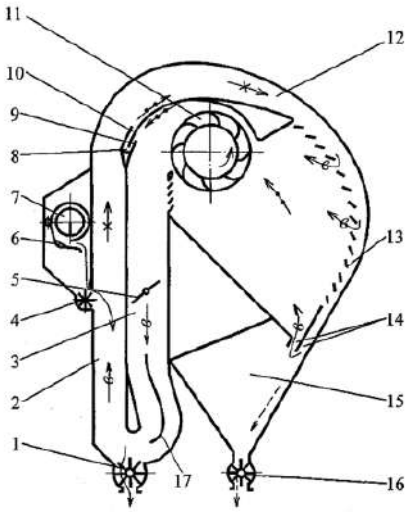
В пневмосепарирующий канал 2 зерно подается питающим валиком 4. Легкая фракция (легкая примесь, битое и мелкое зерно основной культуры) уносится воздушным потоком в инерционный пылеуловитель. Крупная фракция (очищенное зерно) выводится из сепаратора через шлюзовый затвор 1. Легкая фракция выделяется из воздушного потока жалюзийным отделителем (более крупные примеси) и противоточным отделителем (мелкая примесь) и выводятся из сепаратора через шлюзовый затвор 16.

Результаты испытания опытного образца ПС-15 при очистке семян озимой ржи (сорт Вятка – 2) показали: при подаче зернового материала 7,9 т/ч чистота материала выросла с 98,16% до 98,70%; при подаче 9,6 т/ч чистота материала выросла с 98,02% до 99,03%; при подаче 13,4 т/ч чистота материала выросла с 97,73% до 98,04%; при подаче 14,9 т/ч чистота материала выросла с 98,12% до 98,77%; при подаче 16,0 т/ч чистота материала выросла с 97,55% до 98,29%.



1 – рама; 2 – питающее устройство; 3 – канал первой аспирации; 4 – канал второй аспирации; 5, 6 – осадочные камеры; 7 – шнеки; 8 – диаметральный вентилятор; 9 – воздухоотводящий патрубок; 10 – делитель; 11 – регулировочное окно; 12 – клапан; 13 – решетные станы; 14 – лоток вывода колосового вороха; 15 – лоток вывода фуражной фракции; 16 – лоток вывода мелкой фракции

Рисунок 2 – Технологическая схема зерноочистительной машины ОЗФ-50/25/10



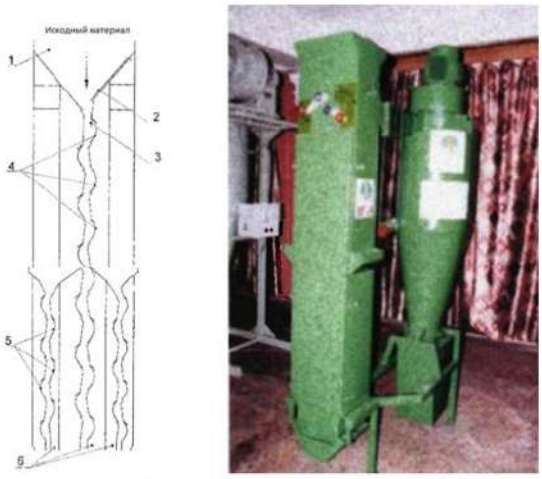
1, 16 –шлюзовые затворы; 2 – пневмосепарирующий канал; 3 – воздухоподводящий канал; 4 – питающий валик; 5 – дроссель; 6 – клапан; 7 – шнек; 8 – перепускное окно; 9 – вход в участок 10; 10 – канал частичного отвода запыленного воздуха; 11 – диаметральный вентилятор; 12 – воздухоотводящий канал; 13 - жалюзийный отделитель; 14 – противоточный отделитель; 15 – осадочная камера; 17 – направляющая перегородка

Рисунок 3 - Технологическая схема пневмосепаратора ПС-15

Гравитационный сепаратор ЗГ-5 (Рисунок 4) с производительностью на пшенице до 5 т/ч в лабораторно-хозяйственных испытаниях показал следующие результаты: содержание сорной примеси уменьшилось до 0,67…0,98%, зерновой примеси до 0,87…1,25%.

Третья группа исследований – совершенствование технологий послеуборочной очистки зерна.

Б.С. Окнин, А.А. Терехин, Л.М. Суконин, И.В. Горбачев, В.М. Дринча, В.М. Соловьев предлагают разделять зерновой ворох на три фракции (продовольственного зерна, промежуточной фракции и отходов) с помощью центробежно-пневматического сепаратора. Зерновую фракцию очищают с помощью ЗАВ-40, промежуточную на триерных блоках. Данная схема очистки позволяет снизить нагрузку на триерные блоки.



а) б)

1 - бункер; 2 - заслонка подачи материала; 3 - заслонка распределения потока; 4 - решетки канала, выделяющие крупные примеси; 5 - решетки канала, выделяющие мелкие примеси; 6 - патрубки отвода зерна и примесей.
а) Схема колоны гравитационного сепаратора ЗГ-5
б) Общий вид гравитационного сепаратора ЗГ-5

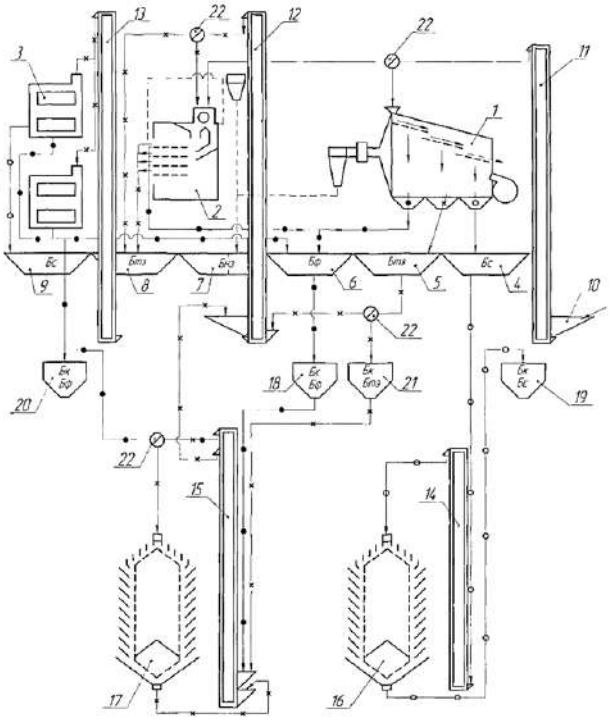
Рисунок 4 – Гравитационный зерноочиститель ЗГ-5

В.И. Оробинский [6] предлагает следующий способ фракционирования зерна: на самой ранней стадии обработки зерна необходимо выделить засорители (особенно мелкие) и биологически неполноценное зерно, которое не представляет интерес как посевной материал. Мелкий сор является благоприятной средой обитания микроорганизмов, что отрицательно сказывается на хранении зерна и его посевных качествах. Выделить фракцию сора и биологически неполноценного зерна можно по аэродинамическим свойствам, плотности и размерам зерновок. При этом количество технологических операций нужно свести к минимуму так, чтобы избежать излишнего травмирования зерна. Суть фракционной технологии очистки зерна заключается в разделении зерновой массы на самой ранней стадии очистки на три фракции: основную, фуражную и отходовую. Такая очистка происходит в два этапа: на первом этапе выделяется зерно, непригодное для кормовых и посевных целей; на втором этапе фракцию разделяют на фураж и отходы. Для такой схемы очистки В.И. Оробинский разработал фракционный очиститель зерна ОЗФ, который мы рассматривали выше.

Чумаков В.Г. предлагает схему послеуборочной обработки зерна на основе дифференцирования потоков зерна (Рисунок 5) [5].

Для очистки зерна по данной схеме используются пневморешетный сепаратор 1, ОЗС-50 , триерные блоки БТЦ-700, две камерные жалюзийные зерносушилки непрерывного действия 16, 17, подача материала осуществляется с помощью норий 11, 12, 13, 14, 15. Имеются основные бункеры 4, 5, 6, 7, 8, 9 и бункеры-компенсаторы 18, 19, 20, 21.

Данная технологическая схема работает следующим образом: зерно из завальной ямы 10 с помощью нории 11 подается на пневморешетный сепаратор 1. Пневмосепаратор делит исходный ворох на четыре фракции: семена (фракция крупных зерен), товарное зерно, фураж и отходы. Если влажность зернового материала низкая (до 16%), то семена и фураж самотеком попадают в бункеры 4,6, откуда подаются с помощью норий в бункеры компенсаторы 18, 19. Незерновые отходы утилизируют. Основной поток зерна (товарное зерно) очищают от сора, мелкого, щуплого и дробленого зерна с помощью машины ОЗС-50. Фураж с этой машины попадает в бункер 6, а товарное зерно в бункер 8.



1 – пневморешетный сепаратор; 2 – воздушно-решетная машина ОЗС-50; 3 – триерные блоки БТЦ-700; 4,5,6,7,8,9 – бункеры; 10 – завальная яма; 11, 12, 13, 14, 15 – нории; 16, 17 – зерносушилки; 18, 19, 20, 21 – бункеры-компенсаторы; 22 – делители

Рисунок 5 – Технологическая схема очистки и сушки зерна с делением на потоки

Выводы. В данной работе подробно рассмотрены основные категории исследований совершенствования зерноочистительной техники; выделены методы, конструкции, технологии. Показаны эффективность работы устройств для очистки зерна. Выделены тенденции развития зерноочистительной техники. Даны рекомендации для разработчиков зерноочистительного оборудования.

Список источников

1. Тишанинов К.Н. Проблемы современной послеуборочной очистки зерна / Наука в центральной России. 2020. № 1 (43). С. 27-35.

2. Конышев Н.Л. Повышение эффективности функционирования замкнутого пневмосепаратора путем совершенствования основных рабочих органов / Дис. канд. техн. наук. Киров, 2000 – 202 с.

3. Хавыев А.А. Повышение эффективности очистки элитных семян пшеницы от низконатурных примесей путем разработки семеочистительной приставки производительностью 1 т/ч / Дис. канд. техн. наук. Пермь, 2004 – 213 с.

4. Зверков Р.А. Интенсификация технологического процесса сепарации зерна на зерноочистительной машине с цилиндрическими качающимися решетами / Дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 2007 – 167 с.

5. Чумаков В.Г. Совершенствование технологии и технических средств для послеуборочной обработки зерна на основе дифференцирования потоков зернового вороха / Дис. док.техн. наук. Челябинск, 2012 – 345 с.

6. Оробинский В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для ее реализации / Дис. док.техн. наук. Воронеж, 2007. – 334 с.

7. Тиц З.Л. Машины для послеуборочной поточной обработки семян / Москва, - 1967 г.

8. Ямпилов С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян / Улан-Удэ – 2003.

9. Московский М.Н. Интенсификация процесса сепарации семян зерновых в зерноочистительных агрегатах / Дис. канд. техн. наук. Ростов-на-дону, 2005 –218 с.

10. Бутовченко А.В. Интенсификация процесса сепарации зерновых материалов в отделении очистки семяочистительного агрегата / Дис. канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2008 – 235 с.

11. Бедыч Т.В. Обоснование скорости движения ковшового элеватора, направленное на снижение травмирования зерна / Дис. канд. техн. наук..Оренберг, 2009 – 154 с.

12. Логинов С.Л. Повышение эффективности функционирования универсальной зерноочистительной машины путем совершенствования технологического процесса / Дис. канд. техн. наук. Киров, 2001 – 188 с.

13. Суворов Н.С. Зерноведение. Москва, 1950.

14. Турчин В.С. Обоснование конструктивно-режимных параметров элеваторов ковшового типа для транспортировки сыпучих материалов / Дис. канд. техн. наук. Оренбург, 2005 – 187 с .

15. Строна И.Г. Промышленное семеноводство / Москва, 1980. – 289 стр.

16. Гуляев Г.В., Николаев Г.С., Болдырев М.В. Производство семян на промышленной основе / Москва, 1979. – 225 стр.

17. Павлодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. Производство оригинальных семян сельскохозяйственных культур в условиях северо-востока Кавказа / Астана, 2010. – 31 стр.

18. Аринов К.К., Шестокова Н.А. Агрономические основы семеноведения и семенного контроля на севере Казахстана / Астана, 2006. – 108.

19. Цециновский В.М., Шапиро И.Г. Влияние геометрии «трудных» зерен и отверстий сита на условия сепарирования / Тр. ВНИИЗ. – М.:1970, вып. 69.

20. Лапшин И.П., Лапшин Н.П. Исследование устойчивости движения решетных станов зерноочистительных машин / В кн.: Стратегия социально-экономического развития Уральского экономического района. Тезисы докладов Межрегиональной научно-практической конференции. – Курган: ИПП «Зауралье», 1997.

References

1. Tishaninov K.N. Problems of modern post-harvest grain cleaning / Science in Central Russia. 2020. No. 1 (43). pp. 27-35.

2. Konyshev N.L. Improving the efficiency of the closed pneumoseparator by improving the main working bodies / Dis. Candidate of Technical Sciences. Kirov, 2000 – 202 p.

3. Khavyev A.A. Improving the efficiency of cleaning elite wheat seeds from low-grade impurities by developing a seed cleaning attachment with a capacity of 1 t/h / Dis. Candidate of Technical Sciences. Perm, 2004 – 213 p.

4. Zverkov R.A. Intensification of the technological process of grain separation on a grain cleaning machine with cylindrical swinging sieves / Dis. Candidate of Technical Sciences. Novosibirsk, 2007 – 167 p.

5. Chumakov V.G. Improvement of technology and technical means for post-harvest grain processing based on differentiation of grain heap flows / Dis. Doctor of Technical Sciences. Chelyabinsk, 2012 – 345 p.

6. Orobinsky V.I. Improving the technology of post-harvest seed treatment by fractionation and technical means for its implementation / Dis. Doctor of Technical Sciences. Voronezh, 2007. – 334 p.

7. Tic Z.L. Machines for post-harvest in-line seed treatment: Moscow, - 1967

8. Yampilov S.S. Technological and technical support of resource-saving processes of cleaning and sorting of grain and seeds, Ulan-Ude – 2003.

9. Moskovsky M.N. Intensification of the process of separation of grain seeds in grain cleaning units: Dis. candidate of Technical Sciences. Rostov-on-Don, 2005 -218 p.

10. Butovchenko A.V. Intensification of the process of separation of grain materials in the purification department of the seed cleaning unit: Dis. Candidate of Technical Sciences. Rostov-on-Don, 2008 – 235 p.

11. Bedych T.V. Justification of the bucket elevator movement speed aimed at reducing grain injury: Dis. Candidate of Technical Sciences..Orenburg, 2009 – 154 p.

12. Loginov S.L. Improving the efficiency of the universal grain cleaning machine by improving the technological process: Dis. Candidate of Technical Sciences. Kirov, 2001 – 188 p.

13. Suvorov N.S. Grain science. Moscow, 1950.

14. Turchin V.S. Substantiation of the design and operating parameters of bucket-type elevators for the transportation of bulk materials: Dis. Candidate of Technical Sciences. Orenburg, 2005 – 187 p .

15. Strona I.G. Industrial seed production. Moscow, 1980. – 289 p.

16. Gulyaev G.V., Nikolaev G.S., Boldyrev M.V. Seed production on an industrial basis. Moscow, 1979. – 225 p.

17. Pavlodar Scientific Research Institute of Agriculture. Production of original seeds of agricultural crops in the conditions of the north-east of the Caucasus. Astana, 2010. – 31 p.

18. Arinov K.K., Shestokova N.A. Agronomic foundations of seed science and seed control in the north of Kazakhstan. Astana, 2006. – 108.

19. Tsetsinovsky V.M., Shapiro I.G. Influence of geometry of "difficult" grains and sieve holes on separation conditions / Tr. VNIIZ. – M.: 1970, issue 69.

20. Lapshin I.P., Lapshin N.P. Investigation of the stability of the movement of sieve mills of grain cleaning machines. In: Strategy of socio-economic development of the Ural Economic District. Abstracts of reports of the Interregional scientific and practical conference. – Kurgan: IPP "Trans-Urals", 1997.

Информация об авторах

К.Н. Тишанинов – кандидат технических наук.

Information about the authors

K.N. Tishaninov – Candidate of technical Sciences.

Поступила в редакцию (Received): 05.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.311.86
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-28-36

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ С ТЕПЛИЧНЫМ ГРУНТОМ

***Александр Олегович Везиров*[1]**
[1]*Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г.Саратов, Российская Федерация*
[1]vezirov2008@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0001-9117-1267

Реферат. *Выращивание растений в теплицах по грунтовой технологии органического земледелия предполагает выполнение работ по приготовлению тепличного грунта, его использованию, а после завершения цикла выращивания – удалению из помещения теплицы. Для выполнения данных работ предложен комплекс машин новых конструкций, состоящий из комбинированного укладчика, погрузчика-смесителя и машины для удаления грунта. Одним из основных показателей эффективности машин является производительность. В ходе теоретических исследований получены аналитические выражения, описывающие влияние конструктивных и режимных параметров на производительность имашин. Установлено, что наибольшее влияние на производительность комбинированного укладчика оказывают скорость цепи транспортера, угловая скорость дозирующего барабана, количество скребков транспортера, количество планок барабана; машины для удаления грунта – высота слоя удаляемого грунта и поступательная скорость машины. Для определения оптимальных значений вышеперечисленных параметров проведена серия двухфакторных экспериментов. На основании анализа данных эксперимента получены уравнения регрессии и советующие им трехмерные поверхности отклика, описывающие влияние установленных параметров на производительность. Установлены оптимальные значения параметров комбинированного укладчика при которых производительность имеет максимальное значение: скорость цепи 0,33-0,37 м/с, количество скребков транспортера 7-8 (для транспортера длиной 2,5 м); угловая скорость 6,0-6,5 рад/с и количество планок дозирующего барабана 6. Максимальная производительность машины для удаления грунта соответствует параметрам: поступательная скорость 0,2-0,25 м/с, угол наклона поверхности ковша 22-24 градуса при высоте удаляемого слоя грунта 0,18 м. Полученные результаты позволили установить эффективность работы машин для приготовления и удаления тепличного грунта.*

Ключевые слова: *почвенные смеси, субстрат, теплица, производительность, уравнение регрессии, комбинированный укладчик, машина для удаления и погрузки тепличного грунта.*

PERFORMANCE STUDY OF MACHINES FOR WORKING WITH HOTHOUSE SOIL

***Aleksander Vezirov*[1]**
[1]*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia*
[1]vezirov2008@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0001-9117-1267

Abstract. *Hothouse plant growing based on the organic farming soil technology includes hothouse soil preparation, use, and removal from the hothouse upon the termination of the growing cycle. A complex of machines of new designs, consisting of a combined paver, a loader-mixer and a soil removal machine, is proposed to carry out these works. One of the main efficiency indicators of these machines is their performance Analytical expressions describing the influence of design and operating parameters on the performance of machines were obtained in the course of theoretical studies. The conveyor chain speed, the angular rate of the dosing drum, the number of conveyor scrapers, and drum bars have been determined to have the maximum impact on the performance of the combined stacker, while for the soil*

removing machine these parameters include the height of the removed soil layer and the machine travelling speed. A series of two-factor experiments have been carried out to define the optimal values of the above parameters. Based on the analysis of the experimental data, regression equations and respective 3D response surfaces have been obtained describing the impact of defined parameters on the performance. For the combined stacker, the following optimal parameter values have been determined, at which its performance reaches maximum value: 0.33-0.37 m/s chain speed, 7 to 8 conveyor scrapers (for the 2.5 m long conveyor); 6.0-6.5 rad/s angular rate and 6 dosing drum bars. The maximum performance of the soil-removing machine corresponds to the following parameters: 0.2-0.25 m/s travelling speed with the dump surface inclination of 22-24 degrees at the removed soil layer height of 0.18 m. Based on the obtained results, the performance of the hothouse soil preparation and removing machines has been determined.

Keywords: *soil mixes, substrate, hothouse, performance, regression equation, combined stacker, hothouse soil removing and loading machine.*

Для цитирования: Везиров А.О. Исследование производительности машин для работы с тепличным грунтом // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 59, № 5. С. 28-36. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-28-36.

For citation: Vezirov A. Performance study of machines for working with hothouse soil. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 59(5): 28-36. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-28-36.

Введение. Приготовление и использование тепличного грунта является наиболее энергоемкой и трудозатратой операций в процессе выращивания растений в защищённом грунте. От правильной и эффективной его организации напрямую зависит урожайность выращиваемых культур, себестоимость и качество готовой продукции [1-4]. Ранее рассмотрена технологическая схема приготовления, использования и удаления тепличного грунта [5]. Для данной технологии предложен комплекс машин, состоящий из комбинированного укладчика, погрузчика-смесителя и машины для удаления тепличного грунта [6-9].

Одним из основных качественных показателей эффективности данных машин является производительность выполнения технологического процесса. На нее оказывают влияние большое количество факторов, которые можно разделить на конструктивные и режимные. Конструктивные факторы отражают конструкцию рабочих органов, режимные отражают параметры их движения.

Исследованиями, проведенными совместно с Мухиным Д.В. и Левченко А.В., установлены аналитические и экспериментальные зависимости производительности от указанных факторов [10-12].

Производительность комбинированного укладчика $Q_у$ (кг/с) может быть найдена как сумма производительности цепного транспортера $Q_{цт}$ (кг/с) и двух дозирующих барабанов $Q_{Б1}$ (кг/с) и $Q_{Б2}$ (кг/с) [11]:

$$Q_у = Q_{цт} + Q_{1Б} + Q_{2Б}\,. \quad (1)$$

Производительность цепного транспортера зависит от геометрических параметров и скорости скребков, а также заполнения межскребкового пространства:

$$Q_{цт} = K_з b_{ск} h_{ск} \rho_к v_с, \quad (2)$$

где $b_{ск}$ – ширина скребка, м; $h_{ск}$ – высота скребка, м; $\rho_к$ – плотность перемещаемого компонента, кг/м^3; $v_с$– скорость скребков транспортера, м/с; $K_з$ – коэффициент заполнения межскребкового пространства.

Производительность дозирующего барабана укладчика $Q_Б$ (кг/с):

$$Q_Б = \rho_к K_{з1} \pi \left(\frac{\alpha_п}{2\pi}\right) \frac{D_н^2 - D_в^2}{4} B_п z_л n_к, \quad (3)$$

где, $K_{з1}$– коэффициент заполнения пространства между планками барабана; $\alpha_п$ – центральный угол между планками, град.; $D_в$ – диаметр дозирующих барабанов по образующей цилиндра, м; $D_н$ – диаметр дозирующих барабанов по наружным кромкам продольных планок, м; $B_п$ – ширина

продольной планки, м; $z_п$– число продольных планок на барабане, ед.; n_k– частота вращения дозирующего барабана, $с^{-1}$.

С учётом уравнения 2 и 3 общая производительность комбинированного укладчика примет вид:

$$Q_y = K_з b_{ск} h_{ск} \rho_к v_c + \rho_{к1} K_{з1} \pi \left(\frac{\alpha_{п1}}{2\pi}\right) \frac{D_{н1}^2 - D_{в1}^2}{4} B_{п1} z_{п1} n_{к1} + \rho_{к2} K_{з2} \pi \left(\frac{\alpha_{п2}}{2\pi}\right) \frac{D_{н2}^2 - D_{в2}^2}{4} B_{п2} z_{п2} n_{к2}\,, \quad (4)$$

где индекс «1» относится к первому дозирующему барабану, индекс «2» – ко второму.

Рабочими органами машины для удаления и погрузки тепличного грунта являются ковш с боковыми отвалами и отгрузочный транспортер, таким образом общая теоретическая производительность машины $Q_Т$ (кг/с) будет равна объему грунта, поступающего в ковш в единицу времени [9]:

$$Q_Т = \rho \cdot B \cdot h \cdot v\,, \quad (5)$$

где ρ – плотность убираемого грунта, кг/м^3; B – ширина захвата ковша, м; h – высота слоя грунта, м; v – поступательная рабочая скорость машины, м/с.

Однако, при работе машины будет наблюдаться снижение производительности из-за потерь грунта (не вся его масса будет попадать на отгрузочный транспортер), часть его будет сгребаться перед рабочим органом (напорное усилие машины будет смещать часть грунта к основному массиву), а часть скапливаться на боковых поверхностях отвала, так как ширина ковша больше ширины отгрузочного транспортера.

Таким образом производительность машины $Q_м$(кг/с) будет являться разностью между теоретической производительностью $Q_Т$ (кг/с) и частью ее потерь, учитывающих сгребание грунта перед рабочим органом (возврат части грунта обратно к основному массиву) $\Delta Q_{вз}$ (кг/с) и скапливание грунта на поверхностях отвала $\Delta Q_{сг}$ (кг/с):

$$Q_м = Q_Т - \Delta Q_{вз} - \Delta Q_{сг}\,. \quad (6)$$

Потеря части теоретической производительности $\Delta Q_{вз}$ имеет нелинейный характер и зависит от угла наклона поверхности ковша γ (град.), чем он больше, тем больше сопротивление основного массива грунта перемещению машины и соответственно значительней выражен эффект нагребания.

Данную зависимость выразим через квадратичную тригонометрическую функцию:

$$\Delta Q_{вз} = \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot \sin^2\gamma. \quad (7)$$

Другая часть потери производительность приходиться на скапливание грунта на боковых поверхностях отвала, из-за чего происходит замедление движения по этим поверхностям и, следовательно, меньше грунта попадает на отгрузочный транспортёр – в общем виде может быть найдена:

$$\Delta Q_{сг} = \rho \cdot (B - b_к) \cdot h \cdot v \cdot \frac{l_{от}}{l_{бпо}}\,, \quad (8)$$

где $b_к$ – ширина боковой поверхности отвала, м; $l_{от}$ – длина боковой поверхности отвала, м; $l_{бпо}$– длина проекции боковой поверхности отвала (измеряется по направлению движения грунта), м.

Тогда с учётом выражений (5,7,8) формула производительности машины для удаления тепличного грунта после преобразований примет вид:

$$Q_м = \rho \cdot B \cdot h \cdot v \cdot \left[1 - \sin^2\gamma - \left(1 - \frac{b_к}{B}\right) \cdot \frac{l_{от}}{l_{бпо}}\right]. \quad (9)$$

Из анализа уравнения (4) можно сделать вывод, что на производительность укладчика в большей степени влияет скорость цепи и количество скребков цепного транспортера, а также угловая скорость барабанов и количество установленных на них планок. Производительность машины для удаления грунта (9) прямо пропорционально зависит от высоты слоя грунта и поступательной скорости машины и угла наклона поверхности ковша. Таким образом, вышеперечисленные параметры могут быть определены как факторы, оказывающие значительное влияние на критерий оптимизации – производительность, при проведении экспериментальной части исследований.

Материалы и методы исследований. Для целей эксперимента изготовлено два опытных образца – комбинированный укладчик и машина для удаления грунта. Исследования проходили в производственных условиях на базе тепличного комбината АО «Весна» Саратовской области. Методика включала серию двухфакторных экспериментов для каждой из машин. Конструктивные параметры (число скребков и планок) изменялись установкой их необходимого количества на рабочие органы, скорость цепи транспортера и частота вращения барабанов изменялась сменой звёздочек на ведущих валах. Производительность измеряли путем взвешивания массы грунта отгруженной рабочими органами каждой машины в единицу времени. Полученные данные обрабатывались по методу регрессионного анализа на ЭВМ с использованием программного пакета для статистического анализа «Statistica» с дальнейшим построением двухмерных графических зависимостей и уравнений. По критерию Фишера проверяли адекватность описания уравнением регрессии данных эксперимента.

Результаты и их обсуждение. По итогам обработки экспериментальных данных получена графическая зависимость (рисунок 1) и соответствующее ей уравнение регрессии (10), описывающие влияние факторов – скорости цепи ($V_ц$, м/с) и количества скребков (N_c, ед.) транспортера на производительность комбинированного укладчика (Q, т/ч) [10].

$$Q = -29{,}53 + 101{,}815 \cdot V_ц + 8{,}521 \cdot N_c - 146{,}25 * V_ц^2 - 0{,}37 \cdot V_ц \cdot N_c - 0{,}534 \cdot N_c^2 \qquad (10)$$

Из анализа рисунка 1 видно, что в начале производительность интенсивно возрастает и при скорости цепи 0,32-0,36 м/с достигает пиковых значений, но при дальнейшем возрастании скорости наблюдается стабилизация и затем снижение производительности.

Схожий характер имеет зависимость производительности от количества скребков – при 4-6 скребках производительности интенсивно растет, затем при 8 скребках достигает максимальных значений, при том что скорость цеп остается постоянной 0,12 м/с, а значение производительности увеличивается в 2,3 раза с 5,2 кг/с до 12,4 кг/с. Далее значение производительности медленно начинает снижаться.

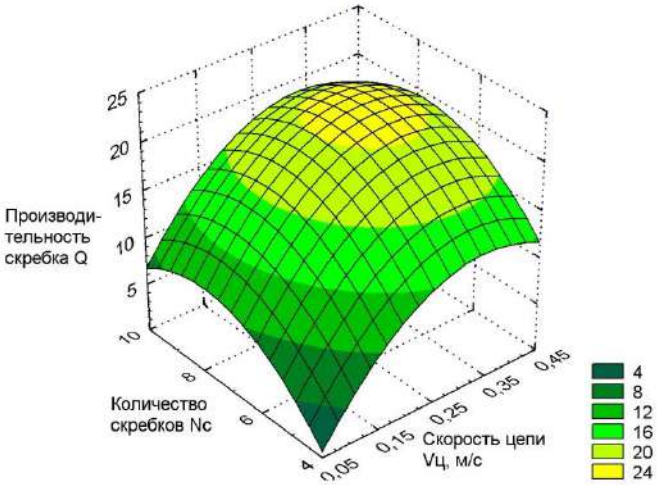


Рисунок 1 – Графическая зависимость производительности комбинированного укладчика (Q, т/ч) от скорости цепи ($V_ц$, м/с) и количества скребков (N_c, ед.) цепного транспортера

Такое изменение производительности происходит из-за того, что с уменьшением скорости уменьшается и транспортирующая способность скребков, что и приводит к падению производительности. Но, при дальнейшем увеличении скорости наблюдается обратный процесс, например, когда скорость увеличивается с 0,35 м/с до 0,45 м/с, то есть больше оптимальных значений, производительность снижается с 22,5 т/ч до 19,7 т/ч. Это возможно объяснить тем, что при возрастании скорости межскребковое пространство не успевает полностью заполниться грунтом, следовательно, производительность начинает снижаться.

Графическая зависимость (рисунок 2) имеет ярко выраженную область оптимальных значений, где производительность максимальна – скорость цепи в диапазоне от 0,33 м/с до 0,37 м/с и количестве скребков равной 7-8 для транспортера длиной 2,5 м. Отклонение значения указанных факторов в одну или другую сторону приводит к снижению производительности.

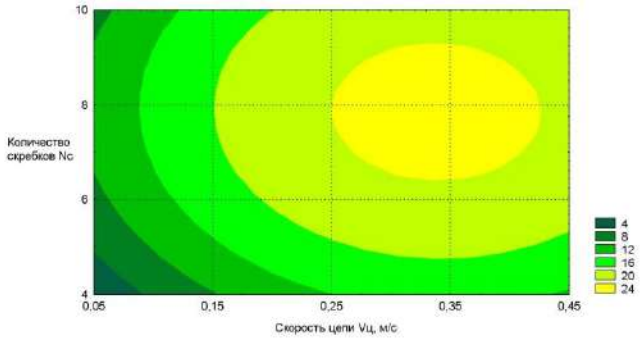


Рисунок 2 – Область оптимальных значений скорости цепи ($V_ц$, м/с) и количества скребков (N_c, ед.) цепного транспортера по максимальной производительности укладки (Q, т/ч)

Выше мы рассмотрели влияние конструктивных и режимных параметров транспортера, но также на производительность комбинированного укладчика влияют параметры дозирующих барабанов – угловая скорость (ω, рад/с) и количество планок (N, ед.) [11]. Данная зависимость представлена уравнением регрессии (11) и двухмерной поверхностью отклика (рисунок 3).

$$Q = -1{,}863 + 1{,}163\cdot\omega + 0{,}715\cdot N - 0{,}087\cdot\omega^2 - 0{,}004\cdot N\cdot\omega - 0{,}055\cdot N^2 \quad (11)$$

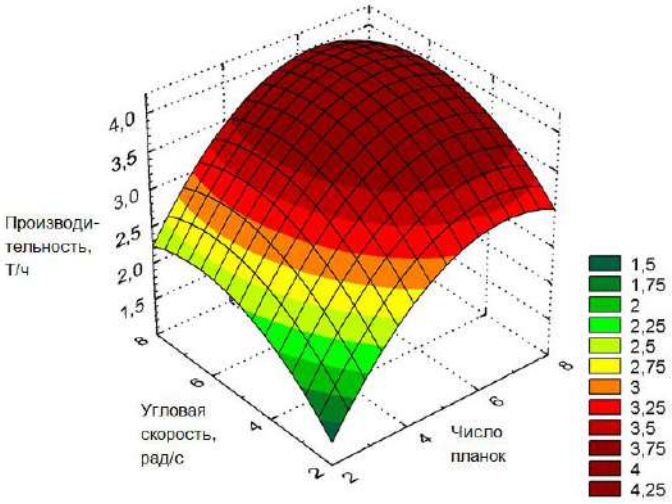


Рисунок 3 – Графическая зависимость производительность комбинированного укладчика (Q, т/ч) от числа планок (N, ед.) и угловой скорости (ω, рад/с) дозирующего барабана

Из графика видно, что увеличение угловой скорости приводит к увеличению производительности, а при значениях скорости 6,0-6,5 рад/с – производительность максимальна, далее ее значение незначительно снижается. Аналогично по характеру влияния на производительность оказывает изменение количества установленных планок на барабане. При 6 планках производительность максимальна, но при дальнейшем их увеличении, медленно снижается. Четко выражена область оптимальных значений, при которых производительность барабанов максимальна – количество планок 6-7, диапазон угловой скорости 5,8-6,5 рад/с.

Производительности растет с увеличением угловой скорости, но при достижении значений в 6,5 рад/с, начинает снижаться, это священно с тем что появляется «отбрасывающий» эффекта от быстрого вращения – планки забрасывают часть компонента обратно в бункер.

Изменение производительности от количества планок барабана определяется нелинейной зависимостью. Когда количество планок возрастает до 6 ед., производительность также растет, что связано с тем, что весь компонент захватывается и укладывается, но при дальнейшем увеличении количества планок наблюдаете снижение производительности, что объясняется тем, что дополнительные планки занимают полезный объем межпланочного пространства, где мог бы быть компонент.

Для нормального роста и развития растений требуется периодическая замена части или всего слоя тепличного грунта из помещения теплицы – эта операция выполняется машиной для удаления и погрузки грунта. В результате обработки данных эксперимента получено уравнение регрессии (12) и советующая графическая зависимость (рисунок 4), описывающая влияние на производительность машины для удаления грунта (Q, кг/с) высоты слоя убираемого грунта (h, мм) и поступательной скорости машины (v, м/с) [12].

$$Q = 0{,}052+35{,}068\cdot v +0{,}01\cdot h - 108{,}854\cdot v^2 + 0{,}26\, v\cdot h + 5{,}195\cdot 10^{-5}\cdot h^2 \qquad (12)$$

Как видно из графика зависимости производительность увеличивается с одновременным возрастанием значений исследуемых факторов по всему диапазону. Увеличение высоты слоя грунта приводит практически к прямо пропорциональному увеличению производительности. Например, при постоянной поступательной скорости равной 0,16 м/с и изменении высоты слоя со 100 мм до 140 мм производительность увеличивается на 25% с 9,0 кг/с до 11,4 кг/с. Дальнейшее увеличение высоты слоя при той же скорости со 140 мм до 180 мм приводит к росту производительности до 14,8 кг/с, тем самым подтверждая характер зависимости близкий к прямо пропорциональному. Объясняется это тем, что с увеличением высоты слоя к машине поступает больший объём грунта в единицу времени, соответственно увеличивается масса удаляемой и отгружаемой части грунта.

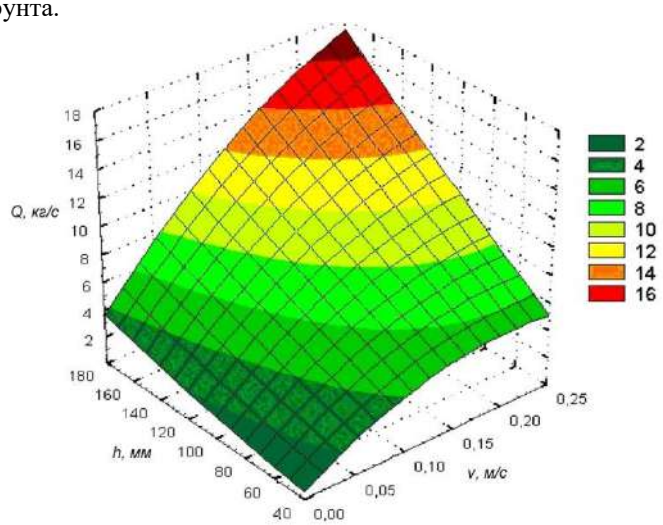


Рисунок 4 – Графическая зависимость производительности машины для удаления грунта (Q, кг/с) от высоты слоя грунта (h, мм) и поступательной скорости (v, м/с)

Влияния поступательной скорости на производительность носит более сложный характер. При постоянной высоте слоя тепличного грунта 140 мм и с изменением скорости 0,12 м/с до 0,17 м/с производительность увеличивается с 8,8 кг/с до 11,4 кг/с. Но уже увеличение скорости с 0,17 до 0,25 м/с приводит к меньшему росту производительности – с 11,4 кг/с до 13 кг/с. Зависимость носит нелинейный характер – при постоянной высоте слоя грунта ограничен поступающий объем, т.е. производительность не может превышать подаваемой к машине в единицу времени массы

грунта. На графике отсутствует область оптимуму, но максимальная производительность машины (16,4 кг/с) достигается при наибольших значениях исследуемых параметров.

Также исследовалось влияние на производительность машины для удаления грунта поступательной скорости (v, м/с) и угла наклона поверхности ковша γ (град.) [12]. В результате обработки данных эксперимента получено уравнение регрессии (13) и советующая графическая зависимость (рисунок 5).

$$Q = -8{,}175+71{,}25\cdot v +0{,}802\cdot \gamma - 104{,}167\cdot v^2 + 0{,}467\, v\cdot \gamma + 0{,}016\cdot \gamma^2 \quad (13)$$

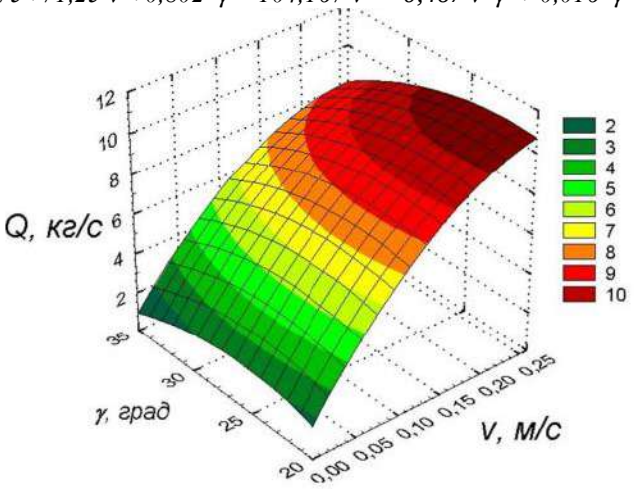


Рисунок 5 – Графическая зависимость производительности машины для удаления грунта (Q, кг/с) от поступательной скорости (v, м/с) и угла наклона поверхности ковша γ (град.)

Анализ графической зависимости позволяет сделать вывод, что производительность возрастает с увеличением поступательной скорости, в то же время, при малых значениях угла наклона производительность практически не изменяется, а при больших – происходит снижение. При скорости 0,25 м/с производительность стабилизируется и дальше ее рост ограничивается отгрузочной способностью транспортёра, так как все большее количество грунта поступает в ковш и происходит избыточное накопление его перед транспортером и производительность снижается.

Влияние угла наклона менее выражено, производительность достигает максимума при 27-29 градусах, а затем начинает снижаться, это вызвано тем, что поверхность ковша при больших углах начинает работать, как отвал бульдозера, смещая часть грунта обратно в бурт, что приводит к снижению производительности.

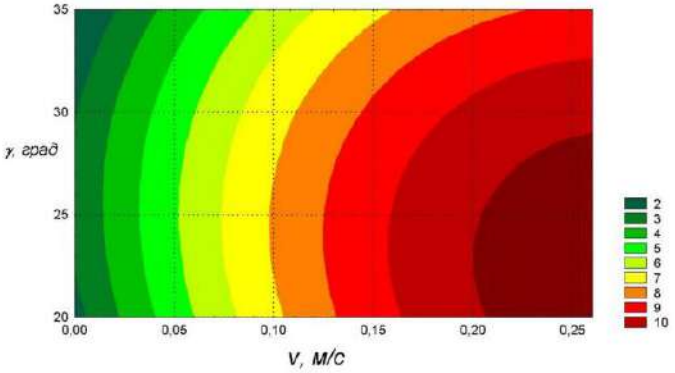


Рисунок 6 – Сечение поверхности отклика зависимости производительности машины для удаления грунта (Q, кг/с) от поступательной скорости (v, м/с) и угла наклона поверхности ковша γ (град.)

Двухмерное сечение поверхности (рисунок 6) показывает отсутствие области оптимума, но можно сделать вывод, что производительность возрастает во всем исследуемом диапазоне поступательной скорости и достигает максимально значения 16,4 кг/с при угле наклона 22-24 градуса.

Выводы. Представленный анализ результатов эксперимента позволил установить рациональные значения параметров рабочих органов машин, входящих в технологическую схему подготовки и использования тепличного грунта.

Для комбинированного укладчика: скорость цепи транспортера 0,33-0,37 м/с и количество скребков 7-8 (для транспортера длиной 2,5 м); угловая скорость дозирующих барабанов 6,0-6,5 рад/с и количество планок 6.

Максимальная производительность машины для удаления грунта соответствует параметрам: поступательная скорость 0,2-0,25 м/с, угол наклона поверхности ковша 22-24 градуса, высота удаляемого слоя грунта 0,18 м.

Список источников

1. Liang Y., Lin X., Yamada S. Soil degradation and prevention in greenhouse production. SpringerPlus 2. 2013. № 2.1-10.

2. Hupenyu A.M., Mnkeni P.N.S. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2018.№ 25(11). 10577-10595.

3. Tuzel Y., Leonardi C. Protected cultivation in Mediterranean region: Trends and needs. Journal of Agriculture Faculty of Ege University.2010. № 46(3). 215-223.

4. Аутко А.А., Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А., Рудковская Р.Н., Долбик Н.Н., Поздняк О.В. Влияние типа субстрата на содержание полисахаридов и фенольных соединений в томатах в условиях защищенного грунта // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрная наука. 2004. № 3. С.62-64.

5. Pavlov P.I. Mechanization of soil preparation for greenhouses / P.I. Pavlov, E.E. Demin, R.R. Khakimzyanov, G.V. Levchenko, A.O.Vezirov // In-ternational Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – № 3(9). – P.1023-1030.

6. Патент 211840 Российская Федерация, МПК A01C 3/00 A01B 49/06. Комбинированный укладчик почвенных компонентов / Павлов П.И., Везиров А.О. – № 2021128154; заявл. 27.09.2021; опубл. 24.06.2022, Бюл. №18. – 4 с.

7. Патент 119337 Российская Федерация, МПК B 65 G 65/22. Погрузчик-смеситель органоминерального компоста / Везиров А.О., Дзюбан И.Л., Павлов П.И.– № 2012114293/11; заявл. 11.04.2012; опубл. 20.08.2012, Бюл. №23. – 4 с.

8. Патент 117906 Российская Федерация, МПК B 65 G 67/24. Рабочий орган погрузчика-смесителя / Павлов П.И., Левченко Г.В., Везиров А.О., Дзюбан И.Л. – № 2012108283/11; заявл. 05.03.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. №19. – 3 с.

9. Патент 2621041 Российская Федерация, МПК B 62 D 63/00. Прицепная машина для удаления и погрузки почвы в теплицах / Павлов П.И., Везиров А.О., Левченко Г.В., Ракутина А.В. – № 2016100090; заявл. 11.01.2016; опубл. 31.05.2017, Бюл. №3. – 4 с.

10. Павлов П.И., Везиров А.О., Мухин Д.В. Оптимизация конструктивных и режимных параметров комбинированного укладчика почвенных компонентов / П.И. Павлов, А.О. Везиров, Д.В. Мухин // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 115–119.

11. Павлов П.И., Корсак В.В., Везиров А.О., Мухин Д.В. Результаты экспериментальных исследований комбинированного укладчика почвенных компонентов для теплиц //Аграрный научный журнал. 2018. № 10. С. 52–54.

12. Павлов П.И., Корсак В.В., Везиров А.О., Левченко А.В. Влияние конструктивных и режимных параметров на производительность машины для удаления и погрузки тепличного грунта / А.О. Везиров, П.И. Павлов, А.В. Левченко, В.В. Корсак // Естественные и технические науки. 2021. № 12 (125). С. 48–53.

References

1. Liang Y., Lin X., Yamada S. Soil degradation and prevention in greenhouse production. SpringerPlus 2. 2013. № 2.1-10.

2. Hupenyu A.M., Mnkeni P.N.S. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2018. № 25(11). 10577-10595.

3. Tuzel Y., Leonardi C. Protected cultivation in Mediterranean region: Trends and needs. Journal of Agriculture Faculty of Ege University. 2010. № 46(3). 215-223.

4. Autko A.A., Rupasova ZH.A., Ignatenko V.A., Rudkovskaya R.N., Dolbik N.N., Pozdnyak O.V. Vliyanie tipa substrata na soderzhanie polisakharidov i fenol'nykh soedinenii v tomatakh v usloviyakh zashchishchennogo grunta // Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnaya nauka. 2004. № 3. S. 62-64.

5. Pavlov P.I. Mechanization of soil preparation for greenhouses / P.I. Pavlov, E.E. Demin, R.R. Khakimzyanov, G.V. Levchenko, A.O.Vezirov // In-ternational Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – № 3(9). – P.1023-1030.

6. Patent 211840 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A01C 3/00 A01B 49/06. Kombinirovannyi ukladchik pochvennykh komponentov / Pavlov P.I., Vezirov A.O. – № 2021128154; zayavl. 27.09.2021; opubl. 24.06.2022, Byul. №18. – 4 s.

7. Patent 119337 Rossiiskaya Federatsiya, MPK B 65 G 65/22. Pogruzchik-smesitel' organomineral'nogo komposta / Vezirov A.O., Dzyuban I.L., Pavlov P.I. – № 2012114293/11; zayavl. 11.04.2012; opubl. 20.08.2012, Byul. №23. – 4 s.

8. Patent 117906 Rossiiskaya Federatsiya, MPK B 65 G 67/24. Rabochii organ pogruzchika-smesitelya / Pavlov P.I., Levchenko G.V., Vezirov A.O., Dzyuban I.L. – № 2012108283/11; zayavl. 05.03.2012; opubl. 10.07.2012, Byul. №19. – 3 s.

9. Patent 2621041 Rossiiskaya Federatsiya, MPK B 62 D 63/00. Pritsepnaya mashina dlya udaleniya i pogruzki pochvy v teplitsakh / Pavlov P.I., Vezirov A.O., Levchenko G.V., Rakutina A.V. – № 2016100090; zayavl. 11.01.2016; opubl. 31.05.2017, Byul. №3. – 4 s.

10. Pavlov, P.I. Optimizatsiya konstruktivnykh i rezhimnykh parametrov kombinirovannogo ukladchika pochvennykh komponentov / P.I. Pavlov, A.O. Vezirov, D.V. Mukhin. – Tekst: neposredstvennyi // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. – 2020. – № 10. – S. 115-119.

11. Pavlov P.I., Korsak V.V., Vezirov A.O., Mukhin D.V. Rezul'taty ehksperimental'nykh issledovanii kombinirovannogo ukladchika pochvennykh komponentov dlya teplits //Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2018. № 10. S. 52–54.

12. Pavlov P.I., Korsak V.V., Vezirov A.O., Levchenko A.V. Vliyanie konstruktivnykh i rezhimnykh parametrov na proizvoditel'nost' mashiny dlya udaleniya i pogruzki teplichnogo grunta / A.O. Vezirov, P.I. Pavlov, A.V. Levchenko, V.V. Korsak // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2021. № 12 (125). S. 48–53.

Информация об авторах

А.О. Везиров – кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Vezirov - candidate of technical sciences.

Поступила в редакцию (Received): 19.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 10.09.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.312.021.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-37-47

ИЗНОСЫ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА СКОРОСТНЫХ ПЛУГОВ ПСКУ

Александр Михайлович Михальченков[1], Сергей Александрович Феськов[2], Андрей Валентинович Кубышкин[3]
[1,2,3]Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия
[1]mihalchenkov.alexandr@yandex.ru
[2]feskovwork@gmoil.com
[3]andrey.kubyshkin@internet.ru

Автор ответственный за переписку: Александр Михайлович Михальченков, mihalchenkov.alexandr@yandex.ru
Corresponding author Alexander Mikhalchenkov, mihalchenkov.alexandr@yandex.ru.

Реферат. *Применение скоростных плугов производства РФ обусловлено интенсификацией полевых работ и проблемой импортозамещения. Целью исследований является изучение износов конструктивных элементов рабочего органа плуга серии ПСКу. Параметрами оценки технического состояния деталей, снятых с эксплуатации, были изменения линейных размеров (линейные износы). Количество контролируемых деталей по каждому наименованию составило 27 единиц. Вспашка велась на суглинистых почвах – 25 га на изделие. Исследованиями установлено, что геометрия износа поверхностей левых ножей имеет сложную конфигурацию, а максимальные износы по ширине и толщине не являются критичными, поэтому деталь пригодна к дальнейшей эксплуатации. Контроль правых ножей по остаточной толщине и величине износа лезвия показал, что они находятся в работоспособном состоянии, а износ заглубляющей области имеет лучевидный характер и расположен в двух сечениях. Типичным для вертикальных ножей является лучевидный износ, выходящий на боковую часть. Истончение режущей области приводит к местному сквозному протиранию детали. Пригодность этих ножей к дальнейшей эксплуатации и восстановлению определяется его допустимыми остаточными шириной и толщиной. Предельный износ вертикальных ножей определяет работоспособное состояние рабочего органа. Лучевидный износ является определяющим дефектом для отвалов, хотя и не достигает своего предельного значения по остаточной толщине. Поэтому отвалы после наработки 25 га пригодны к эксплуатации. Таким образом, контролируемые детали пригодны к дальнейшей эксплуатации, однако необходимо проведение операций по упрочнению.*

Ключевые слова: *скоростные плуги; рабочий орган; правый нож; левый нож; вертикальный нож; отвал; упрочнение; возможность эксплуатации.*

WEAR OF PARTS OF THE WORKING BODY OF THE PSKU HIGH-SPEED PLOW

Alexander Mikhalchenkov[1], Sergey Feskov [2], Andrey Kubyshkin[3]
[1,2,3] Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia
[1]mihalchenkov.alexandr@yandex.ru
[2]feskovwork@gmoil.com
[3]andrey.kubyshkin@internet.ru

Abstract. *The use of high-speed plows manufactured in the Russian Federation is due to the intensification of field work and the problem of import substitution. The purpose of the research is to study the wear of the structural elements of the working body of the plow of the PSKu series. The parameters for assessing the technical condition of parts taken out of service were changes in linear dimensions (linear wear). The number of controlled parts for each item was 27 units. Plowing was*

carried out on loamy soils - 25 ha per product. Research has established that the wear geometry of the surfaces of the left knives has a complex configuration, and the maximum wear in width and thickness is not critical, so the part is suitable for further operation. The control of the right knives according to the residual thickness and the amount of wear of the blade showed that they are in working condition, and the wear of the penetrating area has a radial character and is located in two sections. Typical for vertical knives is radial wear that extends to the side. The thinning of the cutting area leads to local through rubbing of the part. The suitability of these knives for further operation and restoration is determined by their permissible residual width and thickness. The limiting wear of vertical knives determines the working state of the working body. Radiation wear is a defining defect for dumps, although it does not reach its limit value in terms of residual thickness. Therefore dumps after an operating time of 25 hectares are suitable for operation. Thus, the controlled parts are suitable for further operation, however, it is necessary to carry out hardening operations.

Keywords: *high-speed plows; working body; right knife; left knife; vertical knife; dump; hardening; the possibility of exploitation.*

Для цитирования: Михальченков А.М., Феськов С.А., Кубышкин А.В. Износы деталей рабочего органа скоростных плугов ПСКУ // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 37-47. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-37-47.

For citation: Mikhalchenkov A., Feskov S., Kubyshkin A. Wear of parts of the working body of the PSKU high-speed plow. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 37-47. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-37-47.

Введение. Интенсификация полевых работ привела к необходимости увеличения скоростей пахоты. В свою очередь это обусловило создание новых конструкций пропашных плугов. Работы, проведенные в РФ, привели к созданию серии скоростных плугов ПСКу [1]. Как следует из рисунка 1, конструкция рабочего органа такого орудия кардинально отличается от «классических» оборотных плугов, при соблюдении условий, накладываемых на вспашку агротехническими требованиями.

1- стойка; 2-башмак; 3-отвал; 4-нож вертикальный; 5-нож левый; 6-нож правый

Рисунок 1 – Рабочий орган ПСКу

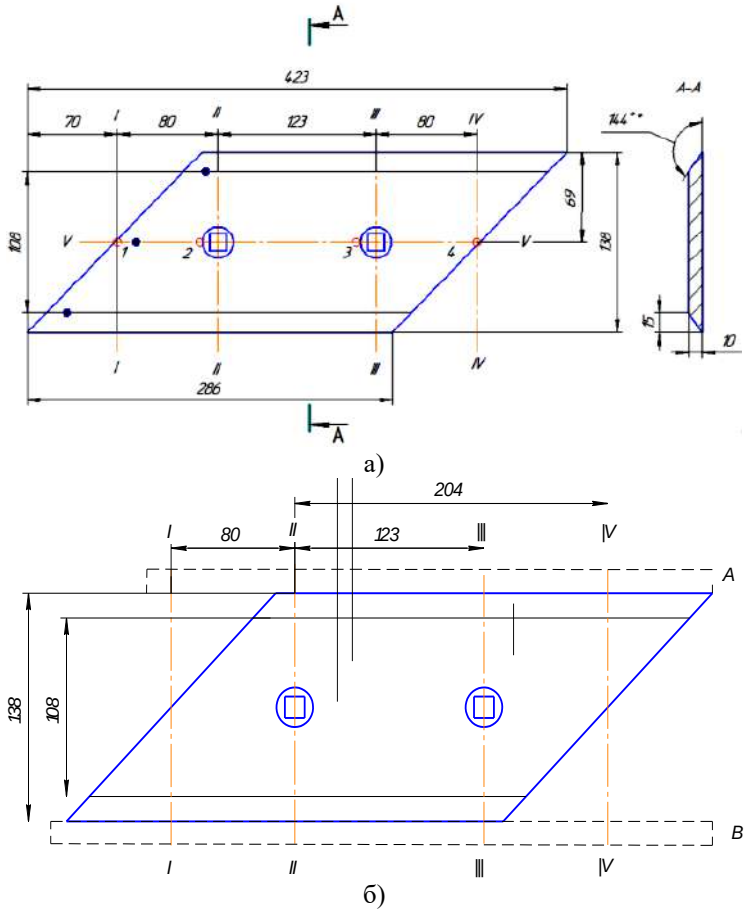
Согласно собственным наблюдениям, детали рабочих органов отличаются высоким качеством изготовления, что обеспечивает значительный ресурс. В тоже время, по ряду соображений (технологических и экономических) следует увеличить долговечность рабочих органов за счет упрочнения и восстановления их конструктивных составляющих [2,3]. Однако, работы по данному вопросу малочисленны и порой не носят законченного характера [2,4]. В частности, сведения об износах отдельных деталей корпуса недостаточны для обоснованной разработки технологий возобновления или увеличения их ресурса.

Поэтому целью исследований является изучение износов конструктивных элементов рабочего органа скоростного плуга серии ПСКу.

Методика определения износов

Оценка технического состояния деталей проводилась путем фиксации линейных износов с помощью штангенциркуля, штангенрейсмаса и использованием собственной методики. Количество обследованных изделий составило 27 штук, после вспашки 25-ти га легких суглинков на деталь. Следует указать, что нож левый и вертикальный нож являются оборотными.

Нож левый. Износы оценивали по толщине и по ширине деталей (рисунок 2).



а)

б)

Рисунок 2 - Схема измерений остаточных: а) - толщины; б) –ширины (контурными линиями обозначены линейки) ножа левого

При оценке износа по толщине измеряли остаточные значения (t), в точках 1-4, которые располагались на расстоянии 80, 123, 203 мм по горизонтали относительно крепежного отверстия. На рисунке 2а они обозначены заретушированными окружностями и координируются по четырем сечениям в вертикальной плоскости (I-I; II-II; III-III; IV-IV) в пересечении с горизонтальным сечением V-V. Для получения более полной информации измерения толщины проводилось в сечении, расположенном на расстоянии 20 мм от полевого обреза (рисунок 2а).

Измерение величины износа по ширине иллюстрирует рисунок 2б, осуществляли его в сечениях, обозначенных римскими цифрами I-I - IV-IV относительно отверстия для крепежа, соответствующее сечению II-II. Для оценки износов в сечениях I-I и IV-IV, расположенных на расстоянии 80 мм и 204 мм от крепежа, соответственно, использовали металлические линейки. Линейку А устанавливали неподвижно по длине неизношенной лезвийной области, а линейку В - в торце изношенной подрезающей части.

Нож правый. Рисунок 3 иллюстрирует схему измерений остаточной ширины (h) в вертикальных сечениях (*Q1-Q5*). За базовые были приняты сечения Q_2 и Q_4, проходящие через крепежные отверстия. Контроль остаточной ширины с помощью 5 сечений позволил получить эпюру распределения максимальных значений остаточных размеров по длине режуще – лезвийной области.

Остаточную толщину (t) ножа (рисунок 3) фиксируют вдоль спинки на расстоянии от обреза 8-10 мм и вдоль лезвийной части с учетом оставшегося наплавленного слоя с тыльной стороны и верхнего сечения лезвия. Места контроля остаточной толщины ножа (точки 1,1´- 4,4´) располагаются на расстоянии 8-10 мм от верхнего (1- 4) и нижнего (1´- 4´) обреза. Точка 1´ находится на расстоянии 8 -10 мм от пятки торца.

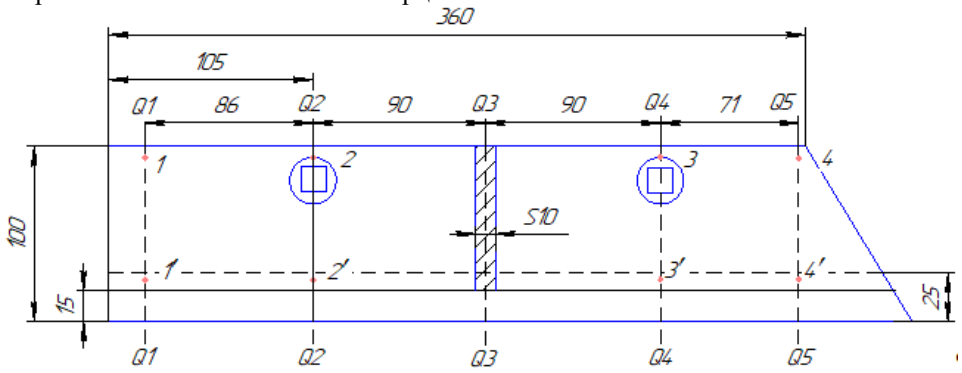
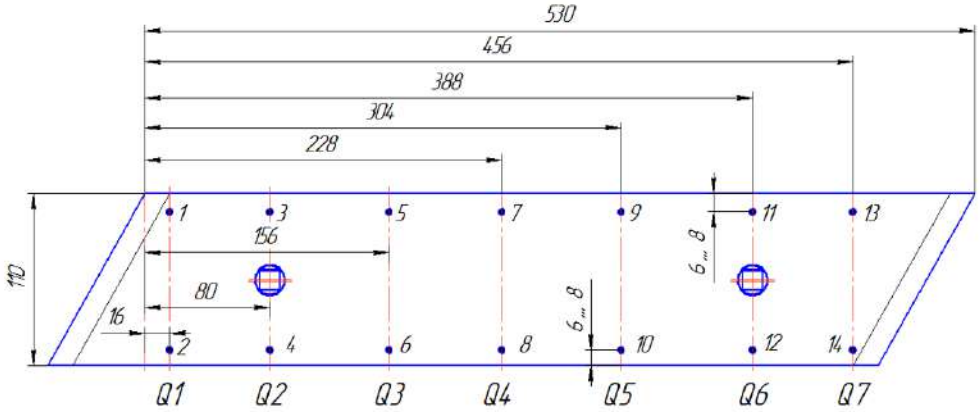


Рисунок 3 – Схема измерений остаточной ширины ножа правого

Нож вертикальный. Измерялись остаточные ширина (h) и толщина (t) детали.

Рисунок 4 иллюстрирует выявление точной картины профиля ножа через измерение остаточных ширины (h) и толщины (t) по семи сечениям (Q_i). При определении остаточной толщины учитывали неодинаковый износ полевых обрезов.



Точки 1-14 – места измерений, нечетные числа соответствуют области полевого обреза, подвергавшегося минимальному давлению почвы - «ненагруженный обрез»; четные числа –максимальному - «нагруженный».

Рисунок 4 – Схема измерений остаточных: ширины (h) и толщины (t) вертикального ножа

Отвалы. Определение размеров и расположения износа на рабочей поверхности отвала вызывает определенные трудности, связанные с его достаточно сложной геометрической формой. Поэтому была предложена методика, заключающаяся в применении эластичной, прозрачной координатной сетки с ценой деления - 5мм. Эту сетку накладывают на рабочую сторону отвала таким образом, чтобы её обрез с целыми ячеями совпадал с полевым обрезом детали (рисунок 5).

Замеры величин износа проводилась в 5 сечениях, перпендикулярных полевому обрезу и 6-ти параллельных ему, что позволило выявить геометрическую форму износа и определить его координаты.

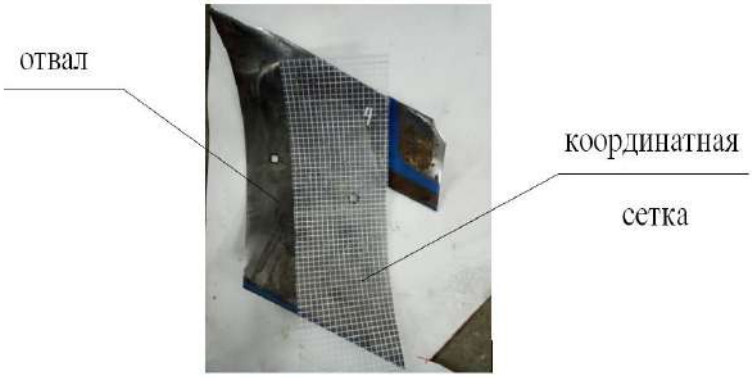


Рисунок 5 - Рабочая поверхность отвала с координатной сеткой

Величина износов в вертикальных и горизонтальных сечениях определялись через разность их максимальных и минимальных значений. За координатную ось принималась линия полевого обреза. Точки для определения координат дефектов устанавливали на пересечении линий сетки перпендикулярных и параллельных координатной оси. (Точки начала отсчета обозначались цифрами 1,2,3,4,5, а конца 1.2, 2.2, 3.2, 4.2, 5.2). Определение профиля износа по его длине (l) оценивалась остаточной толщиной отвала (t).

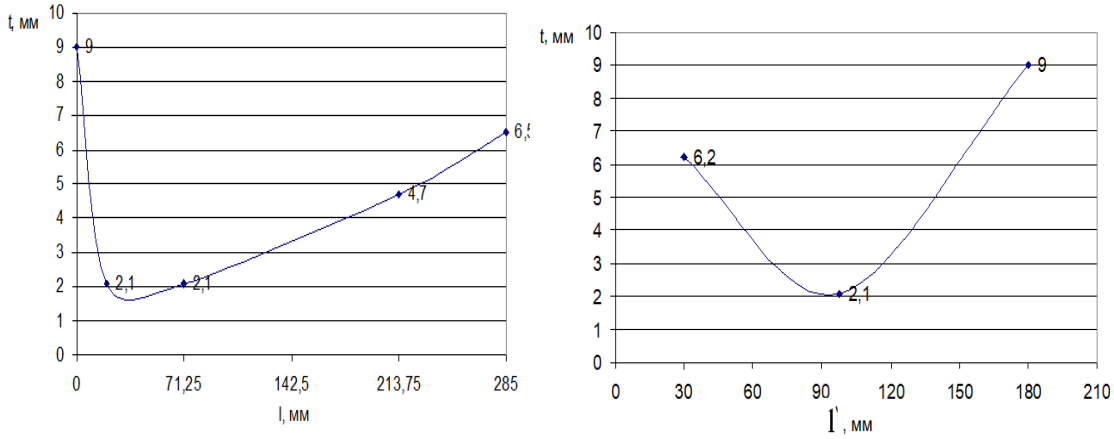
Результаты исследования и их обсуждение.

Левый нож. Все поступившие в ремонт ножи имели лучевидный износ (рисунок 6) между подрезающими частями, которые были термоупрочнены, а тыльная сторона наплавлена сормайтом. Коэффициент повторяемости (k) такого дефекта составляет 1,0. Кроме того имеет место износ лезвия с k =1,0.

Рисунок 6 - Лучевидный износ рабочей поверхности и износ лезвия.

На рисунке 7 а, б видно, что имеет место изнашивание всей площади детали. Износы с минимальными значениями остаточной толщины до 2 мм можно устранить методами наплавки. Максимальное значение t = 9 мм наблюдали на расстоянии l = 20 мм от полевого обреза (рисунок 7а). Последующее резкое уменьшение t, минимальная толщина детали соответствовала l = 20 -70 мм, сменялось нарастанием t. Такой характер эпюр «t – l», связан со спецификой давления почвы [3].

Анализ распределения остаточной толщины вдоль полевого обреза – l` (рисунок 7, б) показал максимальное значение износа для точки, расположенной в сечении V-V. Кроме этого, отмечается изнашивание лезвия с обратной стороны, хотя величина износа в этом случае невелика и составляет около 1мм



а) б)

Рисунок 7 – Распределение остаточной толщины ножа в сечения; а) - V-V (l); б) –VI – VI (l`)

Минимальная толщина ножа после наработки 25 га равна 2,1 мм, не носит критического характера. В связи с этим по этому критерию он пригоден к дальнейшему использованию.

Проведенными измерениями установлено, что износ рабочих поверхностей левых ножей имеет сложную геометрическую форму, а деталь пригодна к последующей эксплуатации. Был сделан вывод,что наработка ножа в 25 га не приводит к его предельному состоянию.

Нож правый. К характерным дефектам правых ножей, прежде всего, относится лучевидный износ носка детали в области полевого обреза. На фотографии (рисунок 8) можно наблюдать начальный период разрущения заглубляющей части). Отличительным признаком подобного дефекта, как выяснилось в результате контроля, является его наличие в двух сечениях (рисунок 8), что может приводить к излому заглубляющей части. Еще один дефект выражается в износе лезвийной области. Его оценка проводится путем измерения остаточной ширины детали, при этом у наблюдаемых изделий сохранилась заточка лезвия и наплавленный с тыльной стороны абразивостойкий слой сплава-сормайт на ширину 5мм, что позволяет их дальнейшую эксплуатацию. Коэффициент выше означенных износов равен 1,0.

Рисунок 8 – Характерные износы правого ножа: лучевидный в носовой части и лезвия

Минимальная остаточная ширина ножа (h) составляет около 87,0мм (рисунок 9**)**, что указывает на максимальный износ лезвийной области в 13 мм, при допускаемом 20 мм. Было установлено, что величина h по длине ножа (l) меняется несущественно и разность между максимальным и минимальным значениями не превышает 1,7 мм из-за наличия наплавленного с тыльной стороны слоя твердостью около 70HRC. Несколько большее значение износа по ширине в области пятки обусловлено снижением жесткости и присутствием вибраций [5]. Исходя из вышезложенного, обследованные ножи пригодны к последующему использованию.

Измерениями показано, что толщина ножа (t) вдоль спинки и режуще-лезвийной части (l) не постоянны и различны по характеру (рисунок 10, графики 1 и 2). Так, согласно эпюре 1 минимальная толщина детали находится в области полевого обреза (7,7 мм), при этом износ равен 2,3 мм.

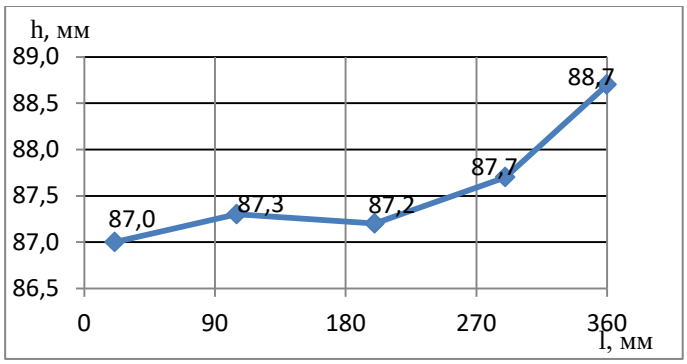


Рисунок 9 – Кривая распределения остаточной ширины по длине ножа

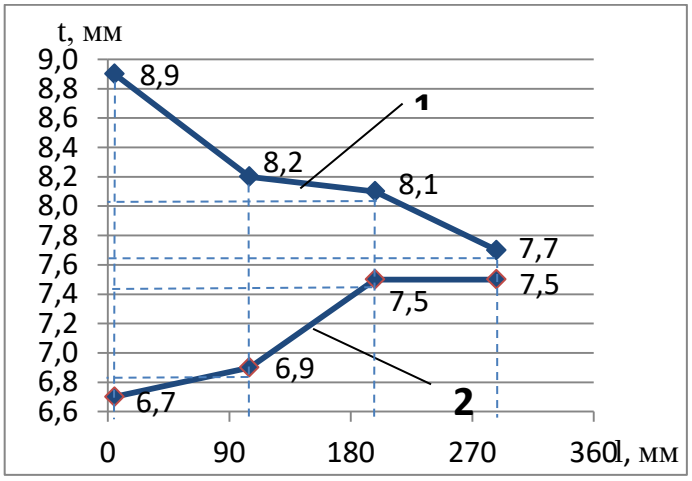


Рисунок 10 – Эпюры изменения остаточной толщины ножа по его длине: 1 – вдоль спинки ножа; 2 – вдоль режуще-лезвийной части

В районе пятки износ минимален (1,1 мм), поэтому не влияет на агротехнические критерии вспашки. Увеличенный износ в области полевого обреза связан с повышенным давлением почвы. На эпюре «t - l» вдоль режуще-лезвийной части можно отметить явление обратное распределению остаточной толщины, по отношению к спинке (рисунок 10, кривая 2), износ имеет максимальное значение в районе пятки и минимальное - в носовой части. Таким образом, износ по t не является причиной предельного состояния ножа и непригодности к дальнейшему использованию, деталь сохраняет достаточные прочность и жесткость и способна выполнять агротехнические требования при пахоте.

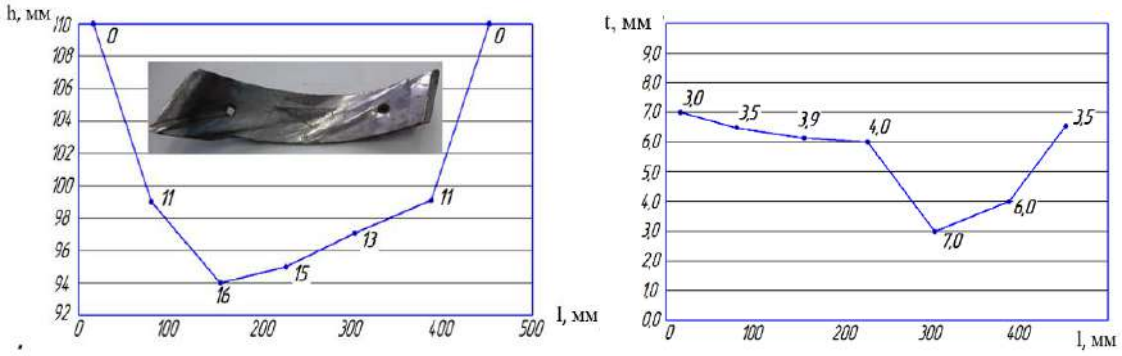
Вертикальный нож.

а)

б)

Рисунок 11- Износы вертикальных ножей (а - лучевидный и режущей части; б - лучевидный с изломом и местным разрушением).

Боковая часть вертикального ножа в большей степени подвержена истиранию, на ней появляется характерный лучевидный износ (рисунок 11а, б), развитие которого может привести к истончению режущей области влоть до возниеновения сквозного отверстия (рисунок 11б). Наблюдается частичное истирание боковой области вне зоны термоупрочнения. Подрезающая же область остается пригодной для дальнейшей эксплуатации. Определена повторяемость дефектов: лучевидного истирания -1.0; истирние боковой части -1,0; протирание – 0,1. Пригодность ножа к дальнейшей эксплуатации и восстановлению зависит от его допустимых остаточных ширины (h) и толщины (t). Полевыми испытаниями, установлено, что износ по ширине до 20 мм не приводит к заметному снижению качества вспашки. Данные рисунка 12а показывает неравномерность остаточной ширины по длине детали и подтверждается фотографией типично изношенного ножа. Наблюдается смещение в сторону заглубляющей области минимальной остаточной толщины. Максимальный износ смещен из-за большего давления почвы и составляет 94 мм (износ равен 16 мм), что позволяет продолжать использование детали (рисунок 12б). Отмечается фактическое отсутствие износа лезвийной области ножа из-за наплавленного абразиво- стойкого слоя с твердостью около 70 HRC на тыльной поверхности.



а) б)

Рисунок 12 – Эпюра остаточной ширины h (а) и толщины t (б) ножа по длине (l) детали (цифрами указаны значения износов, мм)

Исследования показали, что «ненагруженный» полевой обрез подвержен изнашиванию, максимальный износ может достигать до 7 мм при остаточной толщине 3 мм. Причиной появления такого дефекта является лучевидный износ, возникающий перпендикулярно перемещению почвы. Безусловно, его возникновение отрицательно скажется на ресурсе детали при ее обороте. Остаточная толщина в 3 мм близка к предельной. Но в целом, по остаточной толщине «ненагруженного» полевого обреза можно сделать вывод о возможности дальнейшего использования ножа. Значение t «нагруженного» полевого обреза может достигать значений около 1 мм, что исключает применение наплавочных методов устранения износа. Однако, на такие детали приходится не более 20 % от общего числа обследованных, и, как правило, все они имеют сквозные протирания.

Отвалы. На контролируемых отвалах выявили два износа: лучевидный износ рабочей поверхности с выходом на полевой обрез (рисунок 13) и износ изогнутого элемента крыла отвала.

Как следует из рисунка 14 геометрия износа в горизонтальной плоскости представляет собой форму «лодки» с некоторой ассиметрией. При этом поверхность отвала на расстоянии около 50 мм не подвергается изнашиванию по причине того, что конструкцией предусмотрена установка вертикального ножа несколько выше плоскости рабочей поверхности отвала, позволяющая фактически избежать контакта почвы с этим участком.

Наличие сужения износа в нижней области детали (рисунок 14) объясняется относительно высокой комковатостью почвы, что в процессе ее перемещения приводит к снижению степени царапания и увеличению вероятности перекатывания частиц.

Рисунок 13 – Отвал после наработки 25 га

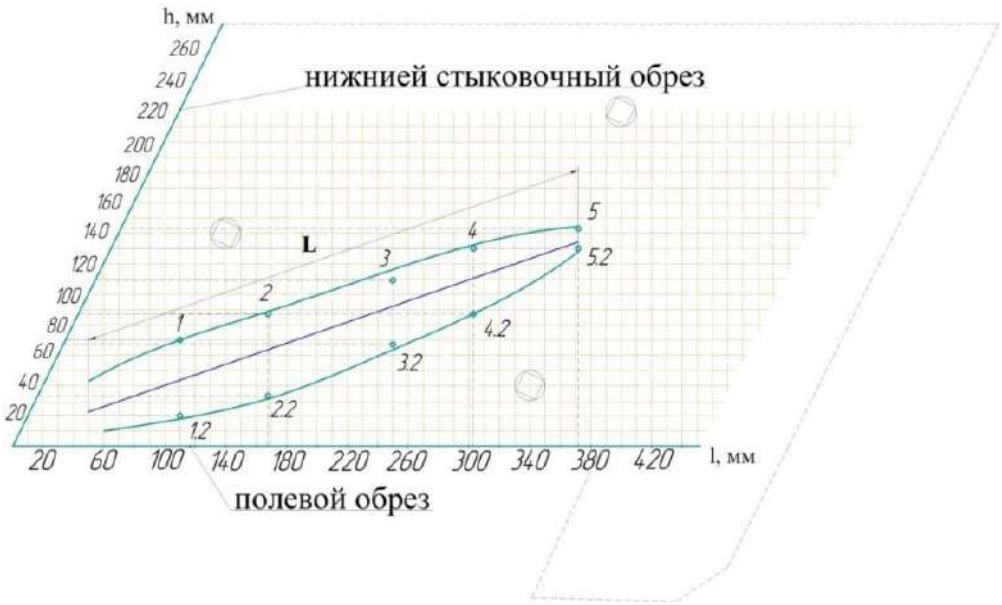


Рисунок 14 – Форма непрофильного износа рабочей поверхности

Дальнейшее развитие износа носит лучевидный характер (рисунок 14), обусловленный веерным перемещением почвенной массы, увеличением степени царапания из-за большего крошения почвы и сравнительно высокого ее давления на контактную поверхность.

Последующее сужение профиля износа связано с минимизацией воздействия почвы вследствие падения ее давления на рабочую поверхность и значительным рассеиванием частиц.

Минимальные значения t имеют место в диапазоне l от 100 до180 мм. Т.е. максимальный износ смещен в сторону полевого обреза или в начало его формирования (рисунок 15). Такое положение обусловлено следующим: 1-давление почвы на данном участке достаточно велико; 2-величина комков почвы уже обеспечивает превалирование эффекта резания. В верхней области «лодки» износа остаточная толщина по своему значению приближается к нормативному значению для отвалов в состоянии поставки и составляет около 9 мм.

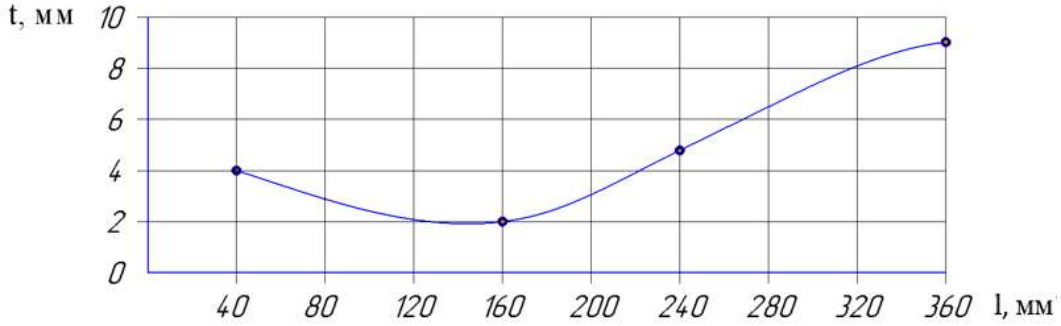


Рисунок 15 - Профиль лучевидного износа по толщине отвала

Выводы.

1. Разработана методика измерения линейных размеров непрофильных износов отвалов, заключающаяся в применении эластичной, прозрачной координатной сетки.
2. Износ рабочих поверхностей левых ножей имеет сложную непрофильную геометрическую форму; его износ по ширине после наработки 25 га он не превышает 8 мм, а минимальная толщина составляет около 2мм, поэтому деталь пригодна к дальнейшему использованию.
3. Правые ножи после вспашки 25 га пригодны к дальнейшей эксплуатации, так как максимальный износ по ширине - 13 мм, по толщине - 2,3 мм (за исключением изделий с разрушенной заглубляющей частью по причине чрезмерного развития лучевидного износа), что позволяет выдерживать агротехнические требования. Кроме этого, сохраняются его прочность и жесткость.
4. Максимальный износ полевого обреза вертикального ножа составляет 16 мм, после наработки 25 га, что позволяет продолжить использование детали; износ лезвийной области отсутствует вследствие наплавленного на тыльной поверхности слоя твердостью около 70 HRC.
5. Износ рабочей поверхности отвалов скоростных плугов имеет специфический непрофильный износ в виде «лодки». После наработки 25 га он пригоден к эксплуатации.
6. Хотя фактически все контролируемые детали скоростного плуга пригодны к дальнейшей эксплуатации необходимо проведение упрочнения с целью торможения дальнейшего развития износа.

Список источников

1. Титов В.Н., Бочкарева Ю.В. 1. Конструктивные особенности усовершенствованного корпуса плуга "ПСКу"// АгроЭкоИнфо. - 2018. - № 3 (33). - С. 59.
2. Клинк Г.В., Бурменко Ф.Ю., Димогло А.В., Гончарук А.А., Юрченко Е.В. Поисковые исследования и полевые испытания плуга ПСКу-5 с упрочненными рабочими органами методом электроискрового легирования// Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. - 2019. - № 3 (63). - С. 169-172.
3. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Соловьев Р.Ю., Багринцев О.О. Результаты производственной проверки экспериментальных упрочненных износостойкими материалами ножей скоростных плугов// Инновации в АПК: проблемы и перспективы. - 2020. - № 3 (27). - С. 90-97.
4. Орехова Г.В., Шаев А.В., Астапеченко А.М., Ковалев А.С. Заводская технологичность левых ножей скоростных плугов серии ПСКу, их износы, методы торможения и устранения// Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2022. № 1. С. 46-53.
5. Аулов В.Ф., Лялякин В.П., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Иванайский В.В. 1.Разработка технологии упрочнения рабочих органов сельхозмашин с большим износом // Труды ГОСНИТИ. - 2016. - Т. 123. - С. 164-167.

References

1. Titov V.N., Bochkareva Yu.V. 1. Design features of the improved plow body "PSKu" // AgroEcoInfo. - 2018. - No. 3 (33). - S. 59.

2. Klink G.V., Burmenko F.Yu., Dimoglo A.V., Goncharuk A.A., Yurchenko E.V. Search studies and field tests of the PSKu-5 plow with hardened working bodies by the method of electrospark alloying // Bulletin of the Pridnestrovian University. Series: Physical, mathematical and technical sciences. Economics and Management. - 2019. - No. 3 (63). - S. 169-172.

3. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Soloviev R.Yu., Bagrintsev O.O. Results of a production check of experimental high-speed plow knives hardened with wear-resistant materials// Innovations in the AIC: Problems and Prospects. - 2020. - No. 3 (27). - S. 90-97.

4. Orekhova G.V., Shaev A.V., Astapechenko A.M., Kovalev A.S. Factory manufacturability of the left knives of high-speed plows of the PSKu series, their wear, methods of braking and elimination / / Proceedings of the Faculty of Engineering and Technology of the Bryansk State Agrarian University. 2022. No. 1. S. 46-53.

5. V. F. Aulov, V. P. Lyalyakin, A. V. Ishkov, N. T. Krivochurov, and V. V. Ivanaiskii, Russ. 1. Development of technology for hardening the working bodies of agricultural machines with high wear // Proceedings of GOSNITI. - 2016. - T. 123. - S. 164-167.

Информация об авторах

А.М. Михальченков – доктор технических наук, профессор; С.А. Феськов – кандидат технических наук, доцент; А.В. Кубышкин – кандидат экономических наук, доцент.

Information about the authors

A. Mikhalchenkov – Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Feskov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Kubyshkin – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 15.09.2022 Принята к публикации (Accepted): 05.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.331.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-48-52

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОШНИКА ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ С ШАРНИРНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ НАПРАВИТЕЛЯ СЕМЯН И РЫХЛИТЕЛЯ ПОЧВЫ С КОРПУСОМ

Андрей Геннадьевич Зубарев[1], Игорь Юрьевич Кукушкин[2], Николай Петрович Ларюшин[3], Александр Васильевич Шуков[4]
[1,2,3,4] Пензенский государственный аграрный университет», г. Пенза, Россия
[1]larushinnp@mail.ru, [2] larushinnp@mail.ru, [3]larushinnp@mail.ru, [4]Sashka-shukov@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Николай Петрович Ларюшин, larushinnp@mail.ru
Corresponding author Nikolay Laryushin, larushinnp@mail.ru

Реферат. *Равномерность раскладки семян по длине и глубине рядка (шаг посева) зависит от правильной работы сошника зерновой сеялки, но не все современные сошники обладают данными показателями, поэтому учеными Пензенского ГАУ был разработан сошник зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника, использование которого решает эту проблему. Распределение семян ярового ячменя сорта «Сурский фаворит» по глубине заделки при использовании разработанного сошника, по сравнению с показателями, полученными при использовании стандартного двухдискового сошника, исследовалось в ходе лабораторно-полевых испытаний. По полученной графической зависимости, характеризующей распределение семян по глубине заделки, в зависимости от типа сошников, установлено, что количество семян в заданном слое 4-6 см при посеве сошником зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника и стандартным двухдисковым сошником сеялки СЗ-5,4 составляет 91% и 77%, соответственно. При использовании экспериментального сошника произойдет снижение неравномерности распределения семян по глубине бороздки, что в свою очередь окажет влияние на повышение урожайности. Урожайность в среднем повысится на 12 %, по сравнению со стандартным сошником.*

Ключевые слова: *экспериментальный сошник, зерновая сеялка, посевной материал, направитель, рыхлитель.*

FIELD STUDIES OF THE COULTER OF A GRAIN SEEDER WITH A HINGED CONNECTION OF A SEED GUIDE AND A RIPPER SOILS WITH BODY

Andrey Zubarev[1], Igor Kukushkin[2], Nikolay Laryushin[3], Alexander Shukov[4]
[1,2,3,4] Penza State Agrarian University", Penza, Russia
[1]larushinnp@mail.ru, [2] larushinnp@mail.ru, [3]larushinnp@mail.ru, [4]Sashka-shukov@yandex.ru

Abstract. *The uniformity of seed distribution along the length and depth of the row (sowing spacing) depends on the correct operation of the opener of the grain seeder, but not all modern openers have these indicators, so the scientists of the Penza State Agrarian University developed a grain seeder opener with a hinged connection of the seed guide and soil cultivator with the opener body, using which solves this problem. The distribution of seeds of spring barley variety "Sursky Favorit" by the depth of placement when using the developed coulter, compared with the indicators obtained using a standard double-disk coulter, was studied in the course of laboratory and field tests. According to the obtained graphic dependence, which characterizes the distribution of seeds according to the depth of placement depending on the type of coulters, it was found that the number of seeds in a given layer is 4-6 cm when sowing with a coulter of a grain seeder with a hinged connection of the seed guide and soil ripper with the coulter body and a standard double-disk seeder coulter SZ-5.4 is 91% and 71%, respectively. A decrease in the*

uneven distribution of seeds along the depth of the furrow will occur when using an experimental coulter, which in turn will affect the increase in yield. Yields will increase by 12% on average compared to the standard coulter.

Keywords: *experimental coulter, grain seeder, seed material, guide, ripper.*

Для цитирования: Зубарев А.Г., Кукушкин И.Ю., Ларюшин Н.П., Шуков А.В. Полевые исследования сошника зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом. 2022. № 5 (59), С. 48-52. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-48-52.

For citation: Zubarev A, Kukushkin I, Laryushin N, Shukov A. Field studies of the coulter of a grain seeder with a hinged connection of a seed guide and a ripper soils with body. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 48-52. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-48-52.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский фонд фундаментальных исследований» (договор №19 – 38 – 90158/19).

Acknowledgments: The work was supported financially by the Federal State Budgetary Institution “Russian Foundation for Basic Research” (contract No. 19 – 38 – 90158/19)

Введение. Сошник является важным рабочим органом в сеялке, отвечающим за равномерное распределение семян в рядке при посеве. В мировой практике встречаются различные типы сошников, применяемых на зерновых сеялках [1-5]. В большинстве случаев они имеют корпус, два диска, направитель посевного материала в борозду и рыхлитель почвы. К недостаткам таких конструкций сошников относятся, жесткое крепление направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника, в результате их работы происходит образование наклона дна борозды и осыпание стенок, образование заторов в трубе направителя прямоугольного сечения, увеличивается тяговое сопротивление сошника, что скажется на тяговое сопротивление всей сеялки, увеличивается задержание растительных остатков трубой направителя прямоугольного сечения, что приведет к стремлению сошника подняться вверх бороздки. Всё выше сказанное снижает уплотнение дна бороздки, равномерность распределения семян по длине и глубине их заделки, качество посева и урожайность возделываемых культур.

Этих недостатков должен быть лишен разработанный Учеными ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ сошник зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника [5]. Использование такого рабочего органа предполагает хорошее уплотнение дна борозды, исключение перемещения семян с почвой при посадке, малую высоту падения семян, снижение скорости их выброса, уменьшение тягового сопротивления сошника, повышение производительности и надежности его работы, улучшение качественных показателей посева семян. Исследования сошника зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника непосредственно при работе с целью определения равномерности распределения семян при посадке является актуальным.

Материалы и методы.

На рисунке 1 изображен сконструированный в ФГБОУ ВО Пензенском ГАУ сошник зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника. Что касается особенностей конструкции, он состоит из корпуса (1), на котором под углом крепятся два диска (2), для образования бороздки, направитель посевного материала (семена и удобрения) и рыхлитель почвы, выполненные совместно и представляют из себя трубу прямоугольного сечения (3), каток для прикатывания посевного материала к дну бороздки (4) который крепится пружинной стойкой (5) к корпусу сошника. Направитель посевного материала и рыхлитель почвы соединен шарнирно к воронке (6) горловины (7).

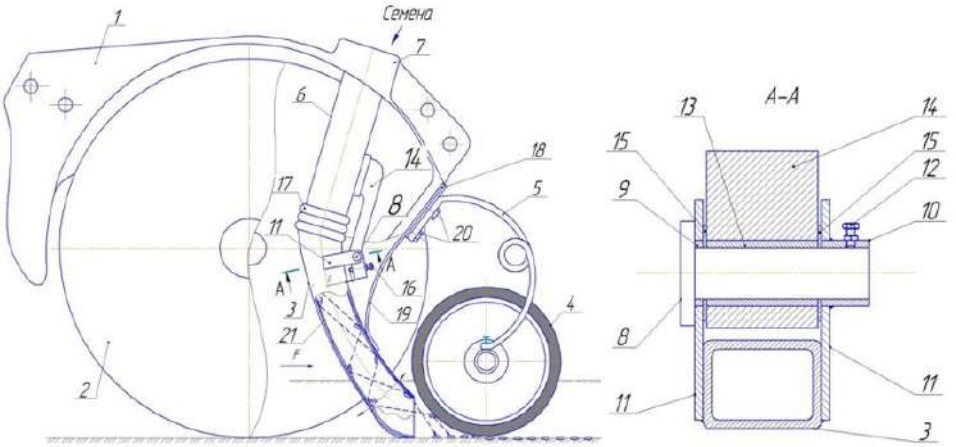
При движении сошника зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника во время посева, диски, установленные под углом, нарезают в почве бороздку для равномерной раскладки семян и удобрений. Посевной материал,

проходя через воронку (6) горловины (7) корпуса (1) сошника, попадает через гибкий рукав (17) в трубу 3 направителя и рыхлителя. Из трубы (3) направителя и рыхлителя посевной материал подается в борозду и прикатывается катком.

Лабораторно-полевые исследования [6,7] выполнялись в соответствии с [8] и СТО АИСТ 5.6-2010 «Сеялки тракторные. Методы испытаний».

Для проведения лабораторно-полевых исследований использовалась сеялка СЗ-5,4 (рисунок 2, а), оснащенная экспериментальными сошниками с шарнирными соединениями направителей семян и рыхлителей почвы с корпусами сошников (рисунок 2, б). Исследования проводились на полях КФХ Антонов Иссинского р-на Пензенской области в 2021 г.

Целью исследований сеялки СЗ-5,4, оснащенной экспериментальными сошниками с шарнирными соединениями направителей семян и рыхлителей почвы с корпусами сошников, явилось изучение распределение семян ярового ячменя сорта «Сурский фаворит» по глубине заделки в зависимости от типа сошников.



1 – корпус; 2 –диски; 3 – труба прямоугольного сечения; 4 –каток для прикатывания семенного материала; 5 – пружинная стойка; 6 – воронка; 7 – горловина; 8 – шарнир; 9,10 – опоры; 11 – отверстие левого ушка; 12 – винт; 13 –втулка; 14 – отверстие кронштейна; 15 – металлическая шайба; 16 – болт; 17 – гибкий рукав; 18 – чистики; 19 –пружина; 20 – винты; 21 – резиновое покрытие.

Рисунок 1 – Схема сошника зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника

а) *б)*

Рисунок 2 - Общий вид сеялки СЗ-5,4 оснащенной экспериментальными сошниками с шарнирными соединениями направителей семян и рыхлителей почвы с корпусами сошников: а) посевной агрегат в работе на поле; б) экспериментальный сошник зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника

Результаты и их обсуждение

В результате обработки опытных данных, полученных в полевых условиях, построили графическую зависимость, характеризующую распределение семян ярового ячменя сорта «Сурский фаворит» по глубине заделки в зависимости от типа сошников (Сошник зерновой

сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника и стандартный двухдисковый сошник), имеющую четкий максимум, которая приведена на рисунке 3. В принципе семена попадают на глубину 1-7 см, наибольший процент семян при посеве приходится на глубину 4-6 см для обоих исследованных сошников. Для экспериментального сошника максимальный процент семян в слое на 20 % выше, чем для стандартного сошника.

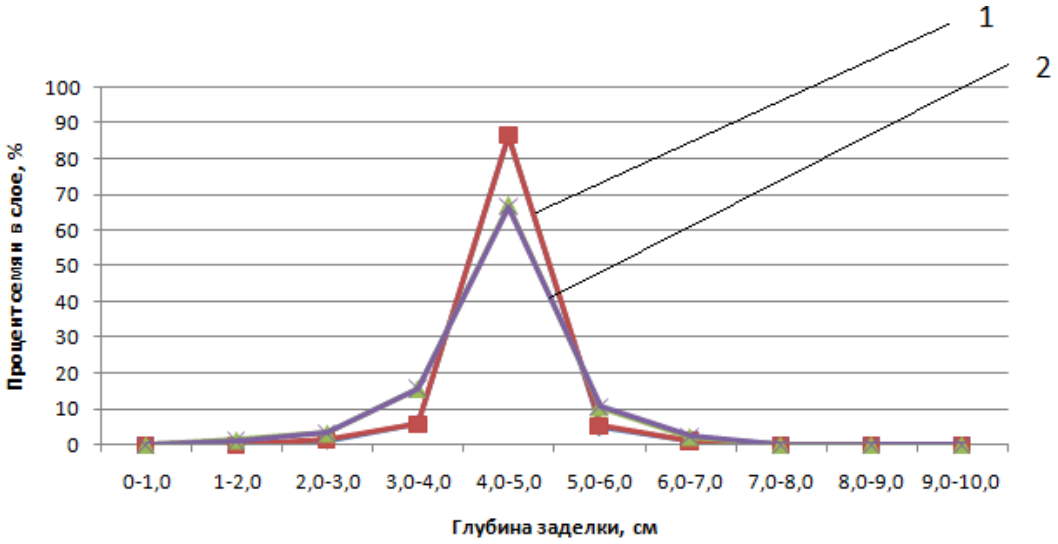


Рисунок 3 - Графическая зависимость распределение семян ярового ячменя сорта «Сурский фаворит» по глубине заделки в зависимости от типа сошников: 1 - экспериментальны сошник зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника, 2 – базовый сошник

Заключение. Благодаря использованию посевного агрегата, сеялка которого оснащена сошниками зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника позволяет распределять семена зерновых культур более равномерно по глубине и длине рядка по сравнению с серийными сошниками сеялки СЗ-5,4, при этом соблюдаются агротехнические требования, предъявляемые к качеству заделки семян. Так количество семян в заданном слое 4-6см при посеве экспериментальными сошниками и сошниками сеялки СЗ-5,4 составляет 91% и 71% соответственно, а средняя урожайность ячменя после посева экспериментальными сошниками дает прибавку, в среднем на 12%, по сравнению с сошниками сеялки СЗ-5,4.

Список источников

1. Ларюшин, Н.П. Посевные машины. Теория, конструкция, расчёт / Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, В.В. Шумаев [и др.] – Москва: Росинформагротех, 2010.- 292 с.
2. Петухов, Д.А. Современные посевные машины / Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Техника и оборудования для села. – 2012. – № 1. – С. 18–21.
3. Ларюшин Н.П., Ванин Д.В., Шумаев В.В., Кирюхина Т.А. Конструкция сошника сеялки для посева зерновых культур //Нива Поволжья. 2018. № 4 (49). С. 137-143.
4. Ларюшин, Н.П. Технология и средство механизации посева мелкосеменных масличных культур комбинированными сошниками сеялки. Теория, конструкция, расчет/ Н.П. Ларюшин, В.В. Шумаев, А.В. Шуков. – Пенза : РИО ПГАУ, 2018 .— 179 с.
5. Конструкция сошника зерновой сеялки с шарнирным соединением направителя семян и рыхлителя почвы с корпусом сошника / Н. П. Ларюшин, И. Ю. Кукушкин, А. В. Шуков, Т. А. Кирюхина // Нива Поволжья. – 2021. – № 2(59). – С. 151-156.

6. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с

7. Лабораторные исследования сошника зерновой сеялки с заделывающим устройством борозды / С. В. Бричков, Н. П. Ларюшин, А. Н. Калабушев, А. В. Шуков // Нива Поволжья. – 2021. – № 3(60). – С. 97-101.

8. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Москва: Изд-во стандартов, 2007. – 28 с.

References

1. Laryushin, N.P. Seeding machines. Theory, design, calculation / N.P. Laryushin, A.V. Machnev, V.V. Shumaev [and others] - Moscow: Rosinformagrotekh, 2010.- 292 p.

2. Petukhov, D.A. Modern sowing machines / D.A. Petukhov, V.V. Serdyuk // Technique and equipment for the village. - 2012. - No. 1. - P. 18–21.

3. Laryushin N.P., Vanin D.V., Shumaev V.V., Kiryukhina T.A. The design of the coulter of the seeder for sowing grain crops //Niva Povolzhya. 2018. No. 4 (49). pp. 137-143.

4. Laryushin, N.P. Technology and means of mechanization of sowing small-seed oilseeds with combined coulters of a seeder. Theory, design, calculation / N.P. Laryushin, V.V. Shumaev, A.V. Shukov. - Penza : RIO PGAU, 2018 .- 179 p

5. Laryushin N. P., Kukushkin I. Yu., Shukov A. V., Kiryukhina T. A. Design of the opener of a grain seeder with a hinged connection of the seed guide and soil ripper with the opener body // Niva Povolzhya. - 2021. - No. 2 (59). - S. 151-156.

6. Dospekhov, B.A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). - 5th ed., add. and reworked. - Moscow: Agropromizdat, 1985. - 351 p.

7. Brichkov S. V., Laryushin N. P., Kalabushev A. N., Shukov A. V. Laboratory studies of the coulter of a grain seeder with a furrow closing device // Niva Povolzhya. - 2021. - No. 3(60). - S. 97-101.

8. GOST R 52778-2007. Testing of agricultural machinery. Methods of operational and technological assessment. - Moscow: Publishing House of Standards, 2007. - 28 p.

Информация об авторах

Зубарев А.Г. - аспирант; Кукушкин И. Ю. – аспирант; Ларюшин Н.П. – доктор технических нак, профессор; Щуков А.В.- кандидат технических наук, доцент

Information about the authors

A. Zubarev. - postgraduate student; I. Kukushkin – postgraduate student; N. Laryushin - Doctor of Technical Sciences, professor; A. Schukov - candidate of technical sciences, associate professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 07.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 07.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.3.004
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-53-61

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИКИ

***Николай Петрович Тишанинов*[1]**
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия
[1]vniitinlab5@mail.ru

Реферат. *Установлено, что в структуре оценочных критериев ГОСТ 34393 -2018 отсутствует компонент затрат от условий труда обслуживающего персонала. Это обеспечивает повышение объективности оценок в сравнении с ГОСТ Р 53056-2008. Анализ затрат от изменения количества и качества продукции показал, что возможности их учета ограничиваются случаем, когда они имеют знак «-» относительно базы сравнений. При этом величина затрат определяет упущенную выгоду, а в случае, когда они имеют знак «+» расчетная процедура утрачивает смысл, так как положительные изменения количества и качества продукции являются источником образования экономического эффекта, который нельзя суммировать с издержками. Анализом подтверждено, что в состав совокупных затрат денежных средств необоснованно включены издержки от нерационального использования посевного материала, а издержки от повреждения сельскохозяйственной продукции учитывают только один вид повреждения (дробление) только одного вида продукции (зерна). Составляющая затрат по ГОСТ 34393-2018 от нерационального использования семян, оцениваемого всхожестью, зависит от множества факторов, которые не связаны с техническим уровнем оцениваемой машины, а в состав других повреждений зерна входят: обрушивание; микроповреждение зародыша. Анализ методов определения экономических показателей по ГОСТ 34393-2018 подтвердил, что расчетные процедуры по оценке потерь сельскохозяйственной продукции ограничивают применение стандарта уборочными машинами и перерабатывающими комплексами, а расчетные процедуры по оценке повреждения сельскохозяйственной продукции ограничивают применение стандарта посевными и зерноочистительными машинами при частичном учете совокупности единичных показателей качества процессов. Методы оценки эффективности техники по ГОСТ 34393-2018 малопродуктивны в выработке решений по ее модернизации и эффективному использованию.*

Ключевые слова: *стандарт, метод, критерии эффективности, объективность, универсальность, продуктивность, техника сельскохозяйственная.*

DISTINCTIVE FEATURES OF THE INTERSTATE STANDARD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF EQUIPMENT

***Nikolai Tishaninov*[1]**

[1]All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniitinlab5@mail.ru

Abstract. *It has been established that in the structure of the evaluation criteria GOST 34393 -2018 there is no cost component from the working conditions of the service personnel. This provides an increase in the objectivity of assessments in comparison with GOST R 53056-2008. An analysis of the costs of changing the quantity and quality of products showed that the possibility of their accounting is limited to the case when they have a "-" sign relative to the comparison base. At the same time, the value of costs determines the lost profit, and in the case when they have a "+" sign, the calculation procedure*

loses its meaning, since positive changes in the quantity and quality of products are a source of economic effect that cannot be summed up with costs. The analysis confirmed that the total cost of funds unreasonably includes the costs of the irrational use of seed, and the costs of damage to agricultural products take into account only one type of damage (crushing) of only one type of product (grain). The cost component according to GOST 34393-2018 from the irrational use of seeds, assessed by germination, depends on many factors that are not related to the technical level of the evaluated machine, and other damage to the grain includes: breaking; embryo micro damage. An analysis of methods for determining economic indicators in accordance with GOST 34393-2018 confirmed that the calculation procedures for assessing losses of agricultural products limit the application of the standard by harvesting machines and processing complexes, and the calculation procedures for assessing damage to agricultural products limit the application of the standard by sowing and grain cleaning machines with partial consideration of the totality of single indicators process quality. Methods for evaluating the effectiveness of equipment according to GOST 34393-2018 are unproductive in developing solutions for its modernization and efficient use.

Keywords: *standard, method, efficiency criteria, objectivity, universality, productivity, agricultural machinery.*

Для цитирования: Тишанинов Н.П. Отличительные особенности межгосударственного стандарта оценки эффективности техники // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 53-61. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-53-61.

For citation: Tishaninov N. Distinctive features of the interstate standard for assessing the efficiency of equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 53-61. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-53-61.

Введение. Длительное время управление научно-техническим прогрессом (НТП) в нашей стране осуществлялось на методической основе, которая вызывала у специалистов существенные критические замечания. Результатом такого управления стало отставание отечественных технологий для сельскохозяйственного производства от зарубежных аналогов. В качестве главного критерия оценки эффективности техники использовался показатель «приведенных затрат в расчете на единицу наработки». За долгие годы к этому критерию привыкли участники НТП – он широко использовался при обосновании отраслевой «Системы машин», оценке новой техники при испытаниях, в экономических обоснованиях научно-технических программ, в учебном процессе. Академик Ю.А. Конкин считал, что «приведенные затраты…» являются основным показателем оценки производственной эксплуатации машин. Той же позиции придерживался академик Н.М. Морозов, который руководил разработкой отраслевой «Системы машин». В 80-е годы отставание отечественной техники от зарубежной по техническому уровню стало существенным, появилась содержательная критика методов управления НТП. Участники НТП с большим пониманием стали относится к критике основ выработки решений, которые фактически стимулировали негативные тенденции – рост размерных характеристик, обеспечивающих расчетную экономию живого труда, и игнорирование критериев качества работ. Эти тенденции породили «гигантоманию» и острую проблему использования техники. В конце 80-х годов был разработан стандартный метод оценки эффективности сельскохозяйственной техники [1], в котором предусматривалась корректировка основного критерия по количеству и качеству продукции. В последующей попытке стандартизации методов оценки эффективности сельскохозяйственной техники [2] существенным дополнением явилось предложение разработчиков учитывать затраты средств на компенсацию отрицательного воздействия техники на окружающую среду. Однако, указанные этапы совершенствования методических основ управления отраслевым НТП не позволили исключить субъективность, ограниченные универсальность и продуктивность оценок. В 2019 году был введен в действие межгосударственный стандарт оценки эффективности сельскохозяйственной техники [3], в котором устранены недостатки стандарта [2] по учету наиболее спорных компонентов совокупных затрат - от изменения условий труда обслуживающего персонала и учету остаточной стоимости по базе сравнения, которая необоснованно увеличивает прирост эффективности новой техники. В

межгосударственном стандарте предложено полнее учитывать качество работ. Однако это предложение дано с перебором учета последствий от качества работ и отклонениями от требований к независимости оценок. Поэтому актуальность анализа и дальнейшего совершенствования методов оценки эффективности сельскохозяйственной техники сохраняется.

Материалы и методы

В анализе использованы отраслевые периодические издания, нормативно - техническая документация по эксплуатации сельскохозяйственной техники, методические материалы по оценке эффективности техники, результаты испытаний и опыта использования сельскохозяйственной техники в реальных условиях эксплуатации.

Результаты и их обсуждение

Стандарт [3] «устанавливает методы экономической оценки при проведении испытаний сельскохозяйственной техники». Стандарт распространяется на сельскохозяйственную технику для производства продукции растениеводства и кормопроизводства: тракторы и машины сельскохозяйственные (прицепные, полуприцепные, навесные, полунавесные, самоходные, стационарные), технологическое оборудование.

Согласно ГОСТ 34393 – 2018 в абсолютные экономические показатели оценки техники и показатели ее сравнительной экономической эффективности входят «совокупные затраты». Эти затраты определены с отличиями от их содержания и толкования в ГОСТе Р53056-2008:

- они уже не содержат убытков от условий труда обслуживающего персонала;
- они идентифицируются с «себестоимостью выполнения работ».

Вместе с тем «совокупные затраты» в ГОСТе 34393 – 2018 включают (как и в предшествующем стандарте) издержки средств от изменения количества и качества продукции ($И_{кп}$) и на охрану окружающей среды, что по прежнему вызывает вопросы:

- изменения количества и качества продукции могут быть разнознаковыми. В случае, когда они имеют знак «-» относительно базы сравнения, их следует считать упущенной выгодой, а в случае знака «+» они являются источником образования экономического эффекта;
- относительно какой базы сравнения следует исчислять «издержки средств от изменения количества и качества продукции» в расчетах абсолютных показателей экономической оценки техники?;
- на каком основании «совокупные затраты» с указанной в стандарте структурой идентифицируются с «себестоимостью выполнения работ», которая по определению [1, 2] включает только расходные составляющие и не включает упущенную выгоду или экономические эффекты?

Состоятельность других экономических показателей, включающих структуру «совокупных затрат» по ГОСТ 34393 -2018 также вызывает сомнения. Например известно, что отношение чистого дохода к себестоимости определяет рентабельность производства. Однако в случае, когда изменение количества и качества продукции в конкретных условиях производства оказалось положительными относительно базы сравнения – убытков нет и для расчета экономических эффектов, связанных с указанными изменениями, стандарт не содержит математических процедур. В итоге более эффективный труд относительно базы сравнения по стандарту не меняет оценку рентабельности производства.

В общих положениях стандарта [3] «совокупные затраты» по структуре ограничены прямыми эксплуатационными затратами, издержками от изменения количества и качества продукции, издержками на охрану окружающей среды. Однако в «методах расчета экономических показателей…» в структуру «совокупных затрат» включены издержки денежных средств от нерационального использования семян:

$$И_{сем} = (Н_{сем} - m_{всх})\ Ц_{сем}, \quad (1)$$

где $Н_{сем}$ – фактическая норма высева семян, кг/га;

$m_{всх}$ – масса семян, давших продуктивные всходы, кг/га;

$Ц_{сем}$ – цена семенного материала, НДЕ*/кг.

В стандарте величина $m_{всх}$ определяется по формуле:

$$m_{всх} = 0{,}01\ Н_{сем}\ П_{в}, \quad (2)$$

где $П_{в}$ – относительная полевая всхожесть семян, % (определяют по результатам агротехнической оценки при лабораторно-полевых испытаниях посевных машин).

Нужно отметить, что величина издержек от изменения количества и качества продукции ($И_{кп}$) связана с потребительскими свойствами оцениваемой техники и вполне может дополнять оценку ее экономической эффективности. Однако, взаимосвязь издержек денежных средств от нерационального использования посевного материала ($И_{сем}$) и потребительских свойств оцениваемой техники с той же определенностью не воспринимается.

Полевая всхожесть семян зависит от их качества, качества предпосевной обработки почвы и заделки семян, погодных условий (всхожесть может быть снижена из-за существенного недостатка влаги в почве) и многих других факторов.

Желание разработчика теснее связать экономическую эффективность техники с экономической эффективностью производства в целом явно просматривается в ГОСТе 34393 – 2018. Разработчик пытается полнее учитывать условия и результаты эксплуатации оцениваемой техники, пренебрегая, по нашему мнению, требованиями к независимости и сопоставимости оценок.

Если при оценке экономической эффективности техники ориентироваться на полноту учета факторов результативности производства (по аналогии с частной оценкой $И_{сем}$), то в общую оценку следует также включать: издержки от нерациональных способов разворотов и переездов агрегатов, которые зависят от размеров и конфигурации полей, графика работ и др.; издержки от нерациональной настройки машин, которые зависят от квалификации мастеров-наладчиков, приборного оснащения рабочих мест и др.; издержки от использования некачественных семян, неквалифицированных механизаторов, нерационально скомпонованных агрегатов, неэффективной организационной формы использования техники, которые зависят от экономической состоятельности хозяйств и культуры производства в них.

Факторы результативности производства можно перечислять и далее, но с их увеличением оценка экономической эффективности техники в каждом конкретном случае становится более ситуативной, а возможности обеспечения сопоставимости оценок снижаются до полной утраты. При этом решение базовой задачи, предусмотренной ГОСТ 34393 – 2018 – задачи сравнения оцениваемой техники, представляется все менее реалистичным.

Кроме того, расчетные процедуры для определения издержек от изменения количества и качества продукции, содержащиеся в ГОСТе 34393 - – 2018, не обладают универсальностью относительно видов техники. В частности, в совокупные затраты денежных средств на выполнение единицы наработки включают (помимо $И_{сем}$) издержки денежных средств от потерь ($И_{пj}$) и повреждения ($И_{пов}$) сельскохозяйственной продукции:

$$И_{пj} = 0{,}01\ У_{сх}\ Х_{схj}\ Ц_{сх}, \quad (3)$$

где $У_{сх}$, $Х_{схj}$ $Ц_{сх}$ – урожайность (т/га), потери (%) и цена (НДЕ/т) сельскохозяйственной продукции, получаемой с использованием j-ой техники.

$$И_{повj} = 0{,}01\ У_{сх}\ Х_{дj}\ (Ц_{сх} – Ц_{д}), \quad (4)$$

где $Х_{дj}$ – повреждение (дробление) сельскохозяйственной продукции, %;

$Ц_{д}$ – рыночная цена поврежденной (дробленной) сельскохозяйственной продукции, НДЕ/т.

Величины $И_{пj}$ и $И_{повj}$ могут быть определены лишь для отдельных видов техники – зерноуборочных комбайнов, зерноочистительных агрегатов, перерабатывающих комплексов. Однако, согласно ОСТ 70.2.30-78 [6]. Весомость показателя $И_{пj}$ (потерь) для зерноуборочных комбайнов составляет 0,2, а весомость показателя $И_{повj}$ (дробления) – 0,23. В сумме весомость этих показателей составляет лишь 0,43. При этом не учитываются другие виды отрицательных технологических эффектов – обрушивание зерна и микроповреждение зародыша с весомостью каждого в 0,11. То есть неучитываемые два показателя с весомостью 0,22 в сумме соизмеримы с весомостью показателя $И_{повj}$ и превышают весомость показателя дробления зерна ($И_{пj}$).

Другие единичные показатели качества уборки зерновых культур [6] целесообразно не учитывать из-за сложности установления их взаимосвязи с денежными издержками. Это

показатель приведенной подачи комбайна при заданном агротребованиями уровне потерь и показатель содержания зерновой массы в бункерном ворохе.

Суммарная весомость показателей $И_{пj}$ и $И_{повj}$, оцениваемых стандартом [6], применительно к зерноочистительным машинам еще ниже – 0,3-0,34. Нижняя граница диапазона суммарной весомости показателей характерна для использования зерноочистительных машин в продовольственном режиме, а верхняя – для семенного режима работы.

Кстати, эту дифференциацию стандарт [3] не учитывает. Не учитывает этот стандарт и наиболее весомый единичный показатель качества работы зерноочистительных машин – показатель чистоты зерна с весомостью 0,38-0,40. Этот показатель определяет класс продовольственного зерна и семенной стандарт, снижение которых легко выражается в денежном эквиваленте, а его значимость с учетом коммерческих надбавок (скидок) превышает значимость других показателей.

Из изложенного выше видно, что попытки разработчика связать экономическую эффективность техники с эффективностью производства в целом, которая зависит от множества факторов с трудно учитываемой вариативностью, не являются обоснованными с точки зрения объективности оценок и продуктивности вырабатываемых на их основе решений.

Очевидно, что: в структуре оценок должен быть обеспечен приоритет показателей качества работ, в наибольшей степени определяющих результативность использования машинных технологий; методы оценки необходимо дифференцировать по уровню и времени вырабатываемых на их основе решений, видам работ (технологий), характеру проявления технологических эффектов, прямо или косвенно связанных с экономической эффективностью; интегрированные технологические эффекты в денежной форме должны сопоставляться с затратами на технологию.

В достижении перевеса технологических результатов над затратами заключается смысл применения машинной технологии, а возможность их детального и объективного сопоставлении определяет продуктивность методов оценки эффективности. Эти подходы отражены в базовых методических разработках ФГБНУ ВНИИТиН [7-17].

ГОСТ 34393 – 2018 содержит методы для определения следующих показателей: экономических; ресурсосбережения; сравнительной экономической эффективности. В этом стандарте (в сравнении с ГОСТ Р53056-2008) экономические показатели не включают «остаточную стоимость техники» как источник дополнительного эффекта, снижающего уровень совокупных затрат по базе сравнения, что повышает его достоинство.

Содержащиеся в стандарте [3] экономические показатели оценки выполнения конкретного вида работ являются традиционными. Они малопродуктивны (первые два – затраты труда и прямые эксплуатационные затраты денежных средств) при изыскании резервов эффективности использования техники и повышения ее технического уровня, так как в расчетах этих показателей определяющее значение имеет производительность (W), обеспечивающая высвобождение живого труда.

Это обстоятельство стало причиной роста размерных характеристик технологических комплексов, которые в 70-80-е годы использовались в производстве со снижающейся загрузкой по времени и производительности – использовались за границами экономической эффективности. Это явление было замечено руководителями отрасли и страны и названо гигантоманией. В какой то степени по этой причине было принято решений об учреждений ВИИТиН.

Согласно ОСТ 70.2.30-78 производительность, являясь единичным показателем с весомостью 0,52 в частной обобщенной оценке (эксплуатационно-технологической) с весомостью 0,21. В интегральной оценке техники она имеет весомость $0{,}52 \times 0{,}21 \approx 0{,}11$. С той же невысокой степенью производительность влияет на результативные экономические показатели при выполнении i-го вида работ. Кроме того влиять на производительность машин при оперативном управлении производством сложно. Она ограничена требованиями к качеству работ, которое кратно весомее W, состоянием агрофона и погодными условиями [9].

Важнее другое – рост размерных характеристик технологических комплексов приводит к росту часовых эксплуатационных затрат, а их загрузка по времени и производительности в реальных условиях производства снижается, что исключает окупаемость затрат технологическими

результатами [7, 8, 12, 14]. Поэтому, чем больше их паспортная производительность, тем больше ущерб от эксплуатации.

Например, комплексная загрузка кормоцехов КОРК-15 составляла 1,5-48% от номинальной, а технологический эффект в единицу основного времени при переработке 2^x-3^x компонентов кормов был кратно ниже расчетного. Поэтому они использовались с отрицательным годовым экономическим эффектом, составляющим в среднем 4,8 млн. руб. по современному курсу [8].

Технологические комплексы для приготовления витаминной муки не окупали даже расход дизельного топлива на процесс сушки (200 кг/ч). Хотя на машинах комплекса были установлены еще и электроприводы суммарной мощностью N=300 кВт, комплекс обслуживали 2 оператора, производство зеленки для получения витаминной муки обходились дорого. В итоге отрицательная рентабельность ее производства превышала 50%.

Экономические показатели на единицу выполненных работ по ГОСТ 34393-2018 не обладают универсальностью относительно видов оцениваемой техники в части объективного учета последствий изменения количества и качества продукции. Для большинства машинно-технологических агрегатов (МТА), выполняющих промежуточные операции, где событие получения продукции отсутствует, возможности такой оценки исключены [10, 11]. Хотя и в предпочтительных для оценки случаях (уборочная техника, перерабатывающие комплексы), где получение продукции объективно присутствует, полнота оценки технологических эффектов по совокупности единичных показателей качества работ вызывает сомнения.

Даже в указанных выше предпочтительных случаях применения стандарта [3] исключается возможность оценки целесообразности эффективного использования техники и технологий на основе сопоставления эксплуатационных затрат и технологических результатов. По традиции разработчиком стандарта [3] технологические результаты даже в предпочтительных случаях оценки включены в общие затраты. В то же время для обеспечения результативности оценки эффективности техники, когда обеспечивается обоснованность решений о целесообразности применения технологии и повышении ее эффективности в конкретных условиях производства по максимально очевидным резервам, необходимо технологические эффекты переводить в денежный эквивалент и сопоставлять его с затратами на технологию в единицу эксплуатационного времени [12, 13].

В состав показателей ресурсосбережения стандарта [3] входят:

- совокупные затраты денежных средств на годовой фактический i-ый вид работ;
- совокупные затраты денежных средств на условный объем (1000 га) i-го вида работ;
- потребность в технике;
- потребность в механизаторах и вспомогательных рабочих;
- потребность в топливе (энергии, газе);
- потребность в капитальных вложениях.

Вышеуказанные показатели не отличаются продуктивностью вырабатываемых на их основе решений. Их следовало бы называть показателями оценки потребности в финансовых и материальных ресурсах сельскохозяйственного производства. Однако на экономию ресурсов эти оценки также не ориентируют участников научно-технического процесса (НТП) – разработчиков, заказчиков, потребителей и др. Кроме того, стремление к экономии ресурсов производства является спорным. С ростом эффективности сельскохозяйственного производства его ресурсоемкость постоянно возрастает. Применение показателей ресурсосбережения (потребности в ресурсах) ограничивается, по нашему мнению, случаями планирования нового производства специалистами с недостаточными практическими знаниями.

Показатели сравнительной экономической эффективности отражают экономию затрат и потребности в ресурсах соответственно по экономическим показателям и показателям ресурсосбережения в расчете на годовой фактический и условный (1000 га) объемы работ.

Показатели базируются на совокупных затратах денежных средств по сравниваемым образцам техники. Поэтому все указанные выше недостатки оценок (необъективность, частичность учета единичных показателей качества работ, неуниверсальность относительно видов техники, ограниченная продуктивность в выработке решений и др.) характерны и для показателей сравнительной экономической эффективности.

Выводы:

1. Структура совокупных затрат денежных средств на выполнение единицы наработки в межгосударственном стандарте отличается от структуры по ГОСТ Р53056 – 2008 – исключены убытки от условий труда обслуживающего персонала, что частично повышает определенность калькулирования затрат. Однако, неопределённость выбора базы сравнения для оценки убытка от изменения количества и качества продукции сохраняется.

2. Совокупные затраты в межгосударственном стандарте идентифицируются с себестоимостью работ, хотя составляющая от изменения количества и качества продукции может иметь разный знак, что в случае выигрыша относительно базы сравнения (прибавки количества и качества продукции) нарушает логику построения и содержания показателя. Эта составляющая превращается в источник образования экономического эффекта.

3. Возможности учета «убытков от изменения количества и качества продукции» ограничиваются отдельными группами машин – уборочные комбайны, зерноочистительные агрегаты, перерабатывающие комплексы, доильные установки. Однако, только для части из них стандарт содержит расчетные процедуры издержек. Причем оценка издержек производится по ограниченному составу единичных показателей качества продукции.

4. В состав издержек от изменения качества продукции включен необоснованный компонент (убытки от нерационального использования семян), который зависит не только от качества машин, но и от состояния агрофона, качества семян, климатических и других условий. Учет в совокупных издержках подобных компонентов необоснованно увеличивает их число, а смешение составляющих эффективности техники и эффективности производства в целом понижает объективность итоговых оценок.

5. Методы оценки эффективности техники по ГОСТ 34393 -2018 не обладают достаточной инвариантностью относительно: видов оцениваемый техники; состава показателей качества работ; содержания, времени и уровня вырабатываемых с их помощью решений.

6. Показатели сравнительной экономической эффективности техники отражают абсолютную и относительную экономию совокупных затрат денежных средств по сравниваемым образцам техники в расчете на годовой и условный (1000 га) объем работ, поэтому для них также характерны: невысокая продуктивность; ограниченная объективность; высокая трудоемкость расчетов; низкая востребованность участниками НТП.

Список источников

1. ГОСТ 23728(29)-88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.- Введ.1988.30.03.-М.:Издательство стандартов.-1988.-12с.

2. ГОСТ Р 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. - Введ. 17.12.2008.-М.:Стандарт-информ.-2008.-23 с.

3. ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.- Введ. 2018.07.12.-М.:Стандарт-информ.-2018.-12 с.

4. Большая советская энциклопедия: [в 30 т]/гл.ред. А.М. Прохоров // 3-е изд. - М.: Советская энциклопедия, 1969 – 1978, т. 23, с. 291-294.

5. Грищенко О.В. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия / О.В. Грищенко // Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000, 112 с.

6. ОСТ 70.2.30 – 78 – Испытания сельскохозяйственной техники. Комплексная оценка машин. Программа и методы.-М.: Производственно-издательский комбинат Госкомсельхоз техники СССР, 1979, 160 с.

7. Насыпайко И.Г., Тишанинов Н.П., Волобоев А.Ф., Коба В.Г. Методика оценки эффективности использования кормоцехов // Тамбовского ЦНТИ. Заказ №1342. Тамбов.-1985 – 56 с.

8. Тишанинов Н.П., Волобоев А.Ф. Методика оценки эффективности использования кормоцехов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. - №9. – с.35-37.

9. Тишанинов Н.П., Матыцин Г.Д. Методика оценки экспуатационных показателей культиваторов // Техника в сельском хозяйстве. – 1993. - №3. – с.22-24.

10. Тишанинов Н.П. Проблемы эксплуатации техники в рыночных условиях // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1994. - №11. – с.21-24.

11. Тишанинов Н.П. Новые принципы обоснования решений по эксплуатации техники и механизации процессов сельскохозяйственного производства // Инженерно-техническое обеспечение АПК. – 1995. - №9-10. – с.23-25.

12. Тишанинов Н.П. Оценка эффективности использования линий по переработке гречихи в крупу // Инженерно–техническое обеспечение АПК. – 1995. - №3. – с.8-10.

13. Тишанинов Н.П. Обоснование метода оценки эффективности использования зерноочистительно-сушильных комплексов // Техника в сельском хозяйстве. – 1996.-№2.-с.2-5.

14. Тишанинов Н.П., Ветров В.А, Методические рекомендации по эффективному использованию зерноочистительных агрегатов // Типография Россельхозакадемии.-М.:1999-49с.

15. Ерохин Г.Н., Коновский В.В., Тишанинов Н.П. Использование зерноуборочных комбайнов за пределами регламентированного срока службы // Типография Россельхозакадемии.-М.:2005.-63с.

16. Тишанинов Н.П., Ветров В.А., Анашкин А.В. Вариантный метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна // Наука в центральной России. – 2013. - №1.- с.35-40.

17. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Метод определяющих критериев качества технологического процесса // Наука в центральной России. – 2019. - №3(39). – с.48-55.

18. Тишанинов Н.П. Инструменты познания и прогресс // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. - №3(47).- С. 65-73.

References

1. GOST 23728(29)-88 Agricultural machinery. Methods of economic evaluation.- Introduced.1988.30.03.-M.: Publishing house of standards.-1988.-12p.

2. GOST R 53056-2008 Agricultural machinery. Methods of economic evaluation. - Input. 12/17/2008.-M.: Standard-inform. -2008.-23 p.

3. GOST 34393-2018 Agricultural machinery. Methods of economic evaluation. - Introduction. 2018.07.12.-M.: Standard-inform. -2018.-12 p.

4. Great Soviet encyclopedia: [in 30 tons] / ch.ed. A.M. Prokhorov // 3rd ed. - M.: Soviet Encyclopedia, 1969 - 1978, v. 23, p. 291-294.

5. Grishchenko O.V. Analysis and diagnostics of financial and economic activities of the enterprise / O.V. Grishchenko // Textbook. Taganrog: Publishing house of TRUTH, 2000, 112 p.

6. OST 70.2.30 - 78 - Testing of agricultural machinery. Comprehensive assessment of machines. Program and methods. - M.: Production and publishing plant of the USSR State Committee for Agricultural Technology, 1979, 160 p.

7. Nasypaiko I.G., Tishaninov N.P., Voloboev A.F., Koba V.G. Methodology for assessing the efficiency of the use of feed shops // Tambov TSNTI. Order No. 1342. Tambov.-1985 - 56 p.

8. Tishaninov N.P., Voloboev A.F. Methodology for assessing the efficiency of using feed shops // Mechanization and electrification of agriculture. - 1987. - No. 9. - p.35-37.

9. Tishaninov N.P., Matytsin G.D. Methodology for assessing the performance indicators of cultivators // Technique in agriculture. - 1993. - No. 3. - p.22-24.

10. Tishaninov N.P. Problems of operation of equipment in market conditions // Mechanization and electrification of agriculture. - 1994. - No. 11. - pp. 21-24.

11. Tishaninov N.P. New principles of substantiation of decisions on the operation of equipment and mechanization of agricultural production processes // Engineering and technical support of the APK. - 1995. - No. 9-10. - P.23-25.

12. Tishaninov N.P. Assessment of the effectiveness of the use of lines for the processing of buckwheat into groats // Engineering and technical support of the APK. - 1995. - No. 3. - P.8-10.

13. Tishaninov N.P. Substantiation of the method for evaluating the effectiveness of the use of grain cleaning and drying complexes // Technique in agriculture. – 1996.-№2.-p.2-5.

14. Tishaninov N.P., Vetrov V.A., Guidelines for the effective use of grain cleaning units // Printing house of the Russian Agricultural Academy.-M.: 1999-49p.

15. Erokhin G.N., Konovsky V.V., Tishaninov N.P. The use of grain harvesters outside the regulated

service life // Printing house of the Russian Agricultural Academy.-M.: 2005.-63p.

16. Tishaninov N.P., Vetrov V.A., Anashkin A.V. A variant method for evaluating the efficiency of using grain processing technologies. Science in Central Russia. - 2013. - No. 1. - pp. 35-40.

17. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. The method of defining criteria for the quality of the technological process // Science in Central Russia. - 2019. - No. 3 (39). – P.48-55.

18. Tishaninov N.P. Instruments of knowledge and progress // Bulletin of the APK of the Upper Volga. - 2019. - No. 3 (47). - S. 65-73.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

N. Tishaninov - Full Doctor of Technical Sciences, Professor.

Поступила в редакцию (Received): 05.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.3: 636.082.453.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-62-68

УСТАНОВКА ДЛЯ БОНИТИРОВКИ И ИСКУССТВЕННОГО ОСЕМЕНЕНИЯ ОВЕЦ

Майдан Кабатаевич Бралиев[1], Алтынбек Шарипуллиевич Давлетьяров[2], Анатолий Иванович Завражнов[3], Сергей Михайлович Ведищев[4], Балуаш Бакшевич Траисов[5], Кайрлы Гусмангалиевич Есенгалиев[6]

[1,2,5,6]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Казахстан
[1]braliyevm@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8755-0480
[2]davlbek52@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0663-2899
[5]btraisjv@maik.ru, https://orcid.org/0000-0002-9335-3029
[6]esengaliev57@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8820-5507
[3,4]Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
[3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[3]Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия
[3]aiz@mgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3515-6112
[4]serg666_65@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809

Автор ответственный за переписку: Майдан Кабатаевич Бралиев, braliyevm@mail.ru Corresponding author Maidan Braliev, braliyevm@mail.ru.

Реферат. *Существующие и применяемые в настоящее время технические устройства для проведения операций бонитировки и искусственного осеменения овец являются металлоемкими и громоздкими конструкциями. В Западно-Казахстанском аграрно-техническом университете имени Жангир хана была сконструирована установка для бонитировки, оказания ветеринарной помощи и искусственного осеменения мелкого рогатого скота с шейным фиксатором. В статье описана установка, состоящая из рамы, подъемного механизма с поворотной осью. Рама столешницы поднимается до необходимой высоты с помощью винтового механизма и рычага поворота. Универсальность установки при выполнении операций ветеринарной помощи обеспечивается возможностью подъема и поворота рамы столешницы на стойке вокруг оси кронштейна с помощью поворотного механизма. Для обеспечения неподвижности животного к установке крепится шейный фиксатор. Для обоснования конструктивных параметров установки проводились анатомические замеры животных одной возрастной группы и определены средние значения. С учетом усредненных результатов замеров параметров животных были изготовлены и испытаны экспериментальные установки на базе ветеринарной клиники Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана. План испытаний включал определение функциональных возможностей установки и хронометрические замеры операций бонитировки: определение типа животного; цвета; густоты; длины и качества шерсти; уравненности руна; величины и формы курдюка; живой массы с животными, зафиксированными на экспериментальной установке и приведены средние полученные средние значения. Описана технология проведения операции искусственного осеменения предложенной установкой. Производственные испытания предложенных установок показали широкую универсальность, простоту в эксплуатации, хорошие функциональные качества по мнению ветеринарных специалистов позволяют проводить дополнительно забор крови животных для анализа, вакцинацию и иммунизацию животных.*

Ключевые слова: *бонитировка, винтовой механизм, осеменение, подъемник, установка, фиксатор шейный.*

INSTALLATION FOR BONITIZATION AND ARTIFICIAL INSEMINATION OF SHEEP

Maidan Braliev[1], Altynbek Davletyarov[2], Anatoly Zavrazhnov[3], Sergey Vedishchev[4], Baluash Traisov[5], Kairla Esengaliev[6]

[1,2,5,6]West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

[1]braliyevm@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8755-0480

[2]davlbek52@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0663-2899

[5]btraisjv@maik.ru, https://orcid.org/0000-0002-9335-3029

[6]esengaliev57@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8820-5507

[3,4]Tambov State Technical University, Tambov, Russia

[3]All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia

[3]Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

[3]aiz@mgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3515-6112

[4]serg666_65@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809

Abstract. *The existing and currently used technical devices for carrying out operations of bonitation and artificial insemination of sheep are metal-intensive and bulky structures. An installation for bonitization, veterinary care and artificial insemination of small cattle with a neck retainer was designed at the Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University. The article describes an installation consisting of a frame, a lifting mechanism with a rotary axis. The countertop frame is raised to the required height by means of a screw mechanism and a rotation lever. The versatility of the installation when performing veterinary care operations is ensured by the possibility of lifting and rotating the table top frame on the rack around the axis of the bracket using a rotary mechanism. To ensure the immobility of the animal, a neck retainer is attached to the installation. To substantiate the design parameters of the installation, anatomical measurements of animals of the same age group were carried out and average values were determined. Taking into account the average results of measurements of animal parameters, experimental installations were manufactured and tested on the basis of the veterinary clinic of the West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan. The test plan included the determination of the functional capabilities of the installation and chronometric measurements of the bonitation operations: determination of the type of animal; color; density; length and quality of wool; equalization of the fleece; the size and shape of the kurdyuk; live weight with animals recorded on the experimental installation and the average obtained average values are given. The technology of artificial insemination operation by the proposed installation is described. Production tests of the proposed installations have shown wide versatility, ease of operation, good functional qualities, according to veterinary specialists, allow additional sampling of animal blood for analysis, vaccination and immunization of animals.*

Keywords*: bonitirovka, screw mechanism, insemination, lift, installation, neck retainer*.

Для цитирования: Бралиев М.К., Давлетьяров А.Ш., Завражнов А.И., Ведищев С.М., Траисов Б.Б., Есенгалиев К.Г. Установка для бонитировки и искусственного осеменения овец // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 62-68. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-62-68.

For citation: Braliev M., Davletyarov A., Zavrazhnov A., Vedishev S., Traisov B., Esengaliev K. Installation for bonitization and artificial insemination of sheep. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 62-68. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-62-68.

Введение. Существующие и применяемые в настоящее время технические устройства [1,2] для проведения операций бонитировки и искусственного осеменения овец, в основном установки кустарного производства, а промышленные образцы являются металлоемкими и громоздкими конструкциями.

Материалы и методы. В Западно-Казахстанском аграрно-техническом университете имени Жангир хана была сконструирована установка для бонитировки, оказания ветеринарной помощи и

искусственного осеменения мелкого рогатого скота с шейным фиксатором (патент РК на полезную модель № 6835 от 04.02.2022) [3].

На рисунке 1 показан подъемник установки для бонитировки овец состоящий из рамы 1, подъемного механизма 2 с поворотной осью 3. На концах рычагов подъемного механизма установлены ролики, двигающиеся в направляющих рам 1 и 4. Рама столешницы 4 поднимается от 40 см до необходимой высоты с помощью винтового механизма 5 и рычага поворота. Универсальность установки при выполнении операций ветеринарной помощи обеспечивается возможностью подъема и поворота рамы столешницы на стойке 6 вокруг оси 8 кронштейна 7 с помощью поворотного механизма 9. К поперечинам 10 крепится на болтах столешница (рисунок 2). Столешница 1 с шейным фиксатором 16 выполнена из двух боковин 2 с шарнирами 3, с заслонками 8, открывающимися при бонитировке.

Для обеспечения неподвижности животного к установке крепится шейный фиксатор 16 состоящий из рамы (рисунок 2) с направляющими 11 по которым перемещаются на роликах 12 левая 13 и правая 14 створки фиксатора, которые при фиксации животных закрепляются в сведенном положении на раме 16 защелками 10. Рама шейного фиксатора 16 для обеспечения жесткости крепится к боковинам столешницы 2 защелками 17 и петлями 18.

Для обоснования конструктивных параметров установки проводились замеры по 6 животным одной возрастной группы по схеме, представленной на рисунке 3: А – общая длина, Б – расстояние между передними и задними конечностями, В – высота в холке, Г – ширина шеи в вертикальной плоскости, Д – высота головы, Е – ширина головы, И – ширина шеи, Ж – ширина животного.

При выполнении операций ветеринарной помощи ноги животного фиксируются на регулируемых по высоте стойках 6 хомутами 7.

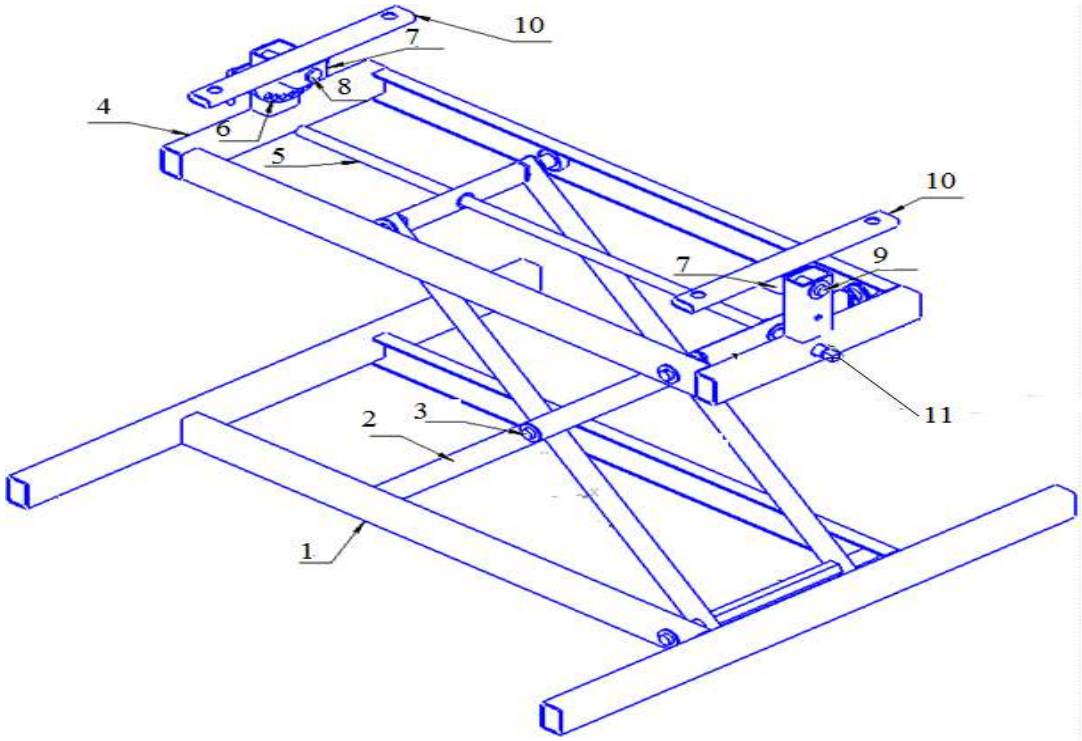


Рисунок 1 - Подъемник рамы столешницы с поворотным механизмом установки для бонитировки и оказания ветеринарной помощи МРС

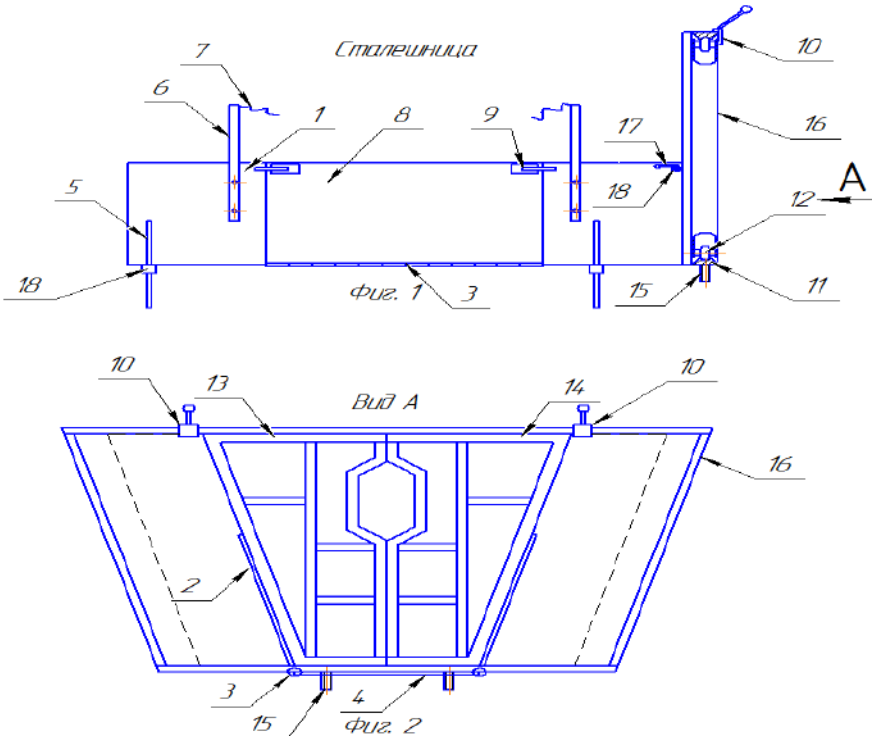


Рисунок 2 - Столешница с шейным фиксатором:
1 – столешница; 2 – боковина столешницы; 3 – шарнир; 4 – средняя часть столешницы; 5 – штанга; 6 – стойка; 7 – хомут; 8 – заслонка; 9 – защелка заслонки; 10 – защелка шейного фиксатора; 11 – направляющая; 12 – ролик; 13 – левая створка фиксатора; 14 – правая створка фиксатора; 15 – шпилька; 16 – рама шейного фиксатора; 17 – защелка боковая; 18 – петля; 19 – направляющая штанги

Для определения конструктивных параметров установок были проведены исследования анатомических параметров производителей, маток, ярок и баранчиков Едильбаевской мясо-сальной и Акжаикской мясо-шерстной полутонкорунной породы овец на базе ветеринарной клиники Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана.

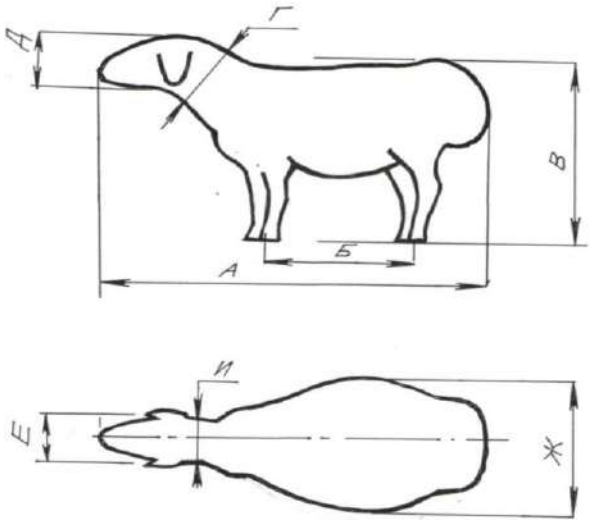


Рисунок 3 - Схема замеров анатомических параметров мелкого рогатого скота

Средние значения по результатам замеров представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Средние значения анатомических параметров животных по группам

Группы животных	Средние результаты замеров по параметрам, мм							
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И
Овцематки	1100	560	710	100	255	110	330	70
Ярки	1160	460	700	100	240	110	310	70
Баранчики	1300	530	700	90	230	110	290	75

С учетом усредненных результатов замеров параметров животных были изготовлены экспериментальные установки на Уральском механическом заводе (рисунок 4).

Рисунок 4 - Общий вид установки для бонитировки и оказания ветеринарной помощи МРС

Испытание экспериментальных установок также были проведены на базе ветеринарной клиники Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана (рисунке 5) [4,5,6,7,8].

Рисунок 5 - Проведение операции бонитировки с фиксацией шеи животного

План испытаний включал определение функциональных возможностей установки и хронометрические замеры операций бонитировки (определение типа животного, цвета, густоты, длины и качества шерсти, уравненности руна, величины и формы курдюка, живой массы и др.) с животными, зафиксированными на экспериментальной установке.

Средние значения затрат времени на проведение операций бонитировки по различным группам животных составил с использованием предложенной установки с шейным фиксатором для мелкого рогатого скота:

- для ярок 4 мин. 40 сек.;
- для овцематок 4 мин. 30 сек.;
- для баранчиков – 4 мин. 45 сек.

Для проведения операции искусственного осеменения предложенная установка показана на рисунке 6.

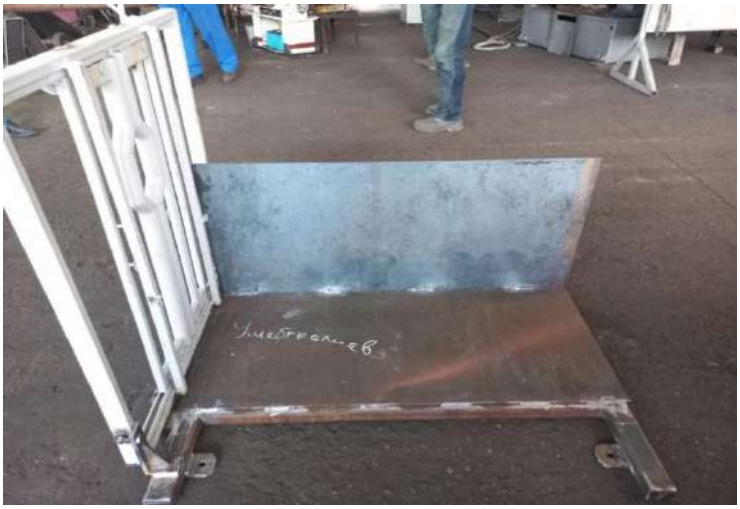


Рисунок 6 - Вид установки при проведении искусственного осеменения с шейным фиксатором

При искусственном осеменении животное заводится в установку, фиксируется шея и прижимается к вертикальной стенке установки. Затем специалист по осеменению давит на крестец овцы и производит осеменение [9].

Среднее время на проведение осеменения животного составил 55 сек.

Выводы. Производственные испытания предложенных установок показали широкую универсальность, простоту в эксплуатации, хорошие функциональные качества и, по мнению ветеринарных специалистов, позволяют проводить дополнительно забор крови животных для анализа, вакцинацию и иммунизацию животных.

Список источников

1. Авторское свидетельство СССР № 1416119, кл. А 61D3/00. Устройство для фиксации головы животного / Ш.Т. Шарипов, А.М. Максутов, В.А. Рикк, С.И.Буцикын // Заявитель и патентообладатель Казахское научно-производственное обьединение механизации и электрификации сельского хозяйство 1973.

2. Авторское свидетельство СССР № 1130337, кл. А 61D3/00. Устройство для фиксации шеи животных/ Н.Ш. Мамедов, Н.Ж. Жанузаков // Заявитель и патентообладатель Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт Восточного отделения ВАСХНИЛ 1972.

3. Патент № 6835 Республика Казахстан на полезную модель. Шейный фиксатор для МРС / М.К. Бралиев, А.И. Завражнов, А.Ш. Давлетьяров, С.М. Ведищев от 04.02.2022.

4. Кирсанов, В.В Механизация и технология животноводства: Учебник / В.В.Кирсанов Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич, В.В. Шевцов, Р.Ф. Филонов М.: ИНФА-М, 2013. – 585 с.

5. Ветеринарная энциклопедия. Изд. «Советская энциклопедия» 1973г. т. 4, с. 625-617.

6. Вагин, Ю.Т. Технологии и техническиое обеспечение производства продукции животноводства: учебное пособие / Ю.Т. Вагин, А.С. Дробышев, А.П. Курдеко; под ред. А.С. Дробышева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2012. – 640 с.

7. Инструкция по бонитировке овец тонкорунных пород с основами племенной работы / утв. М-вом. с.-х. СССР 24 июня 1985 г. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. - 64 с.

8. Инструкция по бонитировке овец тонкорунных пород с основами племенной работы / утв. М-вом. с.-х. СССР 1 ноября 1985 г. – М.: ВНИИТЭМР, 1986. - 63 с.

9. Лазовский, А. А. Овцеводство и козоводство: учеб. пособие для вузов / А.А. Лазовский, И.С. Серяков, Н.Н. Лисицкая: под ред. А. А. Лазовского. - Мн. :ИВЦМинфина, 2010. - 304 с.

References

1. Copyright certificate of the USSR No. 1416119, cl. A 61D3/00. Device for fixing the animal's head / Sh.T. Sharipov, A.M. Maksutov, V.A. Rikk, S.I.Bucikyn // Applicant and patent holder Kazakh Scientific and Production Association of mechanization and electrification of agriculture 1973.

2. Copyright certificate of the USSR No. 1130337, cl. A 61D3/00. Device for fixing the neck of animals / N.Sh. Mammadov, N.Zh. Zhanuzakov // Applicant and patent holder Kazakh Scientific Research Veterinary Institute of the Eastern Branch of VASHNIL 1972.

3. Patent No. 6835 Republic of Kazakhstan for a utility model. Neck fixator for MRS / M.K. Braliev, A.I. Zavrazhnov, A.S. Davletyarov, S.M. Vedishchev from 04.02.2022.

4. Kirsanov, V.V. Mechanization and technology of animal husbandry: Textbook / V.V.Kirsanov D.N. Murusidze, V.F. Nekrashevich, V.V. Shevtsov, R.F. Filonov M.: INFA-M, 2013. – 585 p.

5. Veterinary Encyclopedia. Ed. "Soviet Encyclopedia", 1973, vol. 4, pp. 625-617.

6. Vagin, Yu.T. Technologies and technical support of livestock production: textbook / Yu.T. Vagin, A.S. Drobyshev, A.P. Kurdeko; edited by A.S. Drobyshev. – Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2012. – 640 p.

7. Instructions for bonitizing sheep of fine-fleeced breeds with the basics of breeding work / approved. M-vom. S.-H. USSR June 24, 1985 – Moscow: VNIITEMR, 1985. - 64 p.

8. Instructions for bonitizing sheep of fine-fleeced breeds with the basics of breeding work / approved. M-vom. S.-H. USSR November 1, 1985 – Moscow: VNIITEMR, 1986. - 63 p.

9. Lazovsky, A. A. Sheep and goat breeding: studies. handbook for universities / A.A. Lazovsky, I.S. Seryakov, N.N. Lisitskaya: edited by A. A. Lazovsky. - Mn. : Ivtsminfina, 2010. - 304 p.

Информация об авторах

М. К. Бралиев – доцент ВАК; А.Ш. Давлетьяров – кандидат технических наук, доцент; А.И. Завражнов – доктор технических наук, профессор, академик РАН; С. М. Ведищев – доктор технических наук, профессор; Б. Б. Траисов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; К.Г. Есенгалиев – доктор сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

M. Braliev – Associate Professor of the Higher Attestation Commission; A. Davletyarov – candidate of technical sciences, associate professor; A. Zavrazhnov – Doctor of Technical Science, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; S. Vedishchev – Doctor of Technical Science,Professor; B. Traisov – doctor of agricultural sciences, professor; K. Esengaliev - doctor of agricultural sciences, docent.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 15.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.347.3.012.3.001.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-69-76

ОБОСНОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДНО-НАПОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН РАБОТАЮЩИХ В ДВИЖЕНИИ ПО КРУГУ

Анатолий Иванович Рязанцев [1]***, Александр Николаевич Зазуля*** [2]***, Евгений Юрьевич Евсеев*** [3]***, Алексей Олегович Антипов*** [4]

[1]*Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Московская обл., Коломенский р-он, пос. Радужный Россия*
[2]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*
[1,3,4]*Государственный социально-гуманитарный университет, Московская обл. г.о. Коломна, Россия*
[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]zazulja_an@rambler.ru
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[4]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Реферат. *Рассматриваются вопросы надежности движения многоопорных дождевальных машин «Кубань-ЛК1» работающих в движении по кругу, при орошении склоновых площадей, отмечается сложность равномерного распределения слоя осадков, вызванного увеличенным расходом воды (Q=2.1-2.3 л/с), образуемым перепадом геодезических высот. Это приводит к снижению прочностных свойств почвы и ее опорно-сцепных свойств под ходовыми системами ДМ и, как следствие, приводит к нарушению технологического процесса орошения, что и послужило целью данного исследования. Для исключения указанного недостатка обосновывается возможность применения и дальнейшего использования усовершенствованного регулятора расхода (мембранного типа) марки Valtec VT.085, для стабильного поддержания показателей по расходу дождевальных аппаратов последних тележек и консольной части, в пределах 1.8-2.0 л/с, что соответствует технологическому процессу полива данным типом машин. Результаты исследования показали, что расчетная точность регулирования, а именно отклонение от установившегося значения давления на выходе усовершенствованной модификации регулятора расхода марки Valtec VT.085 находится в диапазоне ±5%, что соответствует требованиям технологического процесса полива. Отмечается, что проведенные экспериментальные исследования по определению пропускной способности расчетного расхода воды в зависимости от давления, указанными регулирующими устройствами, с различными по диаметру выходными отверстиями, позволили установить, что наиболее удовлетворяющим требованиям по регулированию расхода дождевальных аппаратов последних тележек и консольной части ДМ «Кубань-ЛК1» является усовершенствованное регулирующее устройство мембранного типа. При этом, исследуемый регулятор давления, обеспечивает показатели по расходу (Q = 1.6 – 1.7 л/с) и напору на выходе (Р = 0.30 – 0.50 МПа) л/с, с сохранением габаритных характеристик его серийной модификации.*

Ключевые слова: *дождевальная машина «Кубань-ЛК1», производительность, опорно-сцепные свойства, интенсивность дождя, регулятор расхода, материалоемкость, точность регулирования.*

JUSTIFICATION OF IMPROVEMENT OF THE FLOW REGULATOR OF SPRINKLERS OF MULTI-SUPPORT SPRINKLERS

Anatoly Ryazantsev [1]***, Alexander Zazulya*** [2]***, Evgeny Evseev*** [3]***, Alexey Antipov*** [4]

[1]*All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga», Moscow region, Kolomenskoye district, village Raduzhny, Russian Federation*

[2]*All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation*
[1,3,4] *State Social and Humanitarian University, Moscow region, Kolomna, Russian Federation*
[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]zazulja_an@rambler.ru
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[4]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Abstract. *The issues of reliability of the movement of multi-bearing sprinkling machines "Kuban-LK1" operating in a circle when irrigating slope areas are considered, the complexity of the uniform distribution of the sediment layer caused by the increased water flow (Q=2.1-2.3 l/s) formed by the difference in geodetic heights is noted. This leads to a decrease in the strength properties of the soil and its support-coupling properties under the DM running systems and, as a result, leads to a violation of the irrigation process, which was the purpose of this study. To eliminate this drawback, the possibility of using and further using an improved flow regulator (membrane type) of the Valtec VT.085 brand is justified, for stable maintenance of the flow rates of sprinklers, trolleys and cantilever parts, within 1.8-2.0 l/s, which corresponds to the technological process of watering this type of machines. The results of the study showed that the calculated control accuracy, namely the deviation from the steady-state pressure value at the outlet of the improved modification of the Valtec VT.085 flow regulator, is in the range of ± 5%, which meets the requirements of the irrigation process. It is noted that the experimental studies carried out to determine the throughput of the calculated water flow rate depending on the pressure indicated by the control devices, with outlet openings of different diameters, allowed us to establish that the most satisfying requirements for regulating the flow of sprinklers of the latest trolleys and the console part of the DM "Kuban-LK1" is an improved membrane-type control device. At the same time, the pressure regulator under study provides indicators for flow (Q = 1.6 – 1.7 l/s) and outlet pressure (P = 0.30 – 0.50 MPa) l / s, while maintaining the overall characteristics of its serial modification.*

Keywords: *sprinkler machine «Kuban-LK1», productivity, traction properties, rain intensity, flow regulator, material consumption, control accuracy.*

Для цитирования: Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Обоснование регулирования расходно-напорных характеристик дождевальных машин работающих в движении по кругу // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 69-76. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-69-76.

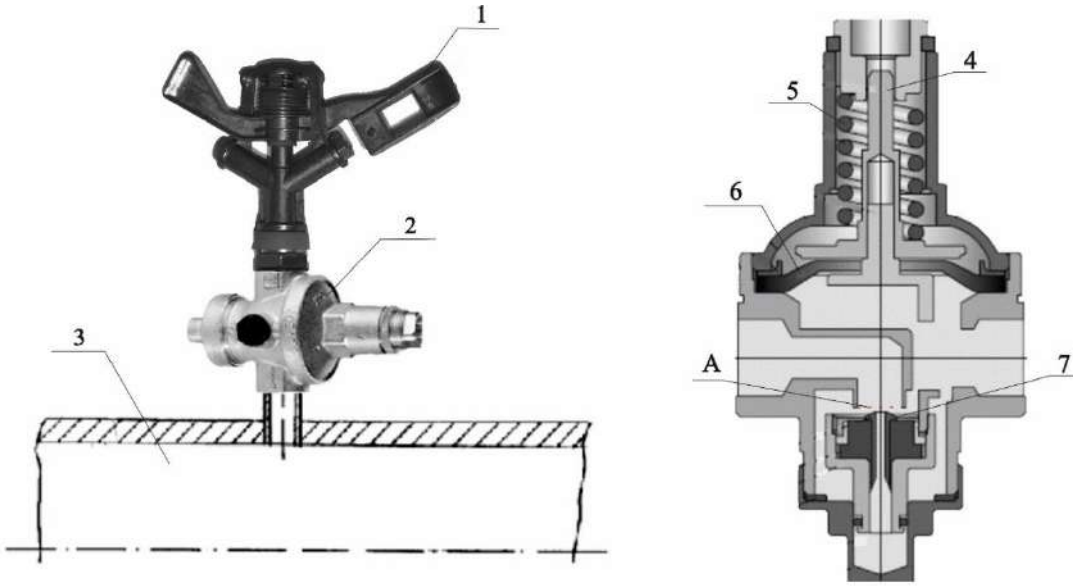
For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A. Justification of improvement of the flow regulator of sprinklers of multi-support sprinklers. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 69-76. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-69-76.

Введение. Исходя из анализа результатов поисковых исследований ДМ «Кубань-ЛК1», при работе на участках с общим уклоном 0.05, снижение производительности, нередко, происходит за счет падения показателей опорно-сцепных свойств ходовых систем, вследствие переувлажнения почвы, особенно в концевой части. Указанный недостаток приводит к увеличению интенсивности буксования тележек ДМ, и, как следствие, к излому трубопровода и, в конечном счете, к аварийной остановке (рисунок 1). Наряду с указанными отрицательными последствиями, коэффициент сменного времени ($K_{см}$). из-за большого количества аварийных остановок, не превышает 0.70, что не соответствует показателям нормативных данных - 0.80 – 0.95 [1, 7].

Таким образом, для повышения показателей производительности работы ДМ на склоновых участках, необходимо обеспечение требуемых значений опорно-сцепных свойств последних тележек и консольной части, посредством снижения интенсивности дождя, а следовательно, и увеличения несущей способности почвы в области их движения [3].

Рисунок 1 – Процесс образования поверхностного стока воды в районе движения последних тележек и консольной части ДМ.

Материалы и методы. В целях регулирования напора и расхода дождевальных аппаратов, в водопроводящих системах дождевальных машин применяют различные по конструктивным характеристикам регуляторы давления. Исходя из мировой практики применения высокоточных и надежных регулирующих устройств, считаем, что наиболее приемлемым является серия устройств мембранного типа марки Valtec VT.085 (рисунок 1) [2, 4].



а б

а – схема установки регулятора перед дождевальным аппаратом на трубопроводе ДМ: 1 – дождевальный аппарат; 2 – регулятор расхода; 3 – трубопровод ДМ; б – продольный разрез регулятора: 4 – шток; 5 – пружина; 6 – мембрана; 7 – золотник; А – проходное сечение.
Рисунок 2 – Регулятор расхода VT.085 D_n.

Анализ представленного регулятора показал, что повышение производительности его работы возможно достичь за счет использования, на дождевальных машинах, меньших по массе его модификаций, с сохранение характеристик по расходу и напору, присущих более материалоемким его модификациям.

Таким образом, вместо большего по массе регулятора VT.085 D_n 1 1/2 (m=1.70 кгс), при использовании которого обеспечивается расход дождевальных аппаратов машины в диапазоне 1.8 – 2.1 л/с, выбираем менее материалоемкую его модификацию VT.085 D_n 3/4 (m=0.90 кгс, q=0.69 л/с), с дальнейшим усовершенствованием его конструкции, в целях сохранения расходно-напорных характеристик [3]. Исходя из вышесказанного, на основе выполненных усовершенствований произведем теоретический расчет точности регулирования расходно-напорных характеристик усовершенствованного устройства, для этого рассмотрим теорию работы исследуемого образца. Так как описанный выше регулятор расхода мембранного типа, целесообразно записать уравнение движения мембраны с клапаном (1).

С учетом постоянных интегрирования закон движения штока с мембраной клапана будет выглядеть следующим образом:

$$x = \left(-\frac{A-F_{\text{тр.}}}{\beta\times\delta\times m(\delta-\beta)}\times e^{-\beta x} - \frac{C_2}{\delta-\beta}\times e^{(\delta-\beta)t} + C_1\right)\times e^{-\frac{\alpha-\sqrt{\alpha^2+4km}}{2m}} + \left(-\frac{A-F_{\text{тр.}}}{\beta\times\delta\times m(\delta-\beta)}\times e^{-\beta x} + \right.$$
$$\left. + C_2\right)\times e^{-\frac{\alpha+\sqrt{\alpha^2+4km}}{2m}} \quad (1)$$

Используя модифицированный метод Адамса, было осуществлено интегрирование уравнения (1), причем шаг интегрирования выбирался автоматически, с учетом порядка аппроксимации.

Выполненные расчеты серийного регулятора расхода VT.085 D_n 3/4, по уточнению параметров проходного сечения А, мембраны 4 и пружины 3, показали, что указанная модель регулирующего устройства имеет схожие значения по расходу и напору, а также точности регулирования характерные серийной, более материалоемкой, модификации VT.085 D_n 1 1/2.

При чем, усовершенствованный регулятор серии VT.085 D_n 3/4, примерно на 50%, меньше по массе серийного регулятора расхода VT.085 D_n 1 1/2 [5, 6].

В таблице 1 приведены технические характеристики серийных: модели VT.085 D_n 1 1/2 (графа 4), VT.085 D_n 3/4 (графа 5) и, по результатам расчета, усовершенствованного VT.085 D_n 3/4 (графа 6), регулирующего устройства.

Для исследования точности регулирования проводились исследования на испытательном стенде модели «УРОКС – 150М» (рисунок 3).

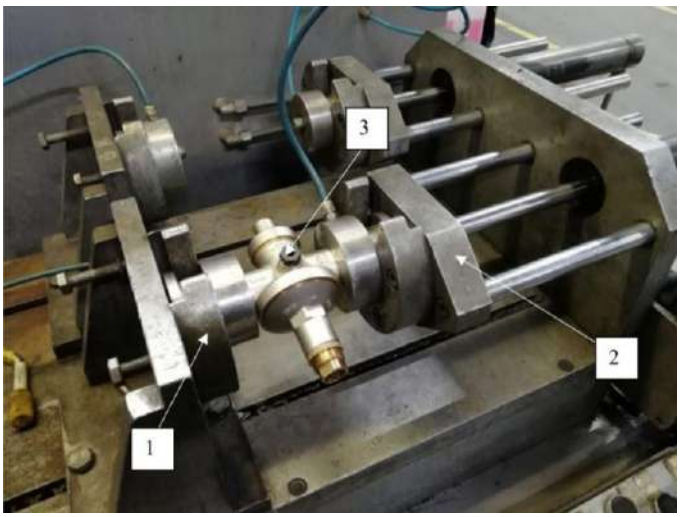
Установка «УРОКС – 150М» состоит из двух насосов, производительностью 50 и 160 м^3/ч, включенных параллельно, бака вместимостью 4 м^3, девяти кавитационных сопловых узлов, устройства задания давления, двух испытательных участков, расходомера-счетчика турбинного эталонного РСТЭ–40, частотомера, счетчика программного реверсивного, блока проверки, турбинного преобразователя расхода, устройства для калибровки и проверки автоцистерн [8].

Принцип действия установки при воспроизведении расхода кавитационными соплами заключается в создании ряда стабильных расходов и сравнении их значений с показателями поверяемых средств. Принцип воспроизведения кавитационными соплами стабильного расхода основан на эффекте стабилизации расхода при течении жидкости через сопла в режиме кавитации и заключается в том, что при постоянном давлении на входе сопла, расход остается неизменным при изменении, в некоторых пределах, давления на выходе.

Исследования усовершенствованного регулятора расхода дождевальных аппаратов ДМ «Кубань – ЛК1» проводились с целью проверки соответствия его характеристик основным требованиям, в том числе, теоретически обоснованным.

Таблица 1- Технические характеристики

№ п.п	Наименование показателя	Значения			
		Единицы измерения	Серийные регуляторы		Оптимизированная модель VT.085 D_n 3/4
			Модель VT.085 D_n 1 1/2	Модель VT.085 D_n 3/4	
1	2	3	4	5	6
1.	Тип регулирующего устройства		мембранный регулятор «после себя»		
2.	Диапазон регулирования: Давление на выходе; Давление на входе;	 МПа МПа	 0.30 0.30 – 0.50		
3.	Параметры: Регулирующий орган Расход; Диаметр входного отверстия; Условная пропускная способность;	 л/с мм $м^3/ч$	 редукционный клапан с коническим седлом 2.5 14 13.25	 0.69 10 3.6	 1.6 12 4.5
4.	Мембрана: Диаметр; Толщина;	 мм мм	 128 5	 64 3	 64 3
5.	Пружина: Количество витков; Диаметр прутка;	 шт. мм	 9 6	 6 4	 5 4
6.	Погрешность регулирования	%	±5		
7.	Габариты	мм	235x137x123	157x77x72	
8.	Масса	кг	1.75	0.9	



1 – испытательный участок; 2 – сопловый узел; 3 – регулятор расхода.
Рисунок 3 – Общий вид испытательного стенда УРОС – 150 М.

Результаты и их обсуждение. На основании результатов проведенных исследований по определению достоверности пропуска расчетного расхода воды Q регулирующими устройствами с различными диаметрами выходных отверстий d в зависимости от давления p, в преднастроенный период, построена графическая зависимость (рисунок 4), описываемая регрессионным выражением (1):

$$Q = -0.3667 + 0.1 \times p_{\text{вх}} - 3.3333 \times d + 8.6233E - 13 \times p_{\text{вх}} \times p_{\text{вх}} + 0.5 \times \times p_{\text{вх}} \times d - 6.6058E - 12 \times d \times d \quad (2)$$

Полученные экспериментальные результаты подтверждают достаточную сходимость теоретических и экспериментальных исследований по величине оптимальному диаметра (12 мм) выходного отверстия регулятора для пропуска необходимого расхода воды (1.65 л/с), при давлении 0.30 МПа.

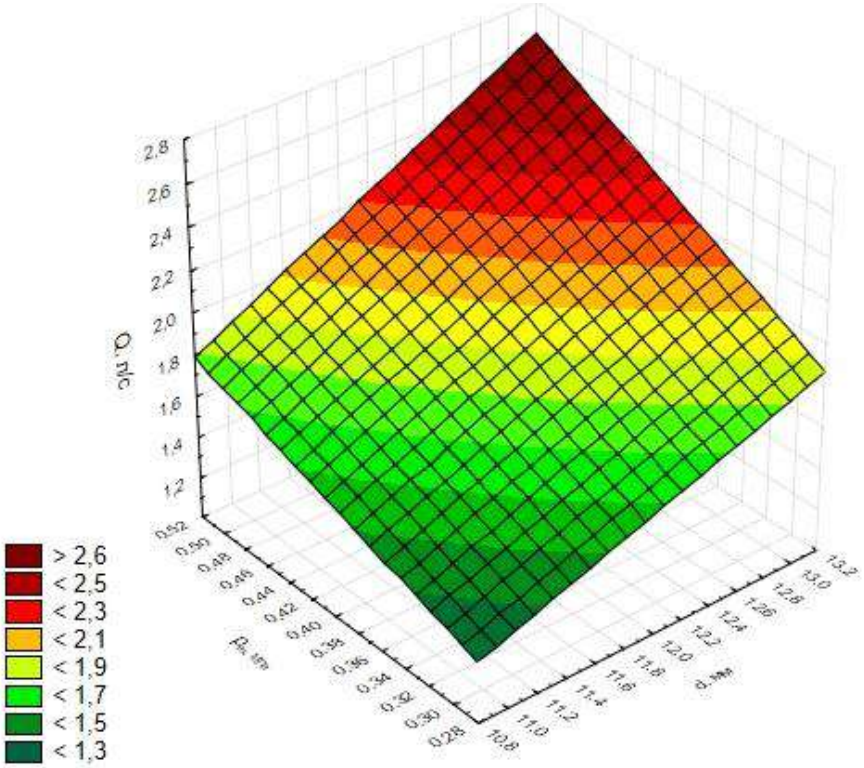


Рисунок 4 – График зависимости величины проходного сечения регулятора давления и напора перед его входом на расход воды.

Заключение. Экспериментальные исследования усовершенствованного регулятора расхода с оптимизированным диаметром проходного сечения, настроенного на требуемые по напору и расходу на выходе значения, показали, что изменение давления на входе в регулятор в диапазоне от 0.30 до 0.50 МПа влияния на величину подачи воды не оказывают. При этом, точность регулирования находится в тех же пределах, как и у серийной модификации устройства и составляет ±5% (рисунок 5).

Установлено, что регулирующее устройство с оптимизированным диаметром входного отверстия (таблица 1, ст. 6) обеспечивает характеристики по расходу (Q = 1.6 – 1.7 л/с) и напору на выходе (P = 0.30 – 0.50 МПа), серийной его модификации, при сохранении габаритных характеристик.

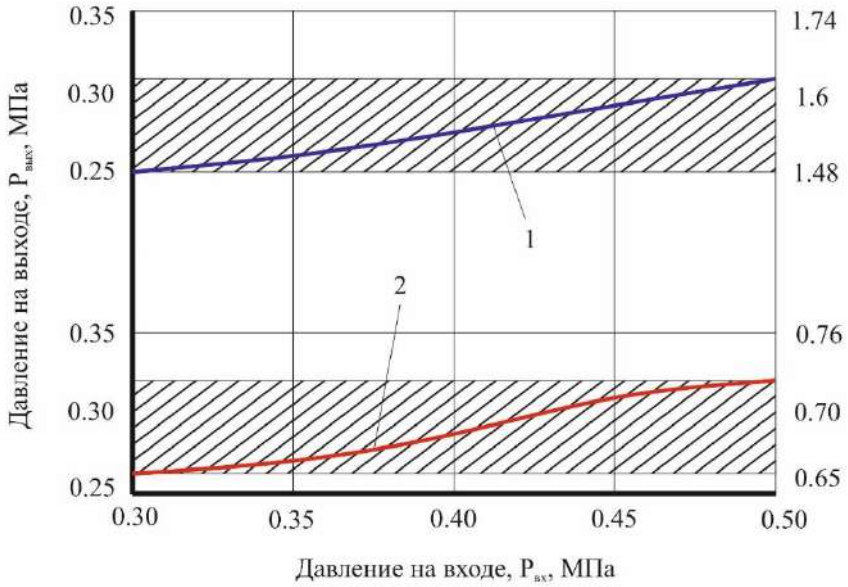


Рисунок 5 – Изменение давления на выходе регулятора от давления на входе.

Список источников

1. Евсеев Е. Ю., Рязанцев А.И., Антипов А.О. Регулирование водоотдачи ДМ «Кубань-ЛК1» на склоновых участках. В сборнике: Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции посвященной 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Совет молодых ученых. 2020. С. 83-88.

2. Евсеев Е.Ю., Рязанцев А.И., Антипов А.О. К усовершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов многоопорных дождевальных машин. / Вестник мелиоративной науки. 2020. №3. С: 36-39.

3. Обоснование параметров по совершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов машины «Кубань – ЛК1» [Текст] / Рязанцев А.И., Костенко М.Ю., Антипов А.О., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева – Рязань, 2020. – Вып. 4 (48). – С. 107-113. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44845900_71611001.pdf

4. Патент на изобретение 2770811 C1, 22.04.2022. Многоопорная дождевальная машина кругового действия: / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Безносюк Р.В. : заявка №2020144291 от 29.12.2020.

5. Расчет регулятора давления [Текст] / Mankenberg – Любек, Германия, 2011. – 6 с.

6. Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Антипов А. О., Смирнов А. И. Направления совершенствования регулирующих устройств для многоопорных дождевальных машин кругового действия типа «Кубань-ЛК1». Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях. Часть 2: материалы международной научно-практической конференции, ВНИИМЗ, г. Тверь, 25 сентября 2020 г. – Тверь: Тверской государственный университет, 2020. – 200 с.

7. Рязанцев А.И. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий [Текст] / А. И. Рязанцев, А.О. Гаврилица. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 200 с.

Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. К усовершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов многоопорных дождевальных машин. Сетевое электронное периодическое издание Депмелиорации Минсельхоза России и ФГБНУ ВНИИ «Радуга» Научно-практический журнал «Вестник мелиоративной науки» №3 2020.

References

1. Evseev E. Yu 1. Evseev E. Yu., Ryazantsev A.I., Antipov A.O. Regulation of water discharge of DM "Kuban-LC1" on slope areas. In the collection: Materials of the All-Russian National Scientific and Practical conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor Anatoly Mikhailovich Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Council of Young Scientists. 2020. pp. 83-88.
2. Evseev E.Yu., Ryazantsev A.I., Antipov A.O. On improving the flow regulator of sprinklers of multi-support sprinklers. / Bulletin of Meliorative Science. 2020. No.3. With: 36-39.
3. Substantiation of parameters for improving the flow regulator of sprinkler machines "Kuban – LC1" [Text] / Ryazantsev A.I., Kostenko M.Yu., Antipov A.O., Evseev E.Yu., Antipov O.V. // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev – Ryazan, 2020. – Issue 4 (48). – pp. 107-113. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44845900_71611001.pdf
4. Patent for invention 2770811 C1, 04/22/2022. Multi-support circular sprinkler machine: / Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Antipov A.O., Byshov N.V., Borychev S.N., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Beznosyuk R.V. : application No. 2020144291 of 12/29/2020.
5. Calculation of the pressure regulator [Text] / Mankenberg – Lubeck, Germany, 2011. – 6 p.
6. Ryazantsev A. I., Evseev E. Yu., Antipov A. O., Smirnov A. I. Directions of improvement of regulating devices for multi-support circular sprinkler machines of the Kuban-LK1 type. The current state, priority tasks and prospects for the development of agricultural science on reclaimed lands. Part 2: Materials of the International scientific and practical conference, VNIIMZ, Tver, September 25, 2020 – Tver: Tver State University, 2020. – 200 p.
7. Ryazantsev A.I. Optimization of wide-span circular sprinkler machines for difficult soil-relief conditions [Text] / A. I. Ryazantsev, A.O. Gavrilitsa. – Chisinau: Stiinza, 1991. – 200 p.

Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Antipov A.O. On improving the flow regulator of sprinklers of multi-support sprinklers. Online electronic periodical of the Depmelioration of the Ministry of Agriculture of Russia and the Federal State Budgetary Institution of the Research Institute "Raduga" Scientific and Practical journal "Bulletin of Meliorative Science" No. 3 2020.Ryazantsev, A.I. Water conservation while using irrigation devices of multiple supports in the conditions of the Moscow region [Url:] Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Olgarenko G.V., Smirnov A.I. Amazonia Investiga. 2019. Т. 8. № 18. С. 323-329.

Информация об авторах

А.И. Рязанцев – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ; А.Н. Зазуля - доктор технических наук, профессор; Е.Ю. Евсеев - ассистент кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов; А.О. Антипов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. Ryazantsev - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Zazulya - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Evseev - Assistant of the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes; A. Antipov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 664.65
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-77-85

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХМЕЛЕВО-ТОПИНАБУРНОЙ ЗАКВАСКИ

Екатерина Петровна Иванова[1], Сергей Иванович Данилин[2], Анастасия Игоревна Скоморохова[3], Дмитрий Вячеславович Никитин[4], Юрий Викторович Родионов[5], Ольга Анатольевна Гливенкова[6]
[1]ИП Ларионов П.Н., г. Тамбов, Россия
[1]lkp68@mail.ru
[2,4.5]Мичуринский государственный аграрный институт, г. Мичуринск, Россия
[3,4,5,6]Тамбовский государственный технический институт, г. Тамбов, Россия
[2]danilin.7022009@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4488-7953
[3]nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X
[4]vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[5]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[6]olga-glivenkova@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-9152-5958

Автор ответственный за переписку: Екатерина Петровна Иванова, lkp68@mail.ru
Corresponding author Ekaterina Ivanova, lkp68@mail.ru

Реферат. *Обогащение хлеба полезными для организма человека нутриентами способствует оздоровлению населения, поэтому необходимо производить тщательный выбор ингредиентов. В статье рассматривается возможность приготовления закваски спонтанного брожения на основе водного экстракта шишек хмеля и корней топинамбура. Приведены данные о содержании витаминов, макро- и микроэлементов в топинамбуре. Разработана технологическая блок-схема приготовления хмелево-топинамбурной закваски, включающая водное экстрагирование шишек хмеля. При сравнении трех методов экстрагирования было установлено, что наиболее эффективным является вакуумное экстрагирование при температуре 54-56ºС на разработанной универсальной экстрактно-выпарной установке. Для увеличения сроков хранения закваски (до 6 месяцев) предложено использовать двухступенчатую конвективную вакуум-импульсную сушку. Дается описание технологии высушивания хмелево-топинамбурной закваски при щадящих режимах (температура теплоносителя не более 46°С, скорость 2,5 м/с) с максимальным сохранением биологически активных веществ, содержащихся в приготовленной смеси. Начальная влажность сырья составляла 61%, высушивание на первой ступени проводилось до критическо-го влагосодержания 25%. После второй ступени было получено конечное влагосодержание 5%. Положительное влияние растительного сырья на качество закваски было доказано экспериментально. Так, подъемная сила хлебопекарной закваски с добавлением топинамбура выше по сравнению с аналогичной закваской без использования этого корнеплода. Сравнение подъемной силы производилось методом «шарика» (разница во времени всплывания составляла в среднем 5-10 минут). Кроме того, опытные образцы обладали лучшей пористостью мякоти по сравнению с традиционными изделиями, а также превосходили их по вкусу и аромату.*

Ключевые слова: *хмелевая закваска с топинамбуром, двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка, растительный материал, хлеб, вакуумное экстрагирование.*

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF HOP AND TOPINABUR STARTER

Ekaterina Ivanova[1], Sergey Danilin[2], Anastasia Skomorohova[3], Dmitry Nikitin[4], Yury Rodionov[5], Olga Glivenkova[6]

[1]*IP Larionov P.N., Tambov, Russia*
[2,4,5]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[3,4,5,6]*Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1]lkp68@mail.ru
[2]danilin.7022009@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4488-7953
[3]nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X
[4]vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[5]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[6]olga-glivenkova@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-9152-5958

Abstract. *Enrichment of bread with nutrients useful for the human body contributes to the improvement of the population, so it is necessary to make a careful choice of ingredients. The article discusses the possibility of preparing a spontaneous fermentation starter based on an aqueous extract of hop cones and Jerusalem artichoke roots. Data on the content of vitamins, macro- and microelements in Jerusalem artichoke are given. A technological block diagram for the preparation of hops Jerusalem artichoke sourdough has been developed, including water extraction of hop cones. When comparing three methods of extraction, it was found that the most effective is vacuum extraction at a temperature of 54-56ºC on the developed universal extract-evaporator plant. To increase the shelf life of the starter (up to 6 months), it is proposed to use a two-stage convective vacuum pulse drying. A description is given of the technology for drying hop Jerusalem artichoke starter culture under gentle conditions (heat carrier temperature not more than 46°C, speed 2.5 m/s) with maximum preservation of biologically active substances contained in the prepared mixture. The initial moisture content of the raw material was 61%, drying at the first stage was carried out to a critical moisture content of 25%. After the second stage, a final moisture content of 5% was obtained. The positive effect of vegetable raw materials on the quality of the starter has been proven experimentally. Thus, the lifting power of baking sourdough with the addition of Jerusalem artichoke is higher compared to a similar sourdough without the use of this root crop. The lifting force was compared using the "ball" method (the difference in ascent time was on average 5-10 minutes). In addition, the prototypes had better pulp porosity compared to traditional products, and also surpassed them in taste and aroma.*

Keywords: *hop sourdough with Jerusalem artichoke, two-stage convective vacuum impulse drying, plant material, bread, vacuum extraction.*

Для цитирования: Иванова Е.П., Данилин С.И., Скоморохова А.И., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Гливенкова О.А. Разработка технологии производства хмелево-топинабурной закваски// Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 77-85. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-77-85.

For citation: Ivanova E., Danilin S., Skomorohova A., Nikitin D., Rodionov Y., Glivenkova O. Development of technology for the production of hop and topinabur starter. *Nauka v central'noj Rossii =* Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 77-85. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-77-85.

Введение. При разработке продуктов функционального или лечебно-профилактического значения одной из первостепенных задач является выбор ингредиента, позволяющего обогатить продукт ежедневного рациона всеми необходимыми минералами или микронутриентами, при этом органолептические показатели качества должны улучшаться. Важно уделять внимание вопросам понижения затрат на получение используемого сырья. Для этого целесообразно осуществлять выбор сырья из числа легкодоступных растений, произрастающих в больших количествах на близлежащей территории, что позволит удешевить производство добавок. Внедрять растительный материал с функциональными компонентами можно в виде порошков или экстрактов, которые при правильной технологии получения будут обладать всеми полезными свойствами исходного сырья.

Хлебобулочные изделия являются продуктом повседневного спроса у всех групп населения. Хлеб обладает высокой пищевой ценностью и хорошо усваивается организмом, поэтому

обогащение хлебопродуктов различными биологически активными добавками стало одним из приоритетных направлений развития пищевой промышленности.

При производстве хлебобулочной продукции важный этап технологического процесса – замес теста. Его реологические и физико-химические свойства оказывают непосредственное влияние на последующие операции и качественные показатели готового продукта. Первой фазой подготовки теста является приготовление густой опары и закваски. Процесс производства закваски по известным технологиям заключается в приготовлении хмелевого отвара и последующем сбраживании в его присутствии муки [1]. При этом, для интенсификации процесса сбраживания часто предлагается использовать картофель, мед и другие источники легко сбраживаемых углеводов.

Цель исследования заключается в изучении возможности обогащения хлебобулочной продукции биологически активными веществами путем приготовления закваски на основе экстракта шишек хмеля и измельченного топинамбура с последующим высушиванием закваски для получения продукта длительного срока хранения.

В качестве нетрадиционного сырья для приготовления закваски используется корневая часть топинамбура и водный экстракт шишек хмеля. Выбор этого растительного материала, выращенного в ЦЧР, обусловлен его легкой доступностью и химическим составом, который содержит множество полезных для организма человека компонентов. Входящие в состав топинамбура витамины, макро- и микрокомпоненты продемонстрированы на рисунке 1.

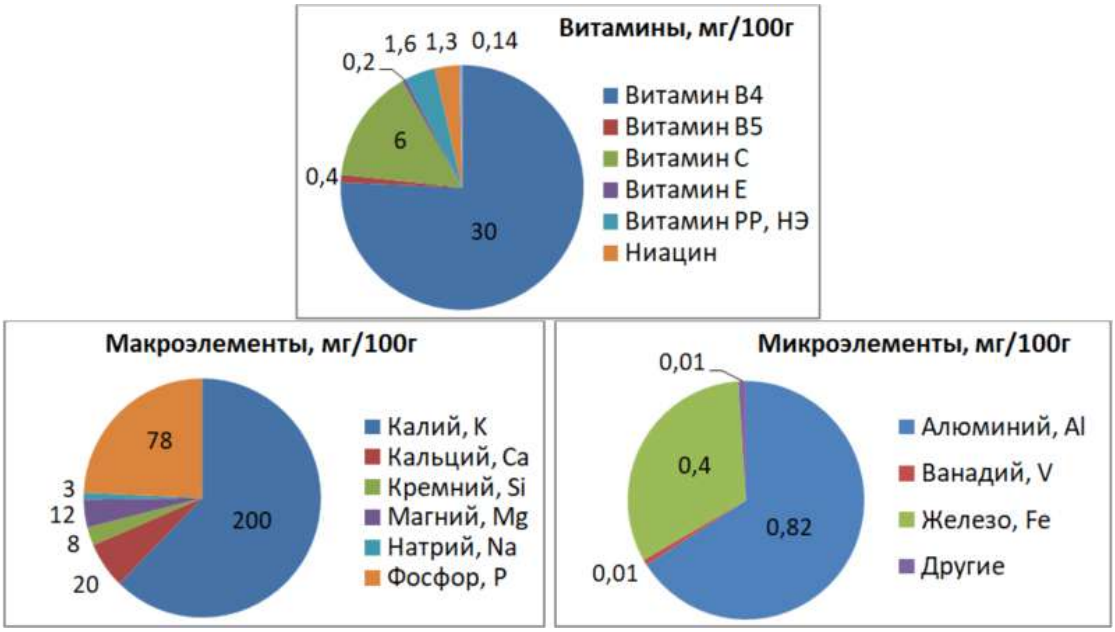


Рисунок 1 –Содержание витаминов макро- и микроэлементов в топинамбуре

Помимо наличия представленных нутриентов, в корнеплоде содержится большое количество природного аналога инсулина – инулин, ввиду чего топинамбур полезен для людей, страдающих сахарным диабетом. Топинамбур особенно необходим в ежедневном рационе жителей больших городов, где экологическая обстановка достаточно неблагоприятна, благодаря наличию в корнеплоде способности нейтрализовать отрицательные последствия воздействий окружающей среды. Его употребление способствует избавлению от избытка холестерина и очищению организма от солей тяжелых металлов, токсинов, радионуклидов [2].

Шишки хмеля были выбраны в качестве объекта экстрагирования из-за содержащихся в их составе горьких веществ (порядка 16-26%). К ним, например, относятся α-кислоты (гумулон, изогумулон) и β-кислоты (лупулон), наличие которых обуславливает сильные бактерицидные

свойства шишек. Эти кислоты подавляют развитие бактерий как грамположительных, так и грамотрицательных. Шишки хмеля богаты такими витаминами, как Bl, B3, B6, PP. Достаточно высокое содержание макроэлементов, в частности, калия (28,20 мг/100г) и кальция (10,70 мг/100г). Микроэлементный состав представлен марганцем (30,60 мкг/100 г), цинком (28,20 мкг/100 г), бором (34,00 мкг/100 г) и др. Флавоноиды, гормоны и витамины, входящие в состав хмеля обыкновенного, обладают противовоспалительными свойствами, способствуют лечению язвенной болезни желудка, укрепляют капилляры [3, 4].

Хмель благоприятно влияет на качество хлебопекарных заквасок, благодаря его бактерицидным свойствам. Добавление хмеля противодействует развитию посторонних микроорганизмов, вследствие чего достигается повышение активности дрожжевых клеток: наблюдается более активное размножение дрожжей и лучшее сбраживание сахара.

Использование в закваске водного экстракта хмеля обосновано достаточно хорошими экспериментальными данными по выходу полезных веществ в экстракт, которые в дальнейшем будут перенесены на готовое хлебобулочное изделие. Также экстракт шишек хмеля можно применять для замачивания зерна пшеницы. Хлеб, изготовленный из такого зерна, будет обладать антимикробными свойствами.

Основная часть.

Были проведены исследования различных методов экстрагирования высушенных шишек хмеля, представленных на рисунке 2, при гидромодуле 1:100 [5]. В качестве экстрагента использовали дистиллированную воду ТУ 2638-006-37512309-2013.

Рисунок 2 –Высушенные шишки хмеля

Сравнивались следующие способы:

- нагрев с помешиванием при температуре 52-54°С. Сырьё заливали экстрагентом, предварительно подогретым до температуры 52°С;
- настаивание при температуре 20-22°С;
- вакуумное экстрагирование при температуре 52-54°С. Сырье заливали экстрагентом, предварительно подогретым до температуры 52°С, и подвергали импульсному воздействию (длительностью 0,2-0,5 с). Давление разряжения поддерживали на уровне 15-17 кПа.

Экспериментальные кинетические кривые извлечения экстрагируемых веществ из шишек хмеля обыкновенного в первые 70 мин показаны на рисунке 3.

Рисунок 3 – Кривые водного экстрагирования сухих растворимых веществ хмеля

Как видно из графиков, наиболее предпочтительные результаты по времени проведения процесса и концентрации сухих растворимых веществ в экстракте получены при использовании вакуума.

Результаты и их обсуждение. Для интенсификации процесса ученые НОЦ ТГТУ-МичГАУ "Экотехнологии им. Ю.Г. Скрипникова" предложили схему производства сухой хмелевой закваски с топинамбуром длительного хранения, показанную на рисунке 4.

Рисунок 4 – Схема приготовления хмелевой закваски с топинамбуром длительного хранения

С целью обогащения готового продукта макро и микронутриентами, а также для интенсификации процесса брожения теста, в закваску вводятся измельченный топинамбур. Возможно использование других растительных материалов, например, репы, тыквы, пастернака и т.д.

Для получения закваски длительного хранения (до 6 месяцев) можно использовать двухступенчатую конвективную вакуум-импульсную сушку (ДКВИС) [6]. Для этого выброженную закваску необходимо смешать с мукой и отрубями в соотношении 1:1, после чего смесь подается на первую ступень конвективной сушки ровным слоем толщиной 1,5-2 см. Начальная влажность сырья составляла 61%, высушивание на первой ступени проводилось до критического влагосодержания 25%. После второй ступени было получено конечное влагосодержание 5%. Содержание влаги в материале определялось путем взвешивания.

Конвективную сушку проводят на лотках с сетчатым дном. Материал продувается нагретым воздухом, за счёт чего происходит испарение влаги. Температура теплоносителя не более 46°С, скорость 2,5 м/с, время сушки 60 мин. Время определяется удалением поверхностной влаги. Также можно производить сушку в конвективной сушилке в псевдоожиженном слое. Затем материал помещается на вторую ступень – вакуум-импульсную сушилку. В вакуумном шкафу лотки с закваской подвергаются импульсному воздействию в течение 120 с, затем прогреваются также 120 с. Сухую хмелевую закваску с топинамбуром используют в технологическом процессе по аналогии с традиционной закваской, предварительно восстановив начальную влажность путем добавления теплой воды (35-40°С).

Высушивание закваски осуществляется при температуре, не превышающей температуру денатурации БАВ с учетом параметров жизнедеятельности дрожжевых клеток.

Сохранение полезных компонентов и жизнедеятельности дрожжевых клеток обеспечивается низкими температурными режимами теплоносителя, что особенно важно во втором периоде сушки при сохранении интенсивного испарения. Влияние на длительность высушивания оказывает периодический обдув на второй ступени, что позволяет сократить время сушки, а вместе с тем увеличить количество сохраняемых биологически активных веществ в хмелевой закваске с топинамбуром.

Двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушильная установка показана на рисунке 5.

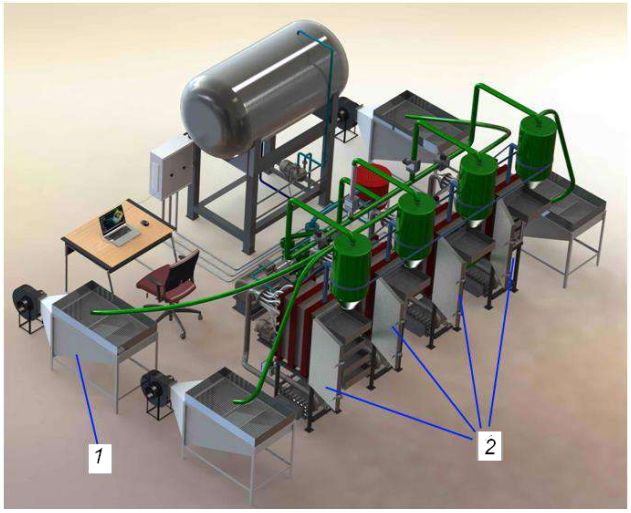


Рисунок 5 – Двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушильная установка: 1 – конвективная лотковая сушилка (первая ступень сушки); 2 – конвективные вакуум-импульсные сушилки (вторая ступень сушки)

Высушивание посредством конвективной и конвективной вакуум-ипульсной сушки реализуется последовательно. На первой степени в периоде постоянной температуры сырья сушка закваски осуществляется конвекцией в лотковой сушилке (позиция 1). Завершение первого периода характеризуется полным удалением поверхностной влаги при повышении температуры материала выше температуры мокрого термометра. Величина температуры определяется путем измерений датчиком в кусочках растительного материала. Скорость и качество протекания процесса на данном этапе зависит от параметров сушильного агента, высоты слоя материала и его теплофизических характеристик. Под теплофизическими характеристиками материала понимаются некоторые усредненные (среднестатистические) характеристики, так как слой закваски представляет собой гетерогенную систему.

Переход с первой ступени на вторую происходит после начала периода падающей скорости в приведенной кривой сушки (рисунок 6). Это означает достижение приведенного критического влагосодержания, которое зависит от величины начальной влажности сырья и режимов первой (конвективной) ступени сушки – скорости и температуры теплоносителя, которые определяются на основании проведенных экспериментов.

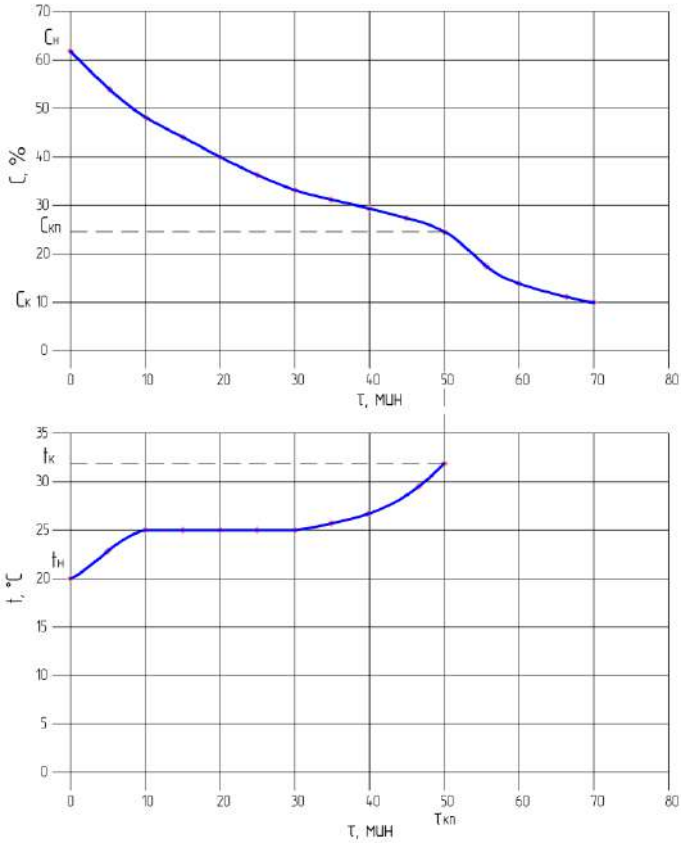


Рисунок 6 – Кривые сушки и температуры высушивания хмелево-топинамбурной закваски ($T_т$=46ºС, $v_т$=2,5 м/с)

Первые опытные образцы пшенично-ржаного хлеба, приготовленного на основе хмелевой закваски с добавлением топинамбура, продемонстрировали значительное улучшение качественных показателей хлеба благодаря комплексному воздействию экстракта шишек хмеля и порошка топинамбура. Изготовленные образцы имели высокие органолептические и физико-механические показателями, превосходили традиционные по вкусу, аромату и отличались улучшенным состоянием пористости мякиша.

Добавление топинамбура увеличивает подъемную силу хлебопекарной закваски (время всплывания шарика отличается в среднем на 5-10 минут) по сравнению с аналогичной закваской без использования растительного порошка. Подъемная сила закваски определялась методом «шарика», как показано на рисунке 7.

Рисунок 7 – Метод «шарика» для определения подъемной силы закваски

Время всплывания шарика уменьшается ввиду хорошего развития дрожжей благодаря высокоуглеводному составу топинамбура, включающему в себя большое количество питательных веществ, которые благоприятно сказываются на развитии дрожжевых клеток.

Полученные результаты при проведении экспериментальных исследований подъемной силы хмелевой закваски с топинамбуром свидетельствует о перспективности использования растительного порошка в качестве ингредиента при приготовлении хлебопекарной закваски.

Таким образом, разработанная технологическая схема позволяет получать хлебопекарную закваску длительного хранения, обладающую высоким содержанием БАВ. Добавление в рецептуру водного экстракта хмеля и растительного порошка способствует приготовлению хлебобулочной продукции функционального назначения. Помимо полезных для организма человека свойств, полученные образцы хлеба имели хорошие органолептические показатели.

Заключение.

В результате проведенных исследований были определены оптимальные режимные параметры водного экстрагирования сухих растворимых веществ хмеля и высушивания хмелевой закваски с топинамбуром. Эксперименты осуществлялись на разработанных опытных установках, которые обеспечивают низкотемпературные режимы, способствующие максимальному сохранению биологически активных веществ. Приготовление хлебобулочной продукции на основе закваски спонтанного брожения при правильном подборе ингредиентов растительного происхождения позволит обогатить рацион питания населения с учетом индивидуальных вкусовых предпочтений и рекомендаций по диетическому питанию. В настоящее время ведутся исследования по возможности внедрения в закваску других овощных продуктов.

Список источников

1. Сатцаева И.К., Гасиева В.А., Тебоева А.К., Фарниева Я.С. Способ повышения качества и безопасности хлебобулочных изделий из пшеничной муки путем совершенствования технологии хмелевой закваски // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 – С. 118-124.

2. Голубев В.И., Волкова И.В., Кушанов Х.М. Топинамбур. Состав, свойства, способы переработки, области применения. – Астрахань: Изд. Полиграф, комплекс «Волга», 1995. – 81 с.

3. Коляда Е.В., Толчикова А.И. К вопросу о химическом составе хмеля // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 4-3. – С. 49-51.

4. Lin L.Y., Jiang Y.P., Zhang Q.Y. at al. Research progress of chemical constituents and pharmacological activities in Humulus lupulus // Zhongguo Zhong Yao Za Zhi. – 2017. – No. 42 (10). – P. 1825-1829.

5. Гуськов А.А., Родионов Ю.В., Анохин С.А. и др. Технология вакуумно-импульсного экстрагирования растворимых веществ из крапивы и хмеля // Инновационная техника и технология. – 2018. – № 2 (15). – С. 23-27.

6. Родионов Ю.В., Никитина Д.В., Зорин А.С. и др. Энергосберегающая двухступенчатая сушильная установка для растительных материалов // Патент РФ № 2013111266/06. – 2013.

References

1. Sattsaeva I.K., Gasieva V.A., Teboeva A.K., Farnieva Ya.S. Sposob povysheniya kachestva i bezopasnosti khlebobulochnykh izdeliy iz pshenichnoy muki putem sovershenstvovaniya tekhnologii khmelevoy zakvaski [A method for improving the quality and safety of bakery products from wheat flour by improving the technology of hop sourdough], Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2016, No. 2, pp. 118-124.

2. Golubev V.I., Volkova I.V., Kushanov Kh.M. Topinambur. Sostav, svoystva, sposoby pererabotki, oblasti primeneniya [Jerusalem artichoke. Composition, properties, processing methods, applications], Astrakhan': Izd. Poligraf, kompleks «Volga», 1995, 81 p.

3. Kolyada E.V., Tolchikova A.I. K voprosu o khimicheskom sostave khmelya [To the question of the chemical composition of hops], Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 2017, No. 4-3, pp. 49-51.

4. Lin L.Y., Jiang Y.P., Zhang Q.Y. at al. Research progress of chemical constituents and pharmacological activities in Humulus lupulus, Zhongguo Zhong Yao Za Zhi, 2017, No. 42 (10), p. 1825-1829.

5. Gus'kov A.A., Rodionov Yu.V., Anokhin S.A. i dr. Tekhnologiya vakuumno-impul'snogo ekstragirovaniya rastvorimykh veshchestv iz krapivy i khmelya [Technology of vacuum impulse extraction of soluble substances from nettles and hops], Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya, 2018, No. 2 (15), pp. 23-27.

6. Rodionov Yu.V., Nikitina D.V., Zorin A.S. i dr. Energosberegayushchaya dvukhstupenchataya sushil'naya ustanovka dlya rastitel'nykh materialov [Energy-saving two-stage plant material dryer], Patent RF № 2013111266/06, 2013.

Информация об авторах

Иванова Екатерина Петровна – кандидат технических наук; Данилин Сергей Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; Скоморохова Анастасия Игоревна – аспирант; Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент; Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор; Гливенкова Ольга Анатольевна – кандидат филологических наук, доцент.

Information about the authors

E. Ivanova – Candidate of Technical Sciences; S. Danilin – Candidate of Agricultural Sciences, Professor; A. Skomorokhova – post graduate student; D. Nikitin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Y. Rodionov – Full Doctor of Technical Sciences, Professor; O. Glivenkova – Candidate of Philological Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 29.09.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.796
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-86-93

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ НА СКЛАДАХ В ЛЕЧЕБНО-ИСПРАВИТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ ПЕНИТЕНЦИАРНОЙ СИСТЕМЫ

Александр Николаевич Зазуля [1], Валентин Алексеевич Макаров[2], Ольга Владимировна Макарова[3], Светлана Валентиновна Гаспарян[4]
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Табмов, Российская Федерация
[1]zazulja_an@rambler.ru
[2]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация
[2]va_makarov@rambler.ru
[3,4]Академия права и управления ФСИН России, г. Рязань, Российская Федерация
[3]m_ov+2302@bk.ru
[4] gasparyan.svetlana@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Валентин Алексеевич Макаров, va_makarov@rambler.ru
Corresponding author Valentin Makarov, va_makarov@rambler.ru

Реферат. *Рассмотрены актуальные направления совершенствования организации складского хозяйства в лечебном исправительном учреждении. Большое внимание уделено срокам хранения овощной продукции, предназначенной для организации питания лиц, находящихся в лечебном учреждении уголовно-исполнительной системы. С целью решения проблемных направлений хранения овощей предложена система модернизации склада, связанная с кондиционированием воздуха. Проанализированы преимущества предлагаемой системы, такие как: подсушивание овощей, увлажнение в определенный период, охлаждение, сокращение естественной убыли при хранении, температурные условия, влажность и газовый состав воздуха. Раскрыта и охарактеризована Сплит-система, установленная для автоматического регулирования микроклимата в овощехранилище, которая полностью обеспечивает заданный температурно-влажностный режим на складе. Сформированы все санитарные, строительные и монтажные требования по вводу овощехранилища в эксплуатацию. Приведены расчетные технические показатели по мощности Сплит-систем различного направления. Выявлены пять основных факторов, влияющих на выбор предлагаемой установки: площадь складского помещения, высота потолков, численность людей, размер и количество оконных проемов и этажность хранилища. Охарактеризованы параметры складского хозяйства предназначенного для хранения картофеля и овощей. Определены принципы при выборе мощности предлагаемой установки. Рассчитаны показатели общей мощности Сплит-системы исходя из строительных норм и правил Российской Федерации по отоплению, вентиляции и кондиционированию. Выполнены расчеты материальных затрат связанных с закупкой анализируемых систем кондиционирования. По полученным расчетным данным, проанализированы и сформированы предложения по приобретению и установке систем необходимых для хранения каждого продукта в отдельности, а именно для картофеля, моркови, капусты, лука и свеклы. Выработанные предложения приведут к снижению естественной убыли овощной продукции, что позволит продлить сроки лежкости продукции и приведет к экономии денежных средств, необходимых на более частую закупку продовольствия.*

Ключевые слова: *овощехранилище, складское хозяйство, сплит-система, лечебное учреждение, продовольствие, система кондиционирования, естественная убыль.*

IMPROVING THE ORGANIZATION OF FOOD STORAGE IN WAREHOUSES IN THE MEDICAL AND CORRECTIONAL INSTITUTION OF THE PENITENTIARY SYSTEM

Alexander Zazulya[1], Valentin Makarov[2], Olga Makarova[3], Svetlana Gasparyan[4]
[1]All-Russian Research Institute for the Use of Technology and oil products in agriculture, Tabmov, Russian Federation
[1]zazulja_an@rambler.ru
[2]Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russian Federation
[2]va_makarov@rambler.ru
[3,4] Academy of Law and Administration of the Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan, Russian Federation
[3]m_ov+2302@bk.ru
[4]gasparyan.svetlana@yandex.ru

Abstract. *Topical directions for improving the organization of warehouse management in a medical correctional institution are considered. Much attention is paid to the shelf life of vegetable products intended for catering for persons in a medical institution of the penitentiary system. The warehouse modernization system associated with air conditioning is proposed in order to solve the problem areas of vegetable storage. The advantages of the proposed system are analyzed, such as: drying vegetables, moisturizing in a certain period, cooling, reducing the natural loss during storage, temperature conditions, humidity and gas composition of the air. The split system installed for automatic control of the microclimate in the vegetable store, which fully provides the specified temperature and humidity conditions in the warehouse, is disclosed and characterized. All sanitary, construction and installation requirements for putting the vegetable store into operation have been formed. The calculated technical indicators for the power of Split-systems in various directions are given. Five main factors influencing the choice of the proposed installation have been identified: the area of the warehouse, the height of the ceilings, the number of people, the size and number of window openings and the number of storeys of the storage. The parameters of a warehouse designed for storing potatoes and vegetables are characterized. The principles are defined when choosing the power of the proposed installation. The indicators of the total power of the Split system are calculated based on the building codes and rules of the Russian Federation for heating, ventilation and air conditioning. Calculations of the material costs associated with the purchase of the analyzed air conditioning systems have been performed. According to the calculated data obtained, proposals for the purchase and installation of systems necessary for the storage of each product separately, namely for potatoes, carrots, cabbage, onions and beets, were analyzed and formed. The developed proposals will contribute to reducing the natural loss of vegetable products, which will extend the shelf life of products and lead to savings of money needed for more frequent food purchases.*

Keywords: *vegetable storage, warehouse, split system, medical institution, food, air conditioning system, natural decline.*

Для цитирования: Зазуля А.Н., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В. Совершенствование организации хранения продовольствия на складах в лечебно-исправительном учреждении пенитенциарной системы// Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 86-93. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-86-93.

For citation: Zazulya A., Makarov V., Makarova O., Gasparyan S. Improving the organization of food storage in warehouses in the medical and correctional institution of the penitentiary system. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 86-93. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-86-93.

Введение. В ходе проведенных исследований в типичном лечебно-исправительном учреждении системы ФСИН нами установлено, что на продовольственных складах присутствует нарушение условий хранения продуктов питания, одним из них является не соблюдение температурно-влажностного режима, вследствие чего продукция портится быстрее, что влечет за собой рост процента естественной убыли. Другим выявленным условием является не выдерживание сроков хранения продовольствия, в результате чего также увеличивается порча

продукции, а, следовательно, уменьшение объемов хранящегося продовольствия. (Материалы исследований по таким видам хранимого продовольствия как картофель, морковь, свекла и капуста белокочанная опубликованы ранее в статье). Для решения имеющихся проблем предлагается модернизировать помещения для хранения продовольствия за счет установки современной сплит-системы. Ее главной задачей является кондиционирование воздуха.

Вопросами организации хранения продукции сельскохозяйственного назначения занимались такие ученые, как Зазуля А.Н., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В., Андреев К.П., Забара К.А., Терентьев В.В., Наприс Ж.С., Штыков А.С, Конкина В.С.. [1-6].

Материалы и методы.

Применение активной вентиляции с подачей воздуха через массу продукции с определенными параметрами температуры, влажности и скорости позволит обеспечить следующие технологически эффективные направления:

– подсушить заложенные на хранение увлажненные картофель и овощи, залечить раны от механических повреждений, быстро охладить хранимую продукцию и предотвратить отпотевание ее верхних слоев;

– значительно сократить естественную убыль продукции при хранении;

– создать во всех точках закрома (насыпи) равные условия температуры, влажности и газового состава воздуха.

Сплит-системы устанавливаются в помещениях с учетом нормативных условий хранения продуктов питания.

В хранилищах с активной вентиляцией устанавливаются приборы для автоматического регулирования режима работы. Система автоматики обеспечивает заданный температурно-влажностный режим.

При использовании системы кондиционирования воздуха необходимо соблюдать все требования по обеспечению санитарии, строительства и монтажа, а также эксплуатации.

Главный параметр, который рассчитывается при выборе сплит-системы, это мощность.

При подсчете мощности сплит-системы, принимают во внимание 5 основных факторов.

Первый фактор является самым важным, от которого следует отталкиваться – *площадь* складского помещения. Согласно техническим требованиям, на каждые 10 м^2 площади помещения необходим 1 кВт мощности кондиционера. В противном случае производительности устройства не будет хватать на обхват всей территории помещения.

Количество устанавливаемых в рассматриваемом лечебно-исправительном учреждении сплит-систем напрямую зависит от площадей помещений склада. Овощехранилище, предназначенное для хранения картофеля, свеклы, моркови, капусты имеет следующие параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры склада для картофеля и овощей в лечебно-исправительном учреждении

Наименование параметра	Размер параметра
Длина, м	29,3
Ширина, м	19,3
Высота, м	6,3
Площадь склада, м^2	565,5

На основании параметров склада и действующей схемы овощехранилища лечебно-исправительного учреждения проводим соотношение и находим полезную площадь помещений.

Помещение для хранения картофеля имеет площадь - 154, 4 м^2, для моркови и свеклы - 64 м^2, для капусты - 40,96 м^2.

Выбирается прибор по его маркировке, цифры которой соответствуют площади помещения.

Второй фактор - *высота потолков*. Объемы пространства на складах также оказывают немалое влияние на производительность кондиционера. Если высота потолков больше 3-х метров,

то лучше предусмотреть запас по мощности (холодопроизводительности). По данным из паспорта овощного склада лечебно-исправительного учреждения его высота равна 6,3 метра.

Третий фактор, который учитывается при расчете мощности кондиционера - *численность людей*, постоянно проводящих время в помещении. Из научных источников известно, что человеческое тело выделяет 100 Вт тепла в спокойном состоянии и 200 при физической активности. Например, если в помещении постоянно находятся 2 человека, понадобится кондиционер на 200 Вт мощнее. В нашем случае, постоянного времяпровождения людей в хранилище не предусмотрено.

Четвертым фактором является *размер и количество оконных проемов*, так как сквозь застекленные поверхности попадают солнечные лучи, которые нагревают помещение. Поэтому необходимо рассчитывать количество и площадь окон на солнечных сторонах.

В лечебно-исправительном учреждении, имеются помещения для хранения, окна в которых не предусмотрены.

Пятым фактором является *этажность* хранилища. На самых высоких этажах, расположенных прямо под крышей, температура поднимается сильнее .

В лечебно-исправительном учреждении все складские помещения расположены на первом этаже.

Грамотный выбор мощности кондиционера позволяет не переплачивать за электричество и при этом обеспечивает надежную работу прибора.

При подборе мощности кондиционера руководствуются определенными принципами.

Для выбора прибора на склад лечебно-исправительного учреждения применим приблизительный метод расчета мощности, руководствуясь строительными нормами и правилами Российской Федерации 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Подсчет общей мощности сплит-системы производится по формуле (1):

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

где:

Q_1- приток тепла от стены, окна, крыши - $Q_к$ = S x h x q / 1000, S- площадь помещения (м ^{2});

h-высота потолка (м); q - константа,принятая за 30-40 Вт/м ^{3} , q = 30 для затемненного помещения, q = 35 средняя степень освещения, q = 40 для помещений с окнами на юг, большой площадью остекления и т. д.;

Q_2- тепло, производимое находящимися в комнате людьми.

(Взрослый человек выделяет 0,1 кВт при низкой физической активности; 0,13 кВт - при средней и 0,2 кВт - при сильной.)

Q_3- тепло, выделяемое бытовой техникой, телевизором, компьютером.

Например: 0,3 кВт - компьютер; 0,2 кВт - телевизор. Пользуются чаще всего универсальной формулой - 30 % от максимальной мощности потребления прибора.

Так как ранее рассчитано, что помещение для картофеля имеет площадь - 154,4 м^2; для свеклы и моркови - 64 м^2; для капусты - 40,96 м^2, получаем следующие общие мощности сплит-систем по видам хранимой продукции.

Для картофеля:

$Q_к$=154,4x6,3x30/1000=29,1816 кВт

Для моркови и свеклы:

$Q_{мс}$=64x6,3x30/1000=12,096 кВт

Для капусты:

$Q_{кап}$=40,96x6,3x30/1000=7,74 кВт

Далее, учитываем следующий факт, что оптимальное значение мощности Qrange составляет по нормативным данным от -5% до +15% расчетной мощности Q. Возмем по максимуму 15%,

тогда: для картофеля $Q_{к}$ = 33,56 кВт; для моркови и свеклы $Q_{мс}$ =13,91 кВт; для капусты $Q_{кап}$ = 8,9 кВт.

На основании проведенных выше расчетов, предлагается закупить в помещение для хранения картофеля сплит-систему Aero ALC-48D в количестве 2-х штук.

В помещение, где хранятся морковь и свекла, закупаем сплит-систему Aero ALLC-II-24D.

В третье помещение для хранения капусты устанавливаем сплит-систему Aeronik ASI-30HS1/ASO-30HS1.

Следует отметить, что, если подбирать сплит-систему без учета характеристик помещения, то впоследствии возможны неприятные ситуации, возникающие как при недостатке мощности, так и при ее избытке.

Так, если кондиционер будет недостаточно мощным, то нас ждет некачественная работоспособность прибора; перегрев и поломка устройства; дополнительные траты на ремонт и обслуживание.

Если же кондиционер окажется слишком мощным, то стоимость прибора и монтажа будет выше; шум от системы будет громче; потенциал устройства будет использоваться не полностью.

Результаты и их обсуждение. Выполним расчет материальных затрат на закупку и установку данной системы кондиционирования (таблица 2)**.**

Таблица 2 - Расчет экономических затрат на предлагаемые мероприятия по установке сплит-системы в лечебно-исправительном учреждении

Позиции по смете	Наименование работ	Единица измерения	Выполнено работ		
			количество	цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
	Монтажные работы				
ФЕР-20-06-019-01	Установка внешнего блока мульти сплит-системы	шт	4	225,97	903,88
ФЕР-20-06-019-04	Установка внутреннего блока настенного типа мощностью: свыше 8 кВт	шт	1	36,53	36,53
ФЕР-20-06-019-10	Установка внутреннего блока кассетного типа мощностью: свыше 8 кВт	шт	3	55,29	165,87
ФЕР-46-03-009-08	Пробивка в кирпичных стенах отверстий круглых диаметром: до 50 мм при толщине стен до 38 см	100 шт	0.5	1717,04	858,52
ФЕР-20-06-016-01	Установка блоков присоединительных: БП-1 производительностью до 10 тыс. м3/час	шт	4	126,75	507,00
ФЕР-20-02-019-01	Установка кронштейнов под вентиляционное оборудование	100 кг	0.16	928,06	148,49
ФЕР-20-06-017-01	Установка блоков приемных производительностью: до 10 тыс.м^3/час	шт	4	200,88	803,52
ФЕРм-12-01-105-01	Трубопровод из медных труб на номинальное давление до 2,5 МПа, диаметр труб наружный: 18 мм	120 м	0.6	917,43	550,46
ФЕР-08-02-401-01	Кабель трех-пятижильный сечением жилы до 16 мм2 с креплением накладными скобами, полосками с установкой	100 м	3	630,11	1890,33
[ФССЦ-21.1. 06.09-0074]	Кабель силовой с медными жилами ВВГ 5х2,5-660	1000 м	0,3	8697,61	2609,28
[Калькуляция цены]	Сплит-система Aero ALC-48D	шт.	2	48300	96600,0

					0
[Калькуляция цены]	Сплит-система Aero ALLC-II-24D	шт.	1	36100	36100,0
[Калькуляция цены]	Сплит-система Aeronik ASI-30HS1/ASO-30HS1	шт.	1	29700	29700,0
ФЕРм-08-02-409-01	Труба винипластовая по установленным конструкциям, по стенам и колоннам с креплением скобами, диаметр: до 25 мм	100 м	3	231,67	695,01
[Калькуляция цены]	Труба гофрированная ПВХ с зондом DKC 25 мм х 50 м серый	50 м	6	1199,00	7194,00
Итого: 178762,89 руб.					

Согласно произведенному сметному расчету, затраты на покупку и установку сплит системы для лечебно-исправительного учреждения составят 178 762,89 руб.

Исходя из норм естественной убыли (согласно приказу Минпромторга России № 252) определяем общий процент естественной убыли, приходящийся на каждую культуру, хранимую на складах. Для картофеля он составляет 11,9%; для свеклы - 8,5%; для моркови - 12,5%; для капусты - 11,9%.

Представим данные для расчета экономической эффективности от внедрения сплит - системы в исследуемом лечебно-исправительном учреждении (таблица 3).

Таблица 3 - Показатели для расчета экономической эффективности от внедрения сплит-системы в лечебно-исправительном учреждении

Наименование продукта	Количество кг. закупаемое за год	% естественной убыли до установки сплит-системы	Планируемый % естественной убыли после установки сплит-системы
1	2	3	4
Картофель свежий продовольственный	27 400	11,9	6,7
Морковь столовая поздняя свежая	2 500	8,5	5,0
Свекла столовая свежая (поздняя)	2 200	12,5	7,1
Капуста белокочанная свежая (поздняя)	8 500	11,9	7,8

Примем во внимание закупочную цену 2021 года каждого продукта для системы ФСИН, а именно: картофель-13,90 руб/кг; морковь-20,16 руб/кг; свекла-15,21 руб/кг; капуста-12,75 руб/кг.

Получаем стоимость естественной убыли до установки сплит-системы 66 685,715 рублей.

Стоимость естественной убыли продуктов после установки - 38 866,672 рублей.

Разницу между затратами на убыль до установки сплит-системы и после ее установки: 27 819,043рублей

Срок окупаемости затрат на приобретение сплит - системы составит 178762,89руб/27819,043руб = 6,4 года

Вывод. Таким образом благодаря реализации предложенных мероприятий, в частности, установки современной сплит-системы на склад овощехранилища лечебно-исправительного учреждения ежегодно возможно получать экономический эффект, создать оптимальные условия хранения, а настроенный температурно-влажностный режим сократит расходы на закупку дополнительной продукции, при этом окупаемость затрат приблизительно произойдет в течение 6 лет.

Список источников

1. Зазуля А.Н., Нагорнов С.А. Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства // Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. Тамбов. 2021- С. 7 – 12.

2. Макарова О.В., Гаспарян С.В. Специфика продовольственного обеспечения учреждений уголовно-исполнительной системы // – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. – 61 с.

3. Андреев К.П., Забара К.А., Терентьев В.В., Шемякин А.В. Совершенствование технологии хранения сельскохозяйственной техники. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 7. С. 32-38.

4. Голиков А.А., Чурин А.С. Обзор способов хранения картофеля // Сборник тезисов выступлений и докладов участников III Международного пенитенциарного форума «Преступление, наказание, исправление» (к 20-летию вступления в силу Уголовного кодекса РФ). Рязань. 2017. С. 41 – 43.

5. Наприс Ж.С., Штыков А.С. Источники, условия и направления совершенствования продовольственного обеспечения спецконтингента //Сборник тезисов выступлений и докладов участников IV Международного пенитенциарного форума «Преступление, наказание, исправление» (к 140 - летию уголовно-исполнительной системы России и 85 – летию Академии ФСИН России). Рязань. 2019. С. 153 – 157.

6. Конкина В.С. Продовольственный рынок Российской Федерации в разрезе нормативно-правового регулирования его безопасности /Сборник материалов научно-практической конференции. Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг. 2019. С. 104-109.

References

1. Zazulya A.N., Nagornov S.A. Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products - new technologies and new generation equipment for crop and livestock production // Collection of scientific reports of the XXI International Scientific and Practical Conference. Tambov. 2021- S. 7 - 12.

2. Makarova O.V., Gasparyan S.V. Specifics of food supply to institutions of the penitentiary system // - Kursk: CJSC "Universitetskaya kniga", 2020. - 61 p.

3. Andreev K.P., Zabara K.A., Terentiev V.V., Shemyakin A.V. Improving the storage technology of agricultural machinery. Repair. Recovery. Modernization. 2020. No. 7. P. 32-38.

4. Golikov A.A., Churin A.S. Review of ways to store potatoes // Collection of abstracts of speeches and reports of participants in the III International Penitentiary Forum "Crime, Punishment, Correction" (on the 20th anniversary of the entry into force of the Criminal Code of the Russian Federation). Ryazan. 2017. S. 41 – 43.

5. Napris Zh.S., Shtykov A.S. Sources, conditions and directions for improving the food supply of the special contingent // Collection of abstracts of speeches and reports of participants in the IV International Penitentiary Forum "Crime, Punishment, Correction" (to the 140th anniversary of the penitentiary system of Russia and the 85th anniversary of the Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia). Ryazan. 2019. S. 153 - 157.

6. Konkina V.S. The food market of the Russian Federation in the context of the legal regulation of its safety / Collection of materials of the scientific and practical conference. Consumer market: quality and safety of goods and services. 2019. S. 104-109.

Информация об авторах

Зазуля Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор; Макаров Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор; Макарова Ольга Владимировна – доктор экономических наук, профессор; Гаспарян Светлана Валентиновна – кандидат экономических наук, доцент.

Author credentials
Affiliations

Zazulya Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor; Makarov Valentin – Doctor of Technical Sciences, Professor; Makarova Olga – Doctor of Economics, Professor; Gasparyan Svetlana – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 29.09.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 338.28
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-94-101

КОНЦЕПЦИЯ «УМНОГО НЕФТЕСКЛАДА» НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Максим Юрьевич Левин[1], Станислав Александрович Нагорнов[2], Екатерина Юрьевна Левина[3], Любовь Владимировна Левина[4], Ирина Анатольевна Коваленко[5]
[1,4,5] *ЛГТУ, г. Липецк, Россия*
[2] *ВНИИТиН, г. Тамбов, Россия.*
[3] *МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия*
[1]lmu@list.ru

Автор ответственный за переписку: Максим Юрьевич Левин, lmu@list.ru
Corresponding author Maxim Levin, lmu@list.ru.

Реферат. *В работе рассмотрены и решены вопросы формирования алгоритмов и практических методов применения машинного зрения в концепции умного нефтесклада. Полученная технология позволит существенно повысить автономность интеллектуальных алгоритмов управления резервуарным парком и обеспечит его безопасную работу. Фундаментальным принципом развития бионического подхода в машинном зрении для распознавания объектов по полученным изображениям является использование искусственных нейронных сетей. Решению проблемы зрительного восприятия при помощи компьютера послужило развитие искусственных нейронных сетей и алгоритмов их обучения. Для повышения автономности интеллектуальных алгоритмов управления резервуарным парком и обеспечения его безопасной работы необходимо формирование алгоритмов и практических методов применения машинного зрения в концепции умного нефтесклада. Получены результаты измерений стального наземного горизонтального резервуара нейронной сетью по изображению с камеры путем пространственного преобразования его изображения и построении структурных элементов с применением алгоритма сегментации контуров. В качестве начального массива данных, из которого получается смоделировать некоторое финальное изображение, принимается фото или видеопоток в форме некоторого вектора неупорядоченных данных – который является набором выполненных измерений физического объекта, который получен через видеокамеру. Видео или фото поток содержит в терминах компьютерного зрения изображение наземного горизонтального цилиндрического резервуара. Наименьшим элементом изображения в видео или фотопотоке будет являться пиксель, который составляет и в тоже время является фактическим измерением искомой физической величины для объекта. Полученный результат составил: высота резервуара 2,05 м, длина резервуара 3,17 м, диаметр 2,25 м. Погрешность измерений при этом равна 4,5%.*

Ключевые слова: *умный нефтесклад, машинное зрение, стальной резервуар.*

THE CONCEPT OF "SMART OIL STORAGE" BASED ON MACHINE VISION TECHNOLOGIES

Maxim Yuryevich Levin[1], Stanislav Alexandrovich Nagornov[2], Ekaterina Yuryevna Levina[3], Lyubov Vladimirovna Levina[4], Irina Anatolyevna Kovalenko[5]
[1,4,5] *LGTU, Lipetsk, Russia*
[2] *VNIITiN, Tambov, Russia*
[3] *MSTU im. N. E. Bauman, Moscow, Russia*
[1]lmu@list.ru

Abstract. *The paper considers and solves the issues of the formation of algorithms and practical methods for the application of machine vision in the concept of a smart oil storage. The resulting technology will significantly increase the autonomy of intelligent algorithms for managing the tank farm and ensure its safe operation. The fundamental principle of the development of the bionic approach in machine vision is the use of artificial neural networks to recognize objects from the received images. The solution to the problem of visual perception with the help of a computer was the development of artificial neural networks and algorithms for their training. To increase the autonomy of intelligent algorithms for managing a tank farm and ensure its safe operation, it is necessary to develop algorithms and practical methods for using machine vision in the framework of an intelligent oil storage unit. The results of measurements of a steel surface horizontal tank by a neural network based on the image from the camera are obtained by spatial transformation of its image and construction of structural elements using the contour segmentation algorithm. The initial representation, from which the mapping is carried out to some final representation, is usually the representation of the image in the form of an array of raw data - a set of results of physical measurements made for some image from the camera. A picture from a camera contains, in terms of computer vision, a set of physical objects or some fragment of the real world, in our case, a ground horizontal cylindrical tank. The smallest image element with such an initial representation is a pixel containing the result of a single measurement of a given physical quantity. The result obtained was: tank height 2.05 m, tank length 3.17 m, diameter 2.25 m. The measurement error in this case is 4.5%.*

Keywords: *smart oil depot, machine vision, steel tank.*

Для цитирования: Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю., Левина Л.В., Коваленко И.А. Концепция «умного нефтесклада» на основе технологий машинного зрения // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 94-101. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-94-101.

For citation: Levin M., Nagornov S., Levina E.., Levina L., Kovalenko I.A. The concept of "smart oil storage" based on machine vision technologies. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 94-101. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-94-101.

Введение. Для многих отраслей, например, нефтяной промышленности, транспорта, сельскохозяйственного производства вопросы повышения энергоэффективности и сохранения энергии являются приоритетными. Актуальность и значимость этих вопросов, а также снижение загрязнения атмосферы продуктами углеродсодержащих топлив обозначена в новой климатической повестке. В этой связи совершенно справедливо особое внимание уделить формированию теоретических и практических методов с помощью которых возможно осуществлять моделирование хранения топлива в стальных наземных горизонтальных цилиндрических резервуарах с применением искусственного интеллекта и нейросетей а также за счет «умного» управления нефтехозяйством. В скором времени создание новых методов, технологических процессов и устройств с использованием цифровых технологий для контроля качества и снижения потерь топлива от испарения будет иметь доминирующую роль в повышении экономической эффективности предприятия.

Для значимого роста экономического эффекта от использования нефтяного топлива нефтехозяйство предприятия необходимо трансформировать в «умный» и интеллектуальный нефтесклад, т.е. обеспечить доступ к таким цифровым технологиям как широкополосная, мобильная LPWAN-связь, Big Data, искусственный интеллект, машинное зрение, платформы управления, радиочастотные метки, контроллеры, датчики, элементы управления отечественного приборостроения [1]. Современное представление о машинном видении – это относительно новая и стремительно развивающаяся сфера научных и прикладных исследований, главной задачей которых ставится создание технологий и методов, которые способны научить компьютер «видеть» окружающие его физические объекты и использовать полученную информацию в дальнейшей работе. Отметим, что обработка полученного видео или фотопотока происходит на компьютерах, как универсальных, так и специализированных с применением различных математических алгоритмов [2].

Формирование алгоритмов и практических методов применения машинного зрения в концепции умного нефтесклада позволит существенно повысить автономность интеллектуальных алгоритмов управления резервуарным парком и обеспечит его безопасную работу.

Материалы и методы

«Умный нефтесклад» включает в себя математические модели и искусственные нейронные сети для прогнозирования и классификации различных состояний системы, позволяющие оцифровать процесс хранения моторного топлива в резервуаре. Опираясь на расчетные данные пользователь либо роботизированные системы управления совершают действия по предотвращению выбросов углеводородов в атмосферу.

«Интеллектуальность» резервуаров на нефтескладе обеспечивается за счет применения виртуально облачной системы автоматизации, которая обеспечивает сбор и обработку требуемых параметров с применением BigData, искусственных нейронных сетей (виртуального датчика) и облачной технологии хранения и обработки данных.

Виртуальный датчик — это математическая модель, в основе которой некоторая архитектура нейронной сети, обеспечивающая максимальную точность прогнозирования требуемого параметра. «Пусть нейронная сеть, моделирующая виртуальный датчик, состоит из M слоёв, в μ-ом слое которого находится $N\mu$ нейронов (μ=1,…,M). Парой (μ,i) будем обозначать i-й нейрон μ-го слоя. Неоднородный адаптивный сигнал этого нейрона запишется в виде» [4]:

$$net^{(\mu,i)} = w_0^{(\mu,i)} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,i)} y_j^{(\mu-1,i)} = w^{T(\mu,i)} u^{(\mu,i)}, \quad (1)$$

«где вектор весовых коэффициентов $w(\mu,i)=(w_0(\mu,i),w_1(\mu,i),\ldots,w_n(\mu,i))$, μ=1,…,M, – ($n=N\mu$-1 – число нейронов в предыдущем слое), $y(\mu\text{-}1,i)=(1,y_1(\mu\text{-}1,i),\ldots,y_n(\mu\text{-}1,i))$, μ=1,…,M, - расширенный входной вектор нейрона μ-го слоя (является выходом нейрона предыдущего слоя), здесь $y(0,i)=x(i)$ – входы сети» [4].

«Выход виртуального датчика в таком случае запишется в виде: $y(\mu,i)=F(net(\mu,i))$, i=1,…,$N\mu$; μ=1,…,M. При наличии на объекте автоматизации η датчиков, на вход итоговой нейронной сети Ψ будут поданы η нейросети, моделирующие виртуальные датчики» [5]:

$$\Psi(\mu_\psi,i_\psi) = F_\psi(w_0^{\mu\psi,i\psi} + \sum_{j=0}^{\eta} F_j(net(\mu_j, i_j)) \quad (2)$$

Согласно концепции «умного нефтесклада», технические характеристики резервуара (геометрические размеры, марка стали стенки резервуара) хранятся в базе данных и модерируются человеком-оператором. Целесообразнее обучить нейронную сеть самостоятельно распознавать резервуары и определять при помощи машинного зрения геометрические размеры резервуара, его расположение на складе, получать тепло-визуальную информацию поверхности резервуара.

В работе рассмотрено измерение геометрических размеров стального наземного цилиндрического резервуара компьютерным зрением.

Результаты и их обсуждение

Одним из начальных подходов применения бионического подхода в интерпретации машинного зрения было осуществлено через нейросетевое моделирование решением задачи по распознаванию образов по их фотографиям. Дальнейшее развитие применения нейронных сетей как метода машинного зрения во многом связано именно с решением проблем по зрительному восприятию и обучению компьютера «видеть».

В качестве начального массива данных, из которого получается смоделировать некоторое финальное изображение, принимается фото или видеопоток в форме некоторого вектора неупорядоченных данных – который является набором выполненных измерений физического объекта, который получен через видеокамеру. Видео или фото поток содержит в терминах компьютерного зрения изображение наземного горизонтального цилиндрического резервуара. Наименьшим элементом изображения в видео или фотопотоке будет являться пиксель, который составляет фактическое измерение устанавливаемой физической величины для объекта исследования. Поэтому, такие фото или видеопотоки являются также представлениями на уровне пикселя. В связи с этим, пиксели фото или видео изображения по соответствующим им

значениями интенсивностей организованы в массив, размерность которого зависит от природы данных. Несмотря на то, что пиксели упорядочены в этом массиве и то, что описания изображений представлений пиксельного уровня имеют визуальную информацию по исследуемой картинке, форма этих данных неудобна для автоматического анализа интеллектуальными системами и редко используются для распознавания или сопоставления изображений. В связи с этим, появляется необходимость получения релевантной информации, что возможно при привлечении других представлений изображений.

Фотоизображение стальных резервуаров с камеры машинного зрения «умного нефтесклада» приведено на рисунке 1.

Рисунок 1 - Фотоизображение с камеры машинного зрения стальных наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров.

Для того, чтобы применять функциональные модели фото или видеопотоки трактуются как функция из некоторого пространства (например, Гильбертова):

$$f : G \to V, G \subseteq R, V \subseteq R, \quad (3)$$

где G – область определения функции, а V – область ее значений. Значение m – размерность вектора физических величин, измеренных для каждой точки, а n – размерность изображения (как правило равная 2). Значение m для полутоновых изображений равно 1, а для цветных RGB изображений m равно 3.

При необходимости пространственного преобразования фото или видеопотока (вращение, масштабирование и т.д.) следует сменить систему координат в области G:

$$f_2(x') = f(g(x)), g : G \to G_2, \quad (4)$$

где g – функция, которая каждой точке из области определения G исходного изображения f ставит в соответствие точку в области определения G_2 преобразованного изображения f_2.

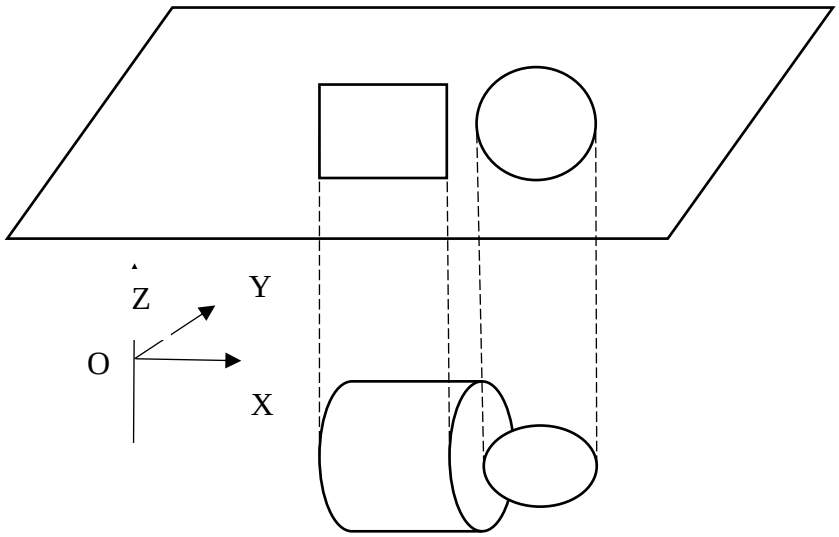


Рисунок 2 - Горизонтальный резервуар после пространственного преобразование изображения.

Далее необходимо путем сегментации контуров выполнить построение структурных элементов, а подобные описания относятся к классу структурных описаний. Часто используется описание контуров в виде аппроксимирующих их отрезков прямых и дуг эллипсов.

Пусть уравнение прямой $ax + by + c = 0$, тогда необходимо определить значения коэффициентов a, b и c, при которых прямая наиболее точно аппроксимирует набор точек $C = \{(x_i, y_i)\}^n_{i=1}$. Расстояние от i-й точки до прямой определим из выражения:

$$d = \frac{|ax_i + by_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Возникает необходимость минимизировать критерий:

$$D(a, b, c) = \sum_{i=1}^{n} \frac{(ax_i + by_i + c)^2}{a^2 + b^2} \quad (5)$$

Полученный в уравнении (5) критерий по параметрам a и b является нелинейным, поэтому на них необходимо наложить ограничения и решать задачу, которая позволит найти условный экстремум. Наиболее подходящим ограничением является $a^2 + b^2 = 1$, при котором необходимо минимизировать велечину:

$$D(a, b, c) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(ax_i + by_i + c)^2$$

Запишем решение этой задачи используя метод неопределенных множителей Лагранжа. Запишем целевую функцию

$$L(a, b, c, \lambda) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(ax_i + by_i + c)^2 - \lambda(a^2 + b^2 - 1) \quad (6)$$

Система уравнений дает необходимое условие экстремума:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial L(a,b,c)}{\partial a} = \dfrac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}(ax_i + by_i + c)x_i - 2\lambda a = 0 \\ \dfrac{\partial L(a,b,c)}{\partial b} = \dfrac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}(ax_i + by_i + c)y_i - 2\lambda b = 0 \\ \dfrac{\partial L(a,b,c)}{\partial c} = \dfrac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}(ax_i + by_i + c) = 0 \\ a^2 + b^2 = 1 \end{cases}$$

Несложные преобразования приводят систему уравнений к виду

$$\begin{cases} \left[\left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i^2)\right) - \lambda\right]a + \left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i y_i)\right)b + \left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i)\right)c = 0 \\ \left[\left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i^2)\right) - \lambda\right]b + \left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i y_i)\right)a + \left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i)\right)c = 0 \\ \left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i)\right)a + \left(\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i)\right)b + c = 0 \\ a^2 + b^2 = 1 \end{cases}$$

Значения x_i и y_i известны. Введем обозначения

$$M_{xx} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i^2)$$

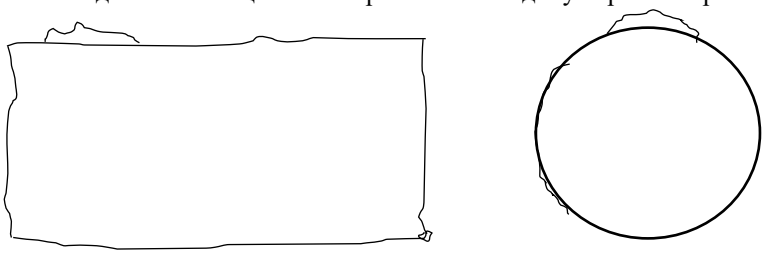
$$M_{yy} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i^2)$$

По аналогии M_x, M_y, M_{xy}. Далее путем преобразований получим выражение:

$$(M_{xx} - M_x M_y)(M_{xy} - M_x M_y) - (M_{yy} - M_y^2 - \lambda)(M_{xx} - M_x^2 - \lambda) = 0. \quad (7)$$

После решения данного уравнения относительно λ, необходимо подставить найденные значения в систему уравнений. Это приведет к системе линейных уравнений с нулевой правой частью и заданным ограничением $a^2 + b^2 = 1$, которое дает единственное решение для каждого из двух значений параметра λ. Одно значений λ отвечает за минимум, а второе – за максимум критерия D(a,b,c)). Таким образом, поставленная задача решена.

На рисунке 3 представлена аппроксимация контуров наземного горизонтального резервуара, содержащихся на изображении рисунка 1. Данные контуры получены с использованием приведенного выше метода минимизации СКО применяя методику отрезков прямых линий.



а) б)

Рисунок 3 - Аппроксимация контуров наземного горизонтального резервуара: а – вид спереди; б – вид сбоку.

Геометрические размеры полученного контура резервуара получаем при помощи геометрических преобразований линзы камеры по уравнению 4.

Получены результаты измерений наземного горизонтального резервуара нейронной сетью. Высота резервуара 2,05 м, длина резервуара 3,17 м, диаметр 2,25 м. Погрешность измерений составила 4,5%.

Выводы.

Таким образом, разработана система машинного зрения для «умного нефтесклада», которая позволяет идентифицировать и видеть резервуары и определять их геометрические размеры. Получены результаты измерения геометрических размеров резервуара по обработанному нейронной сетью изображению. Погрешность измерений составила 4,5%.

Список источников

1. Левин М.Ю. "Умный нефтесклад" как метод цифровизации в АПК [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю., Левина Л.В. // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 61. С. 58-62.

2. Потапов А.С. Системы компьютерного зрения. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 161 с.

3. Levin M.Yu. The method of constructing a neural network cascade for simulating virtual sensors in the concept of "smart" oil storage facility for agricultural purposes [Text] / Levin M.Yu., Levina E.Yu., Nagornov S.A. 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). p. 658-662

4. Левин М.Ю. Совершенствование технологии хранения светлых нефтепродуктов с использованием интеллектуального нефтесклада [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. 2019. № 6 (42). С. 84-91.

5. Левин М.Ю. Прогнозирование испарения моторного топлива при хранении с применением нейронных сетей АПК [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Инновационные технологии в науке и образовании. Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. 2018. С. 76-79.

References

1. Levin M.Yu. "Smart oil storage" as a method of digitalization in the agro-industrial complex [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A., Levina E.Yu., Levina L.V. // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2022. No. 61. S. 58-62.

2. Potapov A.S. Computer vision systems. Tutorial. - St. Petersburg: ITMO University, 2016. - 161 p.

3. Levin M. Yu. The method of constructing a neural network cascade for simulating virtual sensors in the concept of "smart" oil storage facility for agricultural purposes [Text] / Levin M.Yu., Levina E.Yu., Nagornov S.A. 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). p. 658-662

4. Levin M.Yu. Improving the technology of storing light oil products using an intelligent oil storage [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A., Levina E.Yu. // Science in Central Russia. 2019. №. 6 (42). p. 84-91.

5. Levin M.Yu. Forecasting the evaporation of motor fuel during storage using neural networks of the APK [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A. // Innovative technologies in science and education. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. 2018. p. 76-79.

Информация об авторах

М. Ю. Левин – доктор технических науч, профессор; С. А. Нагорнов – доктор технических наук; Е. Ю. Левина – кандидат технических наук, доцент; Л. В. Левина – кандидат физико-математических наук, доцент; И. А. Коваленко – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

M. Levin - Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Nagornov - Doctor of Technical Sciences; E. Levina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; L. Levina - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; I. Kovalenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 17.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 338.28
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-102-109

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОПЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Максим Юрьевич Левин[1], Станислав Александрович Нагорнов[2], Екатерина Юрьевна Левина[3], Любовь Владимировна Левина[4], Ирина Анатольевна Коваленко[5]
[1,4,5] *ЛГТУ, г. Липецк, Россия*
[2] *ВНИИТиН, г. Тамбов, Россия.*
[3] *МГТУ им. Н. Э. Баумана, 105005, г.Москва, Россия*
[1]lmu@list.ru

Автор ответственный за переписку: Максим Юрьевич Левин, lmu@list.ru
Corresponding author Maxim Levin, lmu@list.ru.

Реферат. *В работе рассмотрены и решены вопросы формирования алгоритмов и практических методов применения машинного зрения в концепции умного нефтесклада для определения температуры топлива как метода цифровизации в агропромышленном комплексе. «Умный нефтесклад» как метод цифровизации позволяет не просто аккумулировать локальную информацию о резервуарах с топливом, а управлять системами предотвращения потерь топлива, прогнозировать запасы, риски, возникновение аварийных ситуаций. Совершенствование концепции «умного нефтесклада» осуществляется за счет создания систем машинного зрения. Полученная система существенно повышает автономность работы интеллектуальных алгоритмов управления резервуарным парком и обеспечивает его безопасную работу. Принцип определения температуры топлива в резервуаре заключается в получении тепло-визуального снимка поверхности резервуара и дальнейшем сопоставлении области его температур с градуировкой тепловизора. Проблема сопоставления изображений решена с применением разных типов представлений, а именно корреляционных методов, базовая идея которых заключается в попиксельном сравнении изображений стенок резервуара с известной градуировкой тепловизора. Апробация созданного метода машинного зрения для определения температуры топлива «умным нефтескладом» выполнялась путем сравнения измеренных значений температуры бензина у стенки резервуара и рассчитанных нейронной сетью. Эксперимент проводили на стальном наземном горизонтальном цилиндрической резервуаре, заполненном бензином. Результаты эксперимента показали, что созданный метод позволяет нейронной сети видеть температуру топлива с точностью не ниже 98%. Применение изложенного метода в АПК направлено на решение взаимосвязанных экологических и энергетических проблем современности. Экономия энергетических ресурсов, сохранение качества ГСМ, снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу происходит за счет интеллектуального управления системами защиты топлива, а применение метода машинного зрения повышает точность такого управления.*

Ключевые слова: *умный нефтесклад, машинное зрение, стальной резервуар, температура топлива. тепловизор.*

FUEL TEMPERATURE MEASUREMENT METHOD USING MACHINE VISION

Maxim Yuryevich Levin[1], Stanislav Alexandrovich Nagornov[2], Ekaterina Yuryevna Levina[3], Lyubov Vladimirovna Levina[4], Irina Anatolyevna Kovalenko[5]
[1,4,5] *LGTU, Lipetsk, Russia*
[2] *VNIITiN, Tambov, Russia*
[3] *MSTU im. N. E. Bauman, Moscow, Russia*
[1]lmu@list.ru

Abstract. *The paper considers and solves the issues of the formation of algorithms and practical methods for the application of machine vision in the framework of an intelligent oil storage facility to measure the fuel temperature as a digitalization method in the agro-industrial facility. "Smart oil depot" as a digitalization method allows not only to accumulate local information about fuel tanks, but to manage fuel loss prevention systems, predict reserves, risks, and emergencies. Improving the framework of "intelligent oil storage" is carried out through the creation of machine vision systems. The resulting system significantly increases the autonomy of the intelligent algorithms for managing the tank farm and ensures its safe operation. The principle of measuring the temperature of the fuel in the tank is to obtain a thermal-visual image of the tank surface and then compare its temperature range with the calibration of the thermal imager. The problem of image matching is solved using different types of representations, namely, correlation methods, the basic idea of which is to compare the tank wall images pixel-by-pixel with the known thermal imager calibration. Approbation of the created machine vision method for determining the fuel temperature by the "smart oil depot" was carried out by comparing the determined values of gasoline temperature at the tank wall and those calculated by the neural network. The experiment was conducted on a steel ground horizontal cylindrical tank filled with gasoline. The experiment results reflect that the created method allows the neural network to see the temperature of the fuel with an accuracy of at least 98%. The application of the above method in the agro-industrial facility is aimed at solving the interrelated environmental and energy problems of our time. Saving energy resources, maintaining the quality of fuels and lubricants, reducing pollution of the atmosphere is due to the intelligent control of fuel protection systems, and the use of the machine vision method increases the accuracy of such control.*

Keywords: *smart oil depot, machine vision, steel tank, fuel temperature, thermal imager*.

Для цитирования: Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю., Левина Л.В., Коваленко И.А. Метод измерения температуры топлива с применением машинного зрения // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 102-109. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-102-109.

For citation: Levin M., Nagornov S., Levina E.., Levina L., Kovalenko I.A. Fuel temperature measurement method using machine vision. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 102-109. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-102-109.

Введение. В настоящее время остро стоит проблема цифровизации сельского хозяйства. Внедрение цифровых технологий в агропромышленном комплексе позволит повысить экономическую эффективность и стабильность функционирования всех уровней его иерархии за счет трансформации и оцифровки управленческих решений для технологических процессов и систем принятия решений, в основы которого положено внедрение современных цифровых технологий в сельское хозяйство. В настоящее время цифровая трансформация нефтесклада является архиважной задачей не только для сельского хозяйства, но и для автотранспортных предприятий, автозаправочных станций и других отраслей, которые используют резервуары для хранения моторного топлива. «Умный нефтесклад» как метод цифровизации позволяет не просто аккумулировать локальную информацию о резервуарах с топливом, а управлять системами предотвращения потерь топлива, прогнозировать остатки, риски, аварии.

«Умный нефтесклад» включает в себя математические модели и искусственные нейронные сети для прогнозирования и классификации различных состояний системы, позволяющие оцифровать процесс хранения моторного топлива в резервуаре. Опираясь на расчетные данные, пользователь либо роботизированные системы управления совершают действия по предотвращению выбросов углеводородов в атмосферу. Цифровое решение «Умный нефтесклад» для АПК как совокупная система, соединяющую сбор, хранение и обработку данных, математические модели прогнозирования состояний системы, нейросетевые методы управления техническими устройствами, выполняет следующие задачи [1]:

1. Управление роботизированными системами предотвращения потерь моторного топлива от испарения и обводнения.

2. Прогнозирование требуемых запасов моторного топлива с применением технологий BigData, облачных хранилищ данных и нейронных сетей.

3. Оценка рисков в работе сельхознефтесклада и прогнозирование возникновение аварий.

4. Мониторинг в режиме реального времени состояния резервуаров и нефтехозяйства при помощи мобильных данных и устройств.

Выполнение вышеперечисленных задач достигается за счет управления нейронной сетью и математическими моделями прогнозирования параметров состояния резервуара устройствами защиты от испарения и обводнения. Одним из главных параметров в управляющей модели является температура топлива. Как известно, математические модели имеют определенные допуски и погрешности, поэтому, чтобы их исключить и повысить автономность работы «умного нефтесклада», необходимо научить управляющий компьютер «видеть» температуру топлива в резервуаре. Решение данной задачи возможно за счет технологий машинного зрения [2] и является весьма актуальной на сегодняшний день.

Материалы и методы.

«Умный нефтесклад» определяет температуру топлива за счет виртуального датчика, построенного на базе искусственной нейронной сети [3.4].

Запишем уравнение определения температуры топлива в резервуаре в некоторой точке *x*:

$$T_x = F(\overline{w}_R R + \overline{w}_m m + \sum \overline{w}_\Psi * \Psi + \overline{w}_{\text{ОЧ}} \text{ОЧ}) \quad (1)$$

где Ψ – вектор переменных окружающей среды; R – вектор параметров резервуара; m – масса топлива в резервуаре; ОЧ – октановое число; $\overline{w}_R, \overline{w}_m, \overline{w}_\Psi, \overline{w}_{\text{ОЧ}}$ - векторы весовых коэффициентов параметров резервуара, массы топлива, окружающей среды, октанового числа соответственно; F – функция активации нейрона.

С учетом функции активации нейрона уравнение (1) нейронной сети, описывающее испарение бензина при хранении в резервуаре запишется в виде:

$$G = 1{,}7159 \cdot \text{th}\left(\frac{2}{3} \cdot \left(w_0^{\mu,j} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot R + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot m + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \Psi + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)} \cdot \text{ОЧ}\right)\right) \quad (2)$$

Точность данного уравнения зависит от подбора весовых коэффициентов нейронов, количества слоев и нейронов в каждом слое сети.

Чтобы повысить точность измерения температуры топлива целесообразнее обучить нейронную сеть самостоятельно получать тепло-визуальную информацию с поверхности резервуара, то есть создать такую систему машинного зрения, которая позволит автономно и в непрерывном режиме выполнять мониторинг состояния искомого параметра.

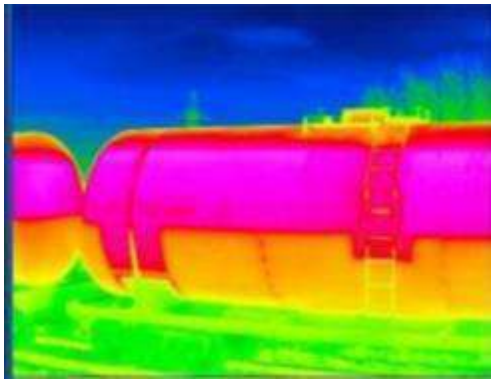
Результаты и их обсуждение.

Для получения тепло-визуальной информации у камеры машинного зрения «умного нефтесклада» должен быть тепловизор. На рисунке 1 приведен снимок резервуаров с камеры машинного зрения «умного нефтесклада», его тепло-визуальный снимок и градуировка тепловизора.

Рассмотрим один резервуар. После получения тепло-визуального снимка резервуара необходимо сопоставить области его температур с градуировкой тепловизора. Задача сопоставления изображений решается различными методами и с привлечением разных форм представлений (например, математические или представления знаний). Наиболее распространенными методами сопоставления являются корреляционные методы, основная идея которых состоит в сравнении каждого пикселя изображений, однако, в реализации этих методов возможна значительная вариативность. В простейшем случае выявление меры сходства двух изображений определяется как функция взаимного смещения (Δx, Δy) и рассчитывается как среднеквадратичное отклонение яркостей соответствующих пикселей, учитывающее их величины смещения, возведенное в квадрат [2]:

$$\sum_{f1,f2}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f_1(x,y) - f_2(x - \Delta x, y - \Delta y))^2 \quad (3)$$

а)



б)

в)

Рисунок 1 - Снимок наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров: а - снимок резервуаров с камеры машинного зрения «умного нефтесклада»; б - тепло-визуальный снимок резервуаров; в - градуировка тепловизора.

В формуле (3) f_1 и f_2 – отличающиеся сдвигом изображения одного и того же объекта; N_xN – величина участка, в котором вычисляется корреляция. При отсутствии яркостных изменений и/или других геометрических преобразований подобный подход определяет взаимные смещения двух изображений. Значение $\sum_{f1,f2}(\Delta x, \Delta y)$ преобразуем к следующему виду:

$$\sum_{f1,f2}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{N^2}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} f_1^2(x,y) - \frac{2}{N^2}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} f_1(x,y) f_2(x-\Delta x, y-\Delta y) + \frac{1}{N^2}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} f_2(x-\Delta x, y-\Delta y) \quad (4)$$

Полагая первое и второе слагаемое не зависящими от смещения, получаем, что эквивалент максимизации значения корреляции — это минимизация критерия среднеквадратического отклонения уравнения (3):

$$C_{f1,f2}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{N^2}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} f_1(x,y) f_2(x-\Delta x, y-\Delta y) \quad (5)$$

Легко удостоверится, что не меняется положение корреляционного максимума при линейном глобальном преобразовании яркости $\alpha f_1(x, y) + \beta$, однако, стоит учитывать, что максимум превращается в минимум при $\alpha < 0$. Используя данный подход, возможно сопоставлять два изображения при линейных глобальных искажениях яркости. Положим, что смещения Δx и Δy имеют значения от –N до N, тогда, число операций будет пропорционально N^4 при вычислении кросскорреляционного поля по формулам (3) или (4). Для уменьшения времени расчета за счет сокращения количества операций воспользуемся быстрым преобразованием Фурье и тем фактом, что Фурье-образ кросскорреляционного поля может быть получен как произведение спектров изображений. Прямое и обратное дискретные преобразования Фурье вычисляются по уравнению:

$$\tilde{f}(u,v) = \sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-i\frac{2\pi}{N}(ux+vy)}$$

$$f(x,y) = \frac{1}{N^2}\sum_{u=0}^{N-1}\sum_{v=0}^{N-1} \tilde{f}(u,v) e^{i\frac{2\pi}{N}(ux+vy)} \quad (6)$$

где u и v – пространственные частоты.

Число операций при расчёте пространственного спектра по этим формулам также пропорционально N^4, однако применение алгоритма быстрого преобразования Фурье даёт вычисление за время, пропорциональное $N^2 \ln N$.

После определения температуры поверхности резервуара запишем алгоритм определения температуры топлива в любой точке резервуара.

Нагрев стенки резервуара под воздействием внешней среды запишем в дифференциальном виде:

$$Q = \frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \tag{7}$$

где Q – теплота, Дж; T – температура стенки, К; x – расстояние, мм. В модели отсутствуют внутренние источники теплоты.

Зададим граничные условия 1 рода:

$$x = 0 \qquad T = T_o = f_1(\tau)$$
$$x = s \qquad T = T_s = f_2(\tau)$$

Происходит непрерывный замер значений величин $f_1(\tau)$ и $f_2(\tau)$.

Для решения задачи распределения температур по толщине стенки резервуара s в линейной области для декартовой системы координат применялся метод интегральных преобразований Фурье.

Обозначим $\Theta = T - T_c$, тогда уравнение (7) примет вид

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \tag{8}$$

При $\tau = 0$, $\Theta = 0$;

$$x = 0,\ \Theta = f_1(\tau) = T_0 - T_c = f_1(\tau) - T_c;$$
$$x = s,\ \Theta = f_2(\tau) = T_s - T_c = f_2(\tau) - T_c.$$

Сущность метода заключается в том, что вместо непосредственного определения функции $\Theta(x,\tau)$ ищем предварительно ее интегральное преобразование $\overline{\Theta}(n,\tau)$, уже независящее от x.

Применим к нашему уравнению метод конечного интегрального преобразования синус-трансформанты Фурье. Найдем решение задачи (8) с помощью преобразования Фурье по переменной x, полагая

$$\overline{\Theta}(n,\tau) = \int_0^s \Theta(x,\tau) \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx, \tag{9}$$

где n = 1, 2, 3…., целые числа .

Для этого умножим обе части уравнения (9) на ядро преобразования и проинтегрируем по x от 0 до s

$$\int_0^s \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \alpha \int_0^s \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx \tag{10}$$

В левой части равенства (10) дифференциал и интеграл берется по независимым переменным, поэтому

$$\int_0^s \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \frac{\partial}{\partial \tau} \int_0^s \Theta(x,\tau) \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \frac{d\Theta(n,\tau)}{d\tau}$$

В правой части равенства (10) вычислим интеграл, применяя дважды формулу интегрирования по частям и используя граничные условия (8)

$$\int_0^s \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx =$$
$$\frac{\partial \Theta}{\partial x} \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) \Big|_0^s - \frac{\pi n}{s} \int_0^s \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \cos\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = -$$
$$\frac{\pi n}{s} \Theta \cos\left(\frac{\pi n x}{s}\right) \Big|_0^s - \left(\frac{\pi n}{s}\right)^2 \int_0^s \Theta(x,\tau) \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = \frac{\pi n}{s} [f_1(\tau) - (-1)^n f_2(\tau)] - \left(\frac{\pi n}{s}\right)^2 \overline{\Theta}(n,\tau).$$

Таким образом, вторая частная производная преобразована в искомую функцию. Тем самым запишем упрощенное уравнение теплопроводности

$$\frac{d\overline{\Theta}(n,\tau)}{d\tau} + \frac{\alpha \pi^2 n^2}{s^2} \overline{\Theta}(n,\tau) = \frac{\alpha \pi n}{s} [f_1(\tau) - (-1)^n f_2(\tau)] \tag{11}$$

Наряду с преобразованием нашего дифференциального уравнения (8) следует преобразовать и начальное условие (учитывая при этом, что при $\tau = 0$, $\Theta = 0$)

$$\overline{\Theta}(n,0) = \int_0^s \Theta \sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) dx = 0\ .$$

Решение уравнения (2.12) имеет следующий вид

$$\overline{\Theta}(n,\tau) = \frac{\alpha\pi n}{s}\int_0^\tau exp\left[-\alpha\left(\frac{\pi n}{s}\right)^2(1-\tau)\right][f_1(\tau)-(-1)^n f_2(\tau)]d\tau = 0\,.$$

Окончательно получим выражение для нашей искомой функции, используя формулу обращения для преобразования (9)

$$\Theta(x,\tau) = \frac{2}{s}\sum_{n=1}^{k}\overline{\Theta}(n,\tau)\sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) =$$

$$= \frac{2}{s}\sum_{n=1}^{k}\sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right)\frac{\alpha\pi n}{s}exp\left(\frac{\alpha\pi^2 n^2}{s^2}\tau\right)\int_0^\tau exp\left(\frac{\alpha\pi^2 n^2}{s^2}t\right)[f_1(t)-(-1)^n f_2(t)]dt$$

Применительно к решению краевой задачи нестационарной теплопроводности для горизонтального цилиндра при граничных условиях первого рода на его поверхности x=0 и x = s, окончательно имеем

$$\Theta(x,\tau) = \frac{2}{s}\sum_{n=1}^{k}\sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right)\frac{\alpha\pi n}{s}exp\left(\frac{\alpha\pi^2 n^2}{s^2}\tau\right)\int_0^\tau exp\left(\frac{\alpha\pi^2 n^2}{s^2}\tau\right)[f_1(\tau)-(-1)^n f_2(\tau)]d\tau -$$
$$\frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{k}\frac{1}{n}[f_1(\tau)-(-1)^n f_2(\tau)]\sin\left(\frac{\pi n x}{s}\right) + f_1(\tau)\left(1-\frac{x}{s}\right) + f_2(\tau)\frac{x}{s}\,. \quad (12)$$

Переходим к определению коэффициентов теплоотдачи от стенок резервуара к хранимому топливу. Количество теплоты, отводимое с площади поверхности за промежуток времени $q = \alpha(T_s - T_c)$, равняется теплоте, которая подводится к площади поверхности за промежуток времени вследствие теплопроводности стенок стального резервуара, т.е. $q = -\lambda\, {dT}/{dn}$.

Таким образом

$$\alpha(T_s - T_c) = -\lambda\frac{d\Theta}{dx}, \text{ откуда } \alpha = -\lambda\frac{d\Theta/dx}{(T_s - T_c)}$$

Продифференцировав уравнение (12), найдем $d\Theta/dx$ для значения x = s. Окончательно искомое уравнение для определения коэффициентов теплоотдачи α от стенок резервуара к бензину, будет иметь следующий вид

$$\alpha = \frac{-\lambda\left\{\frac{2\pi^2}{s^3}\sum_{n=1}^{k}\mathrm{n}^2(-1)^n exp\left(\frac{\pi^2 n^2}{s^2}\tau\right)\int_0^\tau exp\left(\frac{\pi^2 n^2}{s^2}t\right)[f_1(t)-(-1)^n f_2(t)]dt\right\}}{(T_s - T_c)} -$$
$$-\frac{\left\{\frac{2}{s}\sum_{n=1}^{k}\mathrm{n}^2(-1)^n[f_1(\tau)-(-1)^n f_2(\tau)] + \frac{f_2(\tau)-f_1(\tau)}{s}\right\}}{(T_s - T_c)}; \quad (13)$$

здесь n = 1, 2, 3…k.

Для стационарного режима уравнение (13) упрощается в уравнение

$$\alpha = \frac{\lambda}{s}\frac{f_1(\tau)-f_2(\tau)}{f_2(\tau)-T_c}. \quad (14)$$

Данное уравнение позволяет рассчитать количество теплоты, переданного от стенки резервуара хранимому моторному топливу в любой точке.

В интерпретации рассмотренного метода запишем уравнение нейронной сети запишем в виде [5]:

$$\alpha = F(w\cdot\lambda + w\cdot s + w\cdot f_1(\tau) + w\cdot f_2(\tau) + w\cdot Tc + \sum w * \Psi) \quad (15)$$

где F – функция активации нейрона, w – вектор весовых коэффициентов, Ψ – вектор переменных окружающей среды.

В работе выбран гиперболический тангенс как функция активации нейронов, с учетом данного условия уравнение нейронной сети, характеризующее теплообмен стенки резервуара с бензином, запишется в виде:

$$\alpha = 1{,}7159\cdot\mathrm{th}\left(\frac{2}{3}\cdot\cdot\left(w_0^{\mu,j} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)}\cdot\lambda + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)}\cdot s + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)}\cdot f_1^{(\mu-1,j)}(\tau) + \right.\right.$$
$$\left.\left.\sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)}\cdot f_2^{(\mu-1,j)}(\tau) + + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)}\cdot T_c^{(\mu-1,j)} + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)}\cdot f_1^{(\mu-1,j)}(\tau) + \sum_{j=1}^{N_{\mu-1}} w_j^{(\mu,j)}\cdot\Psi\right)\right) \quad (16)$$

Апробация созданного метода машинного зрения для определения температуры топлива «умным нефтескладом» проведена путем сравнения данных эксперимента и рассчитанных

нейронной сетью. Эксперимент проводили на резервуаре, заполненном бензином. Проводился замер температуры окружающего воздуха, бензина в резервуаре, атмосферного давления. Результаты экспериментальных и расчетных значений температура топлива у стенки резервуара приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных и расчётных значений температуры бензина в резервуаре

Время, ч	Температура замер, °С	Температура расчёт нейросетью, °С	Точность расчета,%
8:00	20	20	100%
9:00	23	24	99%
10:00	24	25	99%
11:00	28	27	101%
12:00	30	31	99%
13:00	35	34	99%
14:00	38	37	99%
15:00	42	44	98%
16:00	45	46	99%
17:00	48	52	96%

Созданный метод позволяет нейронной сети видеть температуру топлива с точностью не ниже 98%.

Заключение.

Созданная система обучения «умного нефтесклада» может самостоятельно получать тепловизуальную информацию с поверхности резервуара с применением нейронной сети и машинного зрения, и позволять автономно и в непрерывном режиме выполнять мониторинг температуры топлива. Разработанный метод позволяет нейронной сети видеть температуру топлива с точностью не ниже 98%.

Список источников

1. Левин М.Ю. "Умный нефтесклад" как метод цифровизации в АПК [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю., Левина Л.В. // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 61. С. 58-62.

2. Потапов А.С. Системы компьютерного зрения. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 161 с.

3. Levin M.Yu. The method of constructing a neural network cascade for simulating virtual sensors in the concept of "smart" oil storage facility for agricultural purposes [Text] / Levin M.Yu., Levina E.Yu., Nagornov S.A. 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). p. 658-662

4. Левин М.Ю. Совершенствование технологии хранения светлых нефтепродуктов с использованием интеллектуального нефтесклада [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. 2019. № 6 (42). С. 84-91.

5. Левин М.Ю. Прогнозирование испарения моторного топлива при хранении с применением нейронных сетей АПК [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Инновационные технологии в науке и образовании. Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. 2018. С. 76-79.

References

1. Levin M.Yu. "Smart oil storage" as a method of digitalization in the agro-industrial complex [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A., Levina E.Yu., Levina L.V. // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2022. No. 61. S. 58-62.

2. Potapov A.S. Computer vision systems. Tutorial. - St. Petersburg: ITMO University, 2016. - 161 p.

3. Levin M. Yu. The method of constructing a neural network cascade for simulating virtual sensors in the concept of "smart" oil storage facility for agricultural purposes [Text] / Levin M.Yu., Levina E.Yu.,

Nagornov S.A. 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). p. 658-662

4. Levin M.Yu. Improving the technology of storing light oil products using an intelligent oil storage [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A., Levina E.Yu. // Science in Central Russia. 2019. No. 6 (42). pp. 84-91.

5. Levin M.Yu. Forecasting the evaporation of motor fuel during storage using neural networks of the APK [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A. // Innovative technologies in science and education. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. 2018. S. 76-79.

Информация об авторах

М. Ю. Левин – доктор технических науч, профессор; С. А. Нагорнов – доктор технических наук; Е. Ю. Левина – кандидат технических наук, доцент; Л. В. Левина – кандидат физико-математических наук, доцент; И. А. Коваленко – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

M. Levin - Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Nagornov - Doctor of Technical Sciences; E. Levina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; L. Levina - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; I. Kovalenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 17.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-110-119

МЕТОД РАСЧЕТА УСТАНОВОК ИНФРАКРАСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Роман Иннакентьевич Ли[1], Юлия Николаевна Ризаева[2], Андрей Николаевич Быконя[3], Дмитрий Николаевич Псарев[4], Мария Романовна Киба[5]
[1,2,3]Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия
[4]Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия
[5]Санкт-Петербургский государственный горный университет», г. Санкт-Петербург, Россия
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2] https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3] https://orcid.org/0000-0001-9609-9620
[4] https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Автор ответственный за переписку: Ли Роман Иннакентьевич, romanlee@list.ru
Corresponding author: Roman Li, romanlee@list.ru

Реферат. *Применение полимерных покрытий для восстановления изношенных подшипниковых отверстий в корпусных деталях автотракторной техники обеспечивает многократное увеличение их ресурса, снижение затрат на ремонт, повышение надежности. Наиболее высокая эффективность достигается при нанесении эластомерных покрытий. Для вулканизации материала и достижения высоких механических свойств покрытие, после нанесения, подвергается термической обработке конвективным или терморадиационным способами. Покрытия после обработки терморадиационным способом, по сравнению с конвективным, обладают существенно меньшей пористостью и более высоким качеством. Разработана модель инфракрасного нагрева корпусных деталей типа I (корпуса коробок передач, корпуса раздаточных коробок автомобилей и тракторов), которая учитывает теплоёмкость материала и конструктивные параметры детали, температуру окружающей среды и установившуюся температуру детали при нагреве, конструктивные параметры установки инфракрасного излучения. Модель позволяет рассчитать скорость повышения температуры и время нагрева детали до необходимой температуры посредством инфракрасного нагрева. В статье подробно описывается алгоритм и приведена компьютерная программа расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий, нанесенных при восстановлении подшипниковых отверстий в корпусных деталях техники. Нагрев корпусов коробок передач автомобилей ГАЗ-24 и ГАЗ-53А показал высокое совпадение расчетных и экспериментальных значений параметров инфракрасного нагрева. Различие фактической температуры нагрева корпусной детали от расчетной составляет от 1,5 до 2,4%, времени нагрева – от 6,1 до 8,2%, что является подтверждением корректности разработанного метода расчета конструктивных и технологических параметров инфракрасных установок. Проведена экспериментальная оценка качества эластомерных покрытий после термической обработки различными способами. В сравнении с конвективным способом, после инфракрасной обработки качество покрытий эластомера Ф-40С повысилось: площадь разрушенного покрытия уменьшилась в 1,33 раза, концентрация пор в покрытии – в 1,24 раза.*

Ключевые слова: *корпусная деталь, износ, эластомерное покрытие, инфракрасный нагрев, установка, метод расчета, конструкция, режим, дефектность.*

METHOD OF CALCULATION OF INFRARED TREATMENT UNITS OF POLYMER COATINGS DURING BODY RECOVERY COMPONENTS OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

Roman Li[1], Yulia Rizaeva[2], Andrew Bykonya[3], Dmitry Psarev[4], Maria Kiba[5]
[1, 2, 3]*Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia*
[4]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[5]*St. Petersburg State Mining University», St. Petersburg, Russia*
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2] https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3] https://orcid.org/0000-0001-9609-9620
[4] https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Abstract. *Application of polymer coatings for restoration of worn-out bearing holes in housing parts of automotive equipment provides multiple increase of their service life, reduction of repair costs, improvement of reliability. The highest efficiency is achieved by applying elastomeric coatings. To cure the material and achieve high mechanical properties, the coating, after application, is subjected to thermal treatment by convective or thermoradiation methods. Coatings after treatment by a thermoradiation method, in comparison with convective, have significantly lower porosity and higher quality. A model of infrared heating of type I body parts (gearbox housing, car and tractor transfer case housing) has been developed, which takes into account the heat capacity of the material and the design parameters of the part, the ambient temperature and the steady temperature of the part during heating, the design parameters of the infrared radiation installation. The model allows you to calculate the rate of temperature increase and the time of heating the part to the required temperature by infrared heating. The article describes in detail the algorithm and provides a computer program for calculating the structural and technological parameters of the infrared processing plant for elastomeric coatings applied during the restoration of bearing holes in the body parts of the equipment. Heating of the gearbox housings of GAZ-24 and GAZ-53A cars showed a high coincidence of the design and experimental values of infrared heating parameters. The difference between the actual heating temperature of the body part and the design temperature is from 1.5 to 2.4%, the heating time is from 6.1 to 8.2%, which is a confirmation of the correctness of the developed method for calculating the structural and technological parameters of infrared installations. An experimental assessment of the quality of elastomeric coatings after heat treatment by various methods was carried out. Compared to the convective method, after infrared treatment, the quality of elastomer coatings increased F-40S: the area of the destroyed coating decreased by 1.33 times, the concentration of pores in the coating - by 1.24 times.*

Keywords: *body part, wear, elastomeric coating, infrared heating, installation, calculation method, design, mode, defect.*

Для цитирования: Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Быконя А.Н., Псарев Д.Н., Киба М.Р. Метод расчета установок инфракрасной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автотракторной техники // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 110-119. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-110-119.

For citation: Li R., Rizaeva Y., Bykonya A., Psarev D., Kiba M. Method of calculation of infrared treatment units of polymer coatings during body recovery components of automotive equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 110-119. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-110-119.

Введение. Эффективность работы агропромышленных предприятий России существенным образом характеризуется показателями цены на производимую продукцию. Финансовые затраты на техническую эксплуатацию автомобилей и тракторов являются значимой статьей при формировании себестоимости сельскохозяйственной продукции. Эти затраты существенно

снижаются при восстановлении изношенных деталей. Максимальный экономический и технический эффект наблюдается в случае восстановления корпусных деталей. Эти детали отличаются большой материалоемкостью и ценой, а затраты на их восстановление не велики.

Современные технологии восстановления позволяют компенсировать повышенные значения износов, многократно увеличивать ресурс детали и, соответственно повышать надежность узлов и агрегатов машины [1 - 5].

Восстановление подшипниковых отверстий в корпусных деталях эластомерными покрытиями отличается простотой технологии и низкими затратами, многократно увеличивает ресурс подшипниковых узлов [6 - 10].

Для вулканизации материала и достижения высоких механических свойств покрытие, после нанесения, подвергается термической обработке конвективным способом. К основным недостаткам конвективного способа термической обработки следует отнести повышенную энергоемкость способа, стационарность, повышенную материалоемкость и громоздкость нагревательного оборудования, относительно высокую пористость обработанных покрытий. Терморадиационный способ сушки, по сравнению с конвективным, выгодно отличается пониженным энергопотреблением, мобильностью оборудования, значительно меньшей пористостью и более высоким качеством эластомерных покрытий [11 - 13].

Авторами разработаны математическая модель инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей [14] и метод расчета параметров нагрева этих деталей [15]. Последующие теоретические исследования привели к разработке математической модели инфракрасного нагрева корпусных деталей автотракторной техники: корпуса коробки передач и раздаточной коробки [16]. На основе модели разработан метод, включающий алгоритм и компьютерную программу расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий при восстановлении этих (исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-90227/19).

Результаты и обсуждение.

Алгоритм расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий в корпусной детали

Алгоритм расчета состоит из следующих операций:

1. Исходные данные для расчета: $M_{КД}$ – масса корпусной детали, кг; h, z, l – высота, ширина и длина детали, м; w – толщина стенки детали, м; C_v – теплоёмкость материала детали, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$; λ – коэффициент теплопроводности материала детали; $\frac{Вт}{м \cdot К}$; ρ – плотность материала, кг/м^3; ε – степень черноты серого тела, для чугуна ε = 0,60…0,70, для алюминия $\varepsilon = 0{,}21...0{,}30$; C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, C_0 =5,67 $\frac{Вт}{м^2К^4}$; T_1 –температура термической обработки полимерных покрытий в корпусной детали, К; T_0 – температура окружающей среды, К; d – приведенный диаметр отверстий под подшипники, м; конструктивные параметры инфракрасных излучателей, которые выбираются из базы данных для расчета: $Q_{излi}$ – мощность i-го излучателя электрическая, Вт; μ_i – КПД i-го излучателя; φ_i – угол рассеивания отражателя, рад; $L_{излi}$ – длина i-го излучателя, м; где $i = 1...n$ – порядковый номер излучателя в базе данных для расчета.

2. Выбор i-го излучателя, для нагрева по ширине z торцевой части детали, на основе условия $L \geq z$ с использованием оператора цикла.

3. Определение экспериментального значения константы нагрева $H_{эксп}$ для восстанавливаемой корпусной детали.

4. Определение общей площади поверхности детали по выражению $F = 4h(l+z) + 2zl - \frac{\pi d^2}{4}$, м^2.

5. Определение коэффициента теплоотдачи детали при свободной конвекции по выражению

$$k_{\text{КД}} = \frac{C_v M_{\text{КД}}}{H_{\text{эксп}} F} - \frac{\varepsilon C_0}{25}\left(\frac{T_1}{100}\right)^3 .$$

6. Расчет коэффициентов a и b по формулам:

$$a = \frac{\varepsilon C_0}{10^8} \text{ и } b = \sqrt{\frac{2\left(k_{\text{КД}} + 4aT_0^{\,3}\right)}{\lambda w}}$$

7. Определение градиента температуры вдоль боковой стенки детали по выражению

$$T_{\text{ст}} = T_0 + \frac{T_1 - T_0}{\text{sh}(bl)}\left\{ \text{sh}(bx) + \text{sh}\left[\ b(l-x)\ \right] \right\},$$

где x – переменная, изменяющаяся вдоль длины боковой стенки, $0 \le x \le l$.

8. Расчет теплового потока q_1, необходимого для нагрева двух торцевых стенок корпусной детали

$$q_1 = \frac{(T_1 - T_0) M C_v}{H_{\text{эксп}}},$$

где M – масса двух торцевых стенок, $M = 2zhw\rho$, кг.

9. Расчет теплового потока $q_{\text{бокст2}}$, передаваемого боковой стенке детали в ходе установившегося режима нагрева:

$$q_{\text{бокст2}} = 2\left[\int_0^l \varepsilon C_0\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4 h\text{d}x + \int_0^l k_{\text{КД}}(T_{\text{ст}} - T_0) h\text{d}x\right]$$

10. Определение теплового потока $q_{\text{нижст2}}$, передаваемого нижней стенке в ходе установившегося режима нагрева:

$$q_{\text{нижст2}} = 2\int_0^l \varepsilon C_0\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4 z\text{d}x + \int_0^l k_{\text{КД}}\left(T_{\text{ст}} - T_0\right) z\text{d}x$$

11. Расчет суммарного теплового потока q_2, передаваемого двум боковым и нижней стенкам детали в ходе установившегося режима нагрева:

$$q_2 = 2q_{\text{бокст2}} + q_{\text{нижст2}}$$

12. Определение расстояния от излучателя до детали L, обеспечивающего облучение торцевой стенки детали по высоте h по формуле

$$L = \frac{h \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha_0}{2}\right)}{2}$$

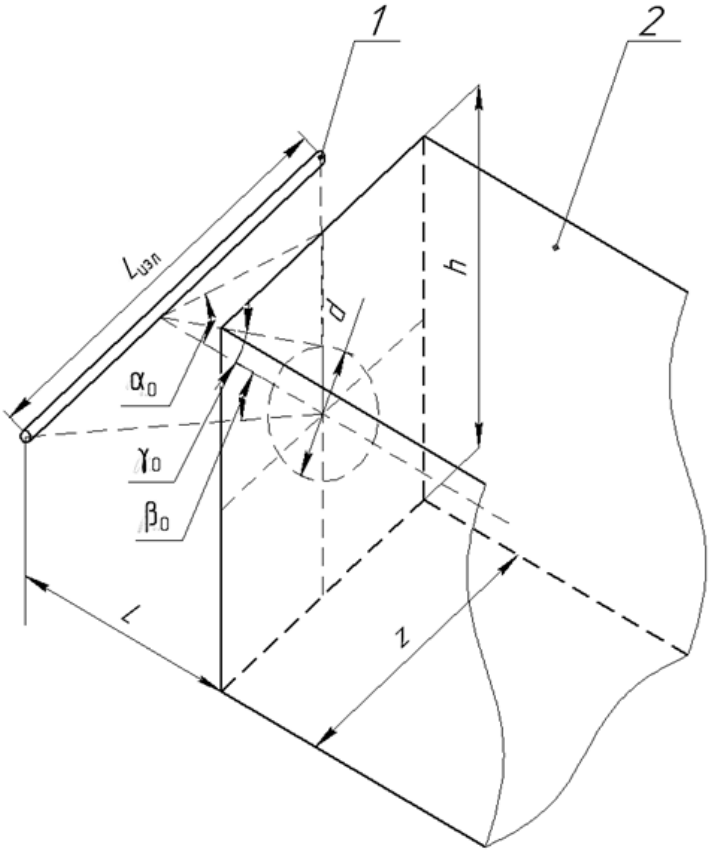
13. Расчет значения допускаемого теплового потока при нагреве корпусной детали до значения установившейся температуры по выражению

$$[q] = q_1 + q_2 .$$

14. Выбор по конструктивным параметрам j-го инфракрасного излучателя (рисунок 1), который обеспечит тепловой поток, равный допускаемому тепловому потоку $[q]$, с использованием оператора цикла и формулы (1)

$$q_{\text{изл}} = 2\left[\frac{4\mu\varepsilon Q_{\text{изл}}\sin(\beta_0)z\alpha_0}{l\varphi} - \frac{8\mu Q_{\text{изл}}\sin(\beta_0)}{l\varphi}\int_0^{\gamma_0}\sqrt{\frac{d^2}{4}-(L\text{tg}\gamma)^2}\,\text{d}\gamma\right], \qquad (1)$$

где α_0 – предельное значение угла α (рисунок 2), $\alpha_0 = \text{arctg}\left(\frac{D}{2L}\right)$; β_0 – предельное значение угла β (рисунок 2), $\beta_0 = \text{arctg}\left(\frac{l}{2L}\right)$, рад; $\gamma_0 = \text{arctg}\left(\frac{d}{2L}\right)$.



1 – инфракрасный излучатель; 2 – корпусная деталь; $\angle\alpha_0$ – предельный угол падения инфракрасного луча на поверхность корпусной детали в вертикальной плоскости; $\angle\beta_0$ – угол обзора инфракрасного излучателя из центра корпусной детали в горизонтальной плоскости; $\angle\gamma_0$ – угол обзора отверстия в корпусной детали из центра излучателя в вертикальной плоскости; L – расстояние от инфракрасного излучателя до корпусной детали; $L_{изл}$ – длина инфракрасного излучателя; h – высота корпусной детали; z – ширина корпусной детали

Рисунок 1 - Инфракрасный нагрев [16]

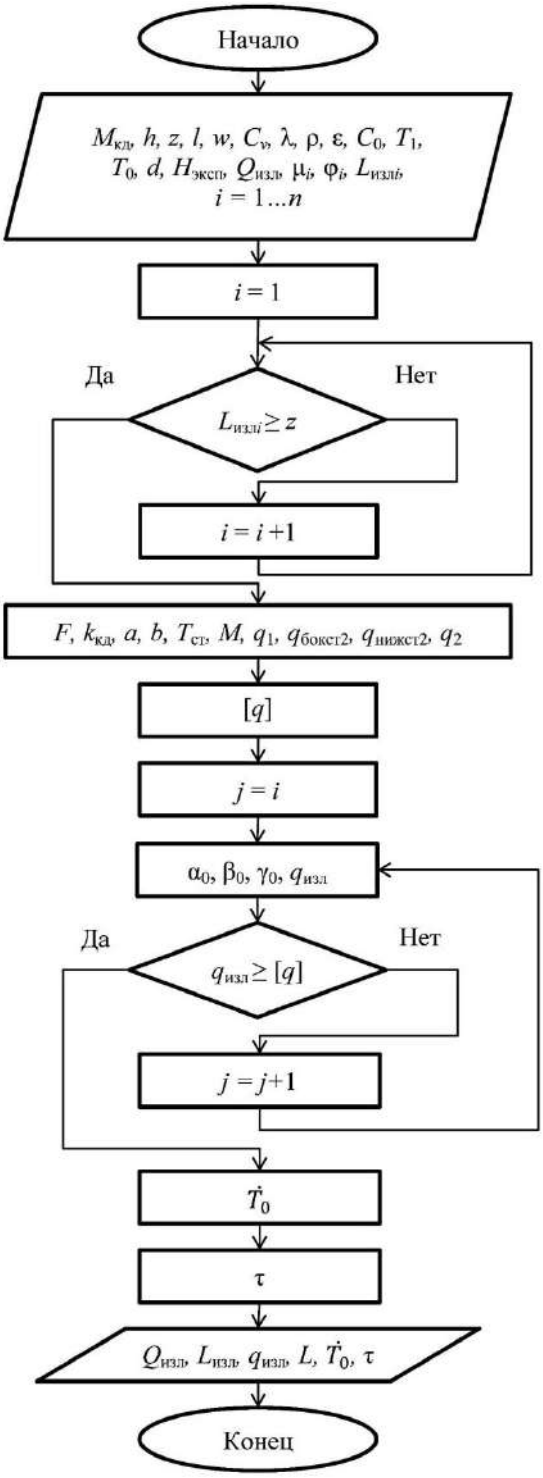


Рисунок 2. Блок-схема компьютерного расчета конструктивных и технологических параметров инфракрасной установки для обработки полимерных покрытий

13. Определение скорости повышения температуры детали

$$\dot{T}_0 = \frac{q_{\text{изл}}}{2C_v M} \qquad (2)$$

14. Расчет по формуле (3) времени инфракрасного нагрева τ корпусной детали до заданной температуры T_1

$$\tau = H_{\text{эксп}} \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{T_1 - T_0}{\dot{T}_0 H_{\text{эксп}}}}\right) \qquad (3)$$

На основе вышеописанного алгоритма разработали блок-схему компьютерного расчета (рисунок 2).

Используя блок-схему компьютерного расчета и среду разработки *Lazarus* (*Free Pascal*) разработали компьютерную программу расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий в ходе восстановления корпусных деталей. Ее интерфейс показан на рисунке 3.

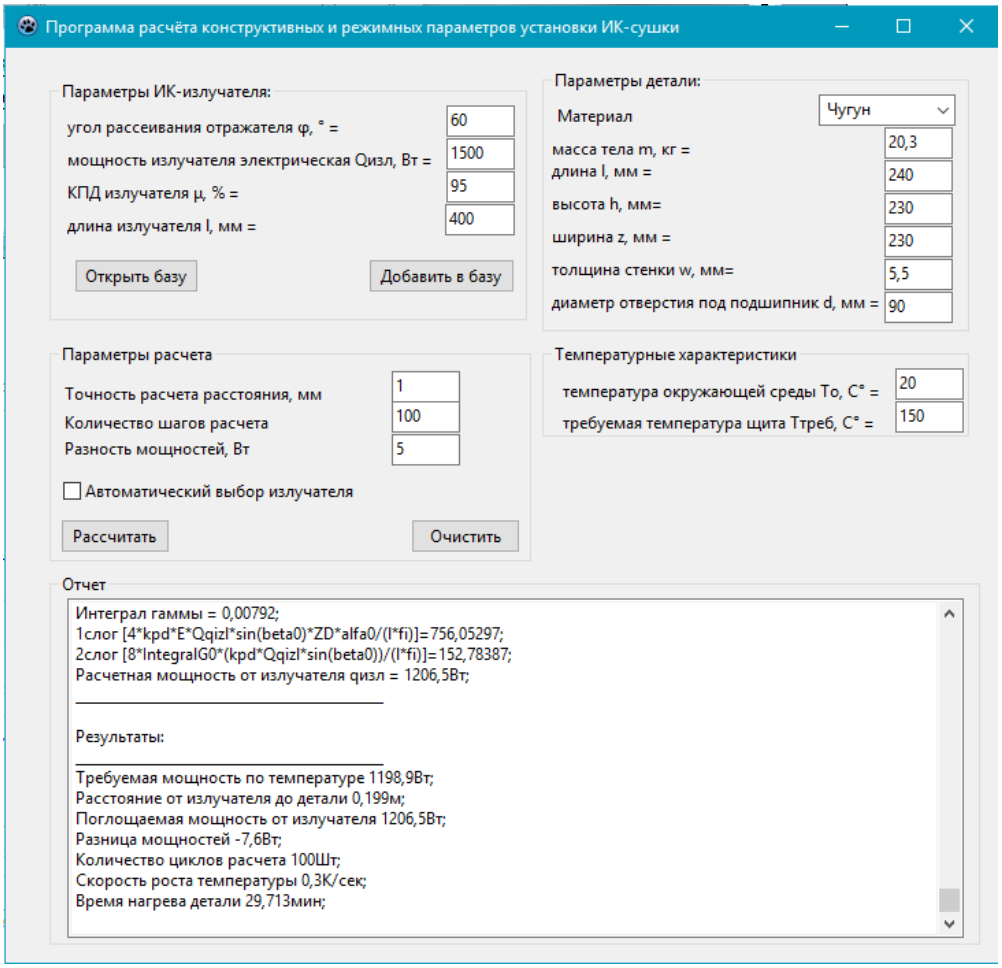


Рисунок 3 - Интерфейс программы

В программу входит база данных с конструктивными характеристиками инфракрасных излучателей и отражателей, которую можно корректировать, вводя новые технические характеристики инфракрасного оборудования.

По завершении расчета программа печатает: конструктивные ($Q_{изл}$, l) и технологические параметры (L, τ) инфракрасной установки для обработки полимерных покрытий.

Результаты экспериментальных исследований

Корректность компьютерной программы расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки полимерных покрытий проверяли проведением контрольного эксперимента. Образцами являлись корпусы коробки передач 24-1701015 и 53А-1700010-05 автомобилей ГАЗ-24 и ГАЗ-53 с изношенными подшипниковыми отверстиями [17].

Нагрев корпусной детали выполняли двумя одинаковыми инфракрасными установками, размещенными напротив торцов детали на определенном расстоянии L. Для нагрева коробки автомобиля ГАЗ-24 использовали излучатель QTS мощностью 750 Вт и отражатель марки QTSR, коробки автомобиля ГАЗ-53 – излучатель QTS мощностью 1500 Вт и отражатель марки QTSR.

Результаты, полученные в ходе реализации контрольного эксперимента по нагреву корпусов коробок передач 24-17010158 и 53А-1700010-05 показаны в таблице 1.

Таблица 1 - Расчетные и экспериментальные значения параметров нагрева корпусов коробок передач 24-17010158 и 53А-1700010-05

№ п/п	Расстояние L, м	Мощность излучателя электрическая, $Q_{изл}$	Температура T, °С		Время нагрева τ, мин	
			Расчетная	Экспериментальная	Расчетное	Экспериментальное
1	0,130	750	150,0	146,4	51,2	47,0
2	0,175	1500	150,0	152,3	61,8	58,0

Как видно из таблицы 1, различие фактической температуры нагрева детали от расчетных значений составляет от 1,5 до 2,4%, времени нагрева – от 6,1 до 8,2%. Получена достаточно высокое совпадение расчетных и фактических значений параметров нагрева, подтверждающее корректность разработанного метода расчета конструктивных и технологических параметров установок инфракрасной обработки эластомерных покрытий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники.

Далее изучали качество покрытий эластомера Ф-40С после термической обработки различными способами [18]. Режим термической обработки: температура 150°С, время 3 ч. Площадь разрушенного покрытия после конвективной обработки составляет 20%. После инфракрасной обработки этот показатель уменьшился до 15%, т.е. в 1,33 раза.

Пористость покрытий после конвективной обработки составляет 0,67 шт/см^2, а после инфракрасной обработки этот показатель уменьшился до 0,54 шт/см^2, т.е. в 1,24 раза.

Выводы

1. Разработан метод расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей сельскохозяйственной техники.

2. Инфракрасная обработка эластомерных покрытий, по сравнению с конвективным способом, значительно повышает их качество: площадь разрушенного покрытия снижается до 1,33 раза, пористость – до 1,24 раза.

Список источников

1. Коломейченко А. В., Кравченко И. Н., Пузряков А. Ф., Логачёв В. Н., Титов Н.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования // Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 16–21.

2. Кононенко А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: Дисс. ... д-ра

техн. наук. М., 2012. 405 с.

3. Жачкин С. Ю., Краснова М. Н., Пеньков Н. А., Краснов А. И. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 130–134.

4. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 1. С. 89–94.

5. Ли, Р. И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники // Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. 379 с.

6. Курчаткин В.В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: Дисс. ... д-ра техн. наук. Москва, 1989. 407 с.

7. Ли Р.И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: Монография. Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. 224 с.

8. Колесников, А. А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Колесников А. А. – Орел, 2017. 179 с.

9. R. I. Li, M. R. Kiba. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, No. 2, pp. 161–164.

10. Ли Р.И. Условия формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали // Клеи. Герметики. Технологии – 2015. – №4. – С. 33-38;

11. Курчаткин, В. В., Тельнов, Н. Ф., Ачкасов, К. А., Батищев, А. Н. Надежность и ремонт машин / под ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. 776 с.

12. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 127 с.

13. Кузовлев, В. А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / под ред. Л. Р. Стоцкого. – М.: Высшая школа, 1983. 680 с.

14. Ли, Р.И. Математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом [Текст] / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя // Клеи. Герметики, Технологии. 2019. № 9. С. 38-43.

15. Ли, Р.И. Расчет конструктивных и режимных параметров установки инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом [Текст] / Р.И. Ли, Ю.Н. Ризаева, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя // Клеи. Герметики, Технологии. 2020. № 4. С. 32-36.

16. Ли, Р.И. Математическая модель терморадиационной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автомобилей [Текст] / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя, М.Р. Киба // Клеи. Герметики, Технологии. 2021. № 2. С. 29-35.

17. Автокаталог – ГАЗ-24. https://opex.ru/acat/legkovye_avtomobili/gaz/gaz_24-14.html

18. ГОСТ 9.407-84. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.

Reference

1. Kolomeichenko A. V., Kravchenko I. N., Puzryakov A. F., Logachev V. N., Titov N. V. Restoration technology with hardening of machine parts based on the use of microarc oxidation // Stroitelnye i dorognye mashiny. 2014. No. 10. P. 16–21.

2. Kononenko A. S. Improving the reliability of fixed flange joints of agricultural machinery using nanostructured sealants: Diss. ... Dr. tech. Sciences. M., 2012. 405 p.

3. Zhachkin S. Yu., Krasnova M. N., Penkov N. A., Krasnov A. I. Modeling of the mechanical impact of the tool in the production of galvanic composite coatings // Proceedings of GOSNITI. 2015. V. 120. S. 130–134.

4. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Increasing the resistance of polymer composites of cold curing to the effects of working fluids using nanomaterials // International technical and economic journal. 2015. No. 1. S. 89–94.

5. Li, R. I. Technologies for the restoration and hardening of parts of automotive equipment // Lipetsk: Publishing House of LGTU, 2014. 379 p.

6. Kurchatkin V.V. Restoration of landings of rolling bearings of agricultural machinery with polymeric materials: Diss. ... Dr. tech. Sciences. Moscow, 1989. 407 p.

7. Lee R.I. Polymer composite materials for fixing rolling bearings in machine units: Monograph. Lipetsk: Publishing House of the Lipetsk State Technical University, 2017. 224 p.

8. Kolesnikov, A. A. Improving the quality of restoration of car body parts with polymer composite materials after ultrasonic treatment: Diss. ... cand. tech. Sciences: 05.22.10: / Kolesnikov A. A. - Orel, 2017. 179 p.

9. R. I. Li, M. R. Kiba. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, no. 2, pp. 161–164.

10. Lee R.I. Conditions for the formation of a uniform polymer coating on the outer surface of a rotating cylindrical part // Klei. Sealants. Technologies - 2015. - No. 4. - P. 33-38;

11. Kurchatkin, V. V., Telnov, N. F., Achkasov, K. A., Batishchev, A. N. Reliability and repair of machines, ed. V. V. Kurchatkina. – M.: Kolos, 2000. 776 p.

12. Mikheev S.V. Fundamentals of infrared technology. - St. Petersburg: ITMO University, 2017. - 127 p.

13. Kuzovlev, V. A. Technical thermodynamics and fundamentals of heat transfer / ed. L. R. Stotsky. - M.: Higher School, 1983. 680 p.

14. Lee, R.I. Mathematical model of infrared heating of body parts during restoration with polymeric material [Text] / R.I. Lee, D.N. Psarev, A.N. Bykonya // Glues. Sealants, Technologies. 2019. No. 9. S. 38-43.

15. Lee, R.I. Calculation of design and operational parameters of the installation for infrared heating of body parts during restoration with polymeric material [Text] / R.I. Lee, Yu.N. Rizaeva, D.N. Psarev, A.N. Bykonya // Glues. Sealants, Technologies. 2020. No. 4. S. 32-36.

16. Lee, R.I. Mathematical model of thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts [Text] / R.I. Lee, D.N. Psarev, A.N. Bykonya, M.R. Kiba // Adhesives. Sealants, Technologies. 2021. No. 2. S. 29-35.

17. Autocatalog - GAZ-24. https://opex.ru/acat/legkovye_avtomobili/gaz/gaz_24-14.html

18. GOST 9.407-84. Paint coatings. Appearance assessment method [Text]. - M.: Publishing house of standards, 1984. - 8 p.

Информация об авторах

Р. И. Ли – доктор технических наук, профессор; Ю. Н. Ризаева – доктор технических наук, доцент; А.Н. Быконя – кандидат технических наук; Д. Н. Псарев – кандидат технических наук, доцент; М. Р. Киба – кандидат технических наук.

Information about the authors

R. Li – Doctor of Technical Science, Professor; Yu. Rizaeva – Doctor of Technical Science, Associate Professor; A. Bykonya – Candidate of Technical Science; D. Psarev – Candidate of Technical Science, Associate Professor; M. Kiba – Candidate of Technical Science

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 10.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2022

Тип статьи: научная
УДК 665.753.4
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-120-133

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОДИЗЕЛЬНЫХ И СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ

Анна Владимировна Чернышева[1], Анна Дмитриевна Черепанова[2], Борис Иванович Колобков[3], Алексей Юрьевич Корнев[4], Станислав Александрович Нагорнов[5]
[1,2,3]25 ГосНИИ химмотологии Министерства обороны РФ, Москва, Россия
[1]Chernysheva.an.vl@ya.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4637-8802
[2]kulazhskaya_92@inbox.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2158-4255
[3]bkolobkov@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8962-6469, Researcher ID: C-4208-2016
[4,5] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия
[4]vniitinlab7@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2765-2506, Scopus AI: 57222153839, 57474873900, WoS Researcher ID: U-9704-2017
[5]snagornov@yandex.ru, Scopus AI: 6603109573

Авторы, ответственные за переписку: Борис Иванович Колобков, Алексей Юрьевич Корнев
Corresponding authors: Boris Kolobkov, Alexey Kornev

Реферат. *Несколько свойств, определяющих пригодность метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) в качестве компонента дизельного топлива, выделено на основании литературного обзора. Два свойства, которые больше всего меняются в зависимости от изменений в исходном сырьесчитаются наиболее важными. Это предельная температура фильтруемости и окислительная стабильность. Предложен оптимальный жирнокислотный состав МЭЖК для этих двух показателей: относительно низкие содержания насыщенных ЖК и полиненасыщенных ЖК и высокое содержание мононенасыщенных ЖК. Проведено сравнение физико-химических и эксплуатационных свойств метиловых эфиров рыжикового и рапсового масел после их хранения. Определено, что показатели плотности и вязкости несколько превышают верхний предел, установленный для дизельных топлив по ГОСТ 32511, при этом следует отметить высокие значения цетановых чисел и хорошую смазывающую способность. По нулевому значению гидропероксидного числа МЭЖК рыжикового масла со сроком хранения 5 лет можно сделать предварительный вывод о том, что данное топливо в чистом виде (B100) может храниться как минимум 5 лет. Логично предположить, что примеси, в том числе естественные антиоксиданты (токоферолы), входящие в состав биодизеля из нерафинированного масла, способствуют защите окислительных процессов от радикального взаимодействия с кислородом воздуха.*

Ключевые слова: *биодизельные топлива, смесевые топлива, окислительная стабильность, метиловые эфиры жирных кислот, рыжиковое масло, рапсовое масло.*

A PHYSICO-CHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF BIODIESEL AND COMPOSITION FUELS

Anna Chernysheva[1], Anna Cherepanova[2], Boris Kolobkov[3], Kornev Alexey[4], Stanislav Nagornov[5]
[1,2,3]25-th State Research Institute of Chemmotology Ministry of Defence of Russian Federation, Moscow, Russia
[1]Chernysheva.an.vl@ya.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4637-8802
[2]kulazhskaya_92@inbox.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2158-4255
[3]bkolobkov@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8962-6469, Researcher ID: C-4208-2016

[4,5]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[4]vniitinlab7@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2765-2506, Scopus AI: 57222153839, 57474873900, WoS Researcher ID: U-9704-2017
[5]snagornov@yandex.ru, Scopus AI: 6603109573

Abstract. *Several properties that determine the suitability of fatty acid methyl esters (FAMEs) as a diesel fuel component have been identified based on a literature review. The two properties that change the most with changes in the feedstock are considered the most important. These are the limiting filterability temperature and oxidative stability. The optimal fatty acid composition of FAMEs for these two indicators has been proposed: relatively low content of saturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids and a high content of monounsaturated fatty acids. A comparison of the physicochemical and operational properties of methyl esters of camelina and rapeseed oils after their storage was carried out. It was determined that the density and viscosity indicators slightly exceed the upper limit established for diesel fuels according to GOST 32511, while high cetane numbers and good lubricity should be noted. A preliminary conclusion that this fuel in its pure form (B100) can be stored for at least 5 years can be drawn from the zero value of the FAME hydroperoxide value of camelina oil with a shelf life of 5 years It is logical to assume that impurities, including natural antioxidants (tocopherols), which are part of biodiesel from unrefined oil, help protect oxidative processes from radical interaction with atmospheric oxygen.*

Keywords: *biodiesel fuels, composition fuels, oxidative stability, methyl esters of fatty acids, camelina oil, rapeseed oil.*

Для цитирования: Чернышева А.В., Черепанова А.Д., Колобков Б.И., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевых топлив // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 120-133. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-120-133.

For citation: Chernysheva A., Cherepanova A., Kolobkov B., Kornev A., Nagornov S. Physico-chemical and operational properties of biodiesel and composition fuels. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 120-133. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-120-133.

Введение. Одним из факторов мирового интереса к биотопливам является проблема увеличения выбросов парниковых газов (ПГ), в частности CO_2. В 2019 году Российская Федерация присоединилась к Парижскому соглашению (The Paris Agreement) по стабилизации выбросов CO_2. Крупным эмитентом ПГ является транспортный сектор, его вклад в общую эмиссию в 2014 г по оценкам IEM, составил более 20% [1].

Биодизельное топливо определяется ASTM как топливо, состоящее из моноалкиловых эфиров длинноцепочечных жирных кислот, полученных из растительных масел или животных жиров, обозначенных как B100 [2]. Более низкие концентрации, например, 20 % раствор биодизеля в нефтяном дизельном топливе обозначают B20, правильно называются «смесевыми биодизельными топливами».

Свойства биодизельного топлива в значительной степени зависят от жирнокислотного состава растительных масел и животных жиров, используемых для его получения. В наиболее значительной степени на физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельного топлива влияют длина углеводородной цепочки жирных кислот (ЖК) и степень ненасыщенности ЖК. В структуре распространенных растительных масел преобладают пять видов жирных кислот: пальмитиновая (16:0, где 16 – длина углеводородной цепочки жирных кислот, а 0 – количество двойных связей), стеариновая (18:0), олеиновая (18:1), линолевая (18:2), и линоленовая (18:3). Кокосовое масло значительно отличается, в его состав входят лауриновая (12:0) и миристиновая (14:0) кислоты. Рыжиковое масло также несколько отличается от большинства других растительных масел, причем линоленовая кислота (18:3) является ее основным компонентом, в меньших количествах содержаться более тяжелые кислоты 20:1 и 22:1.

Двумя наиболее распространенными нормативными документами для биодизельных смесей являются ASTM D6751 в США и EN 14214 в Европе. Некоторые из показателей качества, входящих в эти стандарты, такие как вязкость, цетановое число, температура помутнения, фракционный состав и йодное число, непосредственно связаны с химическим составом МЭЖК. Другие показатели – температура вспышки, содержание метанола, содержание металлов, уровень серы, кислотное число – связаны с чистотой МЭЖК и касаются организации производственных процессов, транспортировки и хранения.

Важным свойством биодизельного топлива, на которое влияют как химический состав, так и условия хранения является окислительная стабильность. Окисление топлива связано с ненасыщенностью ЖК. Особенно ему способствует наличие полиненасыщенных ЖК. Установлена корреляция между расчетным показателем топлива, называемым «средняя ненасыщенность» с несколькими другими свойствами, такими как вязкость, удельный вес, низкотемпературные свойства, цетановое число и йодное число. Увеличение средней ненасыщенности приводит к снижению цетанового числа и снижению устойчивости к окислению, но улучшает низкотемпературные характеристики. Расчетный показатель – «средняя длина цепочки» не коррелирует с большинством других свойств.

Все более распространенной проблемой некоторых видов биодизельного топлива является их склонность к образованию нерастворимых осадков в процессе хранения при низкой температуре. В значительной степени эта проблема, как полагают, связана с наличием следовых примесей – в частности, стероидных глюкозидов и насыщенных моноглицеридов. Эти же примеси придают биодизелю хорошие смазывающие свойства, поэтому усилия по их устранению могут привести к непреднамеренному ухудшению смазывающей способности.

Из-за противоречивого влияния некоторых соединений, входящих в состав топлива, на различные его свойства невозможно определить единую композицию, оптимальную по всем важным параметрам. Однако могут быть предложены полезные рекомендации по составу в отношении двух важнейших свойств биодизельного топлива – низкотемпературных свойств и окислительной стабильности. Для улучшения низкотемпературных характеристик, биодизельное топливо должно содержать низкие концентрации длинноцепочечных насыщенных углеводородов. Для хорошей окислительной стабильности биодизельное топливо должно содержать высокие концентрации насыщенных и мононенасыщенных МЭЖК, но низкие концентрации полиненасыщенных МЭЖК.

Вязкость – это критическое свойство, поскольку она влияет на поведение топлива при впрыске. В целом, высокая вязкость приводит к плохому распылению топлива [3]. Высокая вязкость может привести к увеличению размеров капель, ухудшению испарения, уменьшению угла распыления впрыска и большему проникновению топливной струи в цилиндр [4, 5]. Это может привести к общему ухудшению сгорания, увеличению выбросов. Вязкость биодизельного топлива, как правило, выше, чем у нефтяного дизельного. Было показано, что в облегченной системе впрыска Common Rail более высокая вязкость приводила к увеличению задержки начала впрыска, уменьшению объема впрыска и увеличению вариабельности впрыска [6]. Вязкость сильно зависит от температуры. Следовательно, многие проблемы, возникающие в результате высокой вязкости, наиболее заметны при низкой температуре окружающей среды и в условиях холодного запуска двигателя. Недавнее исследование показало, что при снижении температуры распределение топлива B100 между отдельными форсунками в сборке форсунок становится очень неравномерным [3]. Это, в свою очередь, может привести к проблемам с производительностью двигателя и выбросами. Известно, что вязкость отдельных молекул МЭЖК увеличивается с увеличением углеродного числа ЖК [4, 5]. В литературе отмечена высокая степень корреляции между плотностью биодизельного топлива и вязкостью – более высокая плотность приводит к более низкой вязкости [7]. Вязкость коррелирует и со степенью ненасыщенности, причем более высокая ненасыщенность приводит к более низкой вязкости (хотя МЭЖК кокосового ореха являются исключением). Расположение двойной связи в цепи ЖК, по-видимому, мало влияет на вязкость.

Поскольку биодизельное топливо в основном состоит из длинноцепочечных углеводородных групп (практически без разветвлений или ароматических структур), то как правило, оно имеет

более высокое ЦЧ, чем нефтяное дизельное топливо, и увеличение содержания МЭЖК в смесевых биодизельных топливах увеличивает ЦЧ смеси [8, 9]. Биодизельное топливо, получаемое из сырья, богатого насыщенными жирными кислотами (животные жиры и пальмовое масло), имеет более высокое ЦЧ, чем топливо, получаемое из менее насыщенного сырья (соя, рапс). ЦЧ чистых молекул МЭЖК увеличивается с длиной цепи, но этот эффект маскируется при рассмотрении сложных смесей МЭЖК. С другой стороны, ЦЧ биодизельного топлива явно варьируется в зависимости от средней степени ненасыщенности. В литературе также сообщается, что увеличение степени ненасыщенности приводит к уменьшению ЦЧ [9 – 11]. Lapuerta и др. недавно было предложено прогностическое уравнение для ЦЧ МЭЖК, которое в значительной степени зависит от количества двойных связей в МЭЖК, а также углеродного числа МЭЖК [12]. Эти авторы отметили высокую корреляцию между ЦЧ и значением йодного числа (ИЧ), коэффициент корреляции составил 0,97.

Йодное число определяется путем измерения количества I_2, которое вступает в реакцию присоединения по двойным связям углерод–углерод; таким образом, ИЧ напрямую связано с ненасыщенностью МЭЖК (коэффициент корреляции 0,96). ИЧ первоначально было включено в европейскую спецификацию на биодизельное топливо EN 14214, чтобы обеспечить удовлетворительную окислительную стабильность топлива. Однако, ИЧ – это просто показатель общей ненасыщенности, в то время как на окислительную стабильность большее влияние оказывает количество молекул МЭЖК, имеющих две и три двойные связи. По этой причине существуют некоторые разногласия по поводу необходимости установления нормативов по показателю ИЧ вообще и относительно максимально допустимого значения ИЧ в размере 120 г I_2/100 г биодизельного топлива, установленное EN 14214. Всемирная топливная хартия, созданная группой ассоциаций автопроизводителей США, Европы и Японии, также рекомендует показатель ИЧ, но с допустимым максимумом 130 г I_2/100 г биодизельного топлива [13]. Некоторые биодизельные топлива, полученные из сои, скорее всего, не будут соответствовать требованиям Европейской спецификации по показателю ИЧ, но будут соответствовать требованиям Всемирной топливной хартии по данному показателю. Стандарт ASTM на биодизельное топливо не включает показатель ИЧ, полагая, что химическую стабильность топлива лучше характеризуют результаты, полученные с помощью теста на окислительную стабильность Rancimat (метод EN14112). Другие утверждают, что нет необходимости в спецификации ИЧ, поскольку показатель цетанового числа эффективно ограничивает содержание ненасыщенных соединений [12].

Теплотворная способность биодизельного топлива из-за высокого содержания кислорода имеет меньшее значение массовой энергии, чем нефтяное дизельное топливо. Таким образом, повышение уровня МЭЖК в смесевом биодизельном топливе приводит к снижению теплотворной способности. По мере увеличения углеродной цепи ЖК (при постоянном уровне ненасыщенности) массовая доля кислорода уменьшается, поэтому теплотворная способность увеличивается [14, 15]. Уровень ненасыщенности также оказывает влияние за счет разности в плотности: ненасыщенные эфиры по сравнению с насыщенными эфирами имеют меньшую массовую теплотворную способность (МДж/кг), но более высокую объемную теплотворную способность (МДж/л) [10].

Биодизельное топливо, как правило, обладает высокой смазывающей способностью, поэтому смазывающая способность нефтяного топлива может быть улучшена путем введения в него биодизельного топлива. Отчасти хорошая смазывающая способность биодизеля обусловлена наличием эфирной группы в молекулах МЭЖК, но более высокую степень смазывающей способности обеспечивают следовые примеси свободных жирных кислот и моноглицеридов [16, 17]. Было отмечено, что очистка биодизельного топлива с помощью дистилляции снижает его смазывающие свойства, поскольку эти примеси удаляются. Влияние ненасыщенности на смазывающую способность неясно, при этом некоторые исследователи сообщают о положительных эффектах двойных связей углерод–углерод [16], в то время как другие сообщают об отсутствии эффекта [18].

Окислительная стабильность является одним из наиболее важных эксплуатационных характеристик биодизельного топлива. Нестабильность топлива может привести к повышению вязкости, а также образованию отложений. Данные процессы деградации рассмотрены в обзорах

литературы по этой теме [19]. Окислительная стабильность определяется не только известными композиционными свойствами, но и сроком хранения биодизельного топлива и условиями, в которых оно хранилось. Кроме того, многие образцы биодизельного топлива содержат добавки, которые улучшают стабильность, не влияя на другие физико-химические свойства.

На окислительную стабильность влияет ненасыщенность. В целом, более высокая ненасыщенность приводит к меньшей стабильности, хотя автоокисление ненасыщенных жирных соединений протекает с разной скоростью в зависимости от количества и положения двойных связей [19]. Процессы окисления инициируются отрывом атома водорода от углерода, сопряженного с двойной связью – так называемое аллильное положение [10, 20]. После отщепления этого водорода быстрая реакция с молекулярным кислородом приводит к образованию аллиловых гидропероксидов. Последующие реакции, включающие изомеризацию и распространение радикальных цепей, приводят к образованию многочисленных вторичных продуктов окисления, таких как альдегиды, спирты и карбоновые кислоты.

Молекулы МЭЖК, содержащие углерод, который находится рядом с двумя двойными связями (бис-аллильная группа), особенно восприимчивы к этому типу окислительной нестабильности. Именно по этой причине Европейский стандарт на биодизельное топливо (EN 14214) включает отдельную спецификацию для метилового эфира линоленовой кислоты, который содержит две бис-аллиловые группы. При использовании очищенных метиловых эфиров олеиновой кислоты (18:1), линолевой кислоты (18:2) и линоленовой кислоты (18:3), относительные скорости автоокисления были измерены как 1:41:98 [21, 22]. Влияние полиненасыщенности МЭЖК (в отличие от мононенасыщенности МЭЖК) на уменьшение стабильности топлива была признана многими исследователями. Ramos и др. определили параметр, называемый «степенью ненасыщенности», аналогичный расчетному свойству «средней ненасыщенности», описанному выше, но оценивающий по ди- и триненасыщенным соединениям в два раза больше, чем по мононенасыщенным соединениям [23]. Park и др. разработали прогнозирующее уравнение стабильности биотоплива, основанное на концентрациях всего двух видов МЭЖК: линолевой (18:2) и линоленовой (18:3) [24]. Например, для МЭЖК кокосового ореха можно было бы ожидать очень высокой окислительной стабильности, поскольку он содержит всего около 2 % полиненасыщенных кислот (ди- и триненасыщенных). Для сырья, содержащего более 50 % полиненасыщенных жирных кислот, такого как рыжиковое, кукурузное, сафлоровое, соевое и подсолнечное масла; ожидается низкая окислительная стабильность. Особого внимания заслуживает биодизельное топливо, полученное из рыжикового масла, поскольку оно содержит около 35 % триненасыщенных МЭЖК. Следовательно, можно ожидать, что биодизельное топливо из рыжикового масла будет обладать особенно низкой устойчивостью к окислению, однако, нам не удалось найти каких-либо данных о значительных проблемах со стабильностью этого топлива. Большую практическую ценность для повышения стабильности биодизельного топлива имеет смешивание двух видов сырья, обладающих различными уровнями окислительной стабильности. Приведенные примеры этого включают смешивание МЭЖК пальмового масла, обладающих высокой окислительной стабильностью и МЭЖК ятрофы с более низкой стабильностью [25] и МЭЖК сои [26]. Еще один надежный метод повышения стабильности биодизельного топлива включает использование антиокислительных присадок [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Хотя сырые жиры и масла обычно содержат природные антиоксиданты, такие как токоферолы и каротиноиды, синтетические антиоксиданты, как правило, оказываются более эффективными [28 – 311].

При рассмотрении свойств, определяющих пригодность МЭЖК в качестве топливной смеси, наиболее важными являются цетановое число, вязкость, предельная температура фильтруемости, окислительная стабильность и смазывающая способность [322]. Два свойства считаются наиболее важными – и больше всего меняются в зависимости от изменений в исходном сырье – это предельная температура фильтруемости и окислительная стабильность. В ряде работ предложен оптимальный жирнокислотный состав МЭЖК для таких показателей биодизельного топлива как предельная температура фильтруемости, и окислительная стабильность [23, 333, 344]. Оптимальный состав будет иметь относительно низкие уровни насыщенных ЖК (для минимизации проблем с предельной температурой фильтруемости), низкие уровни

полиненасыщенных ЖК (для улучшения окислительной стабильности) и высокие уровни мононенасыщенных ЖК. Некоторые авторы пришли к выводу, что пальмитолеиновая кислота (16:1) и олеиновая кислота (18:1) обеспечивают наилучший компромисс между окислительной стабильностью и предельной температурой фильтруемости без чрезмерного снижения цетанового числа [333, 344]. В нескольких лабораториях ведутся работы по генетическому изменению естественного состава ЖК растительных масел и липидов водорослей для повышения их пригодности в качестве сырья для получения биодизельного топлива [355, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**6]. Большая часть этой работы сосредоточена на соевых бобах с целью увеличения олеиновой кислоты (18:1) и уменьшения линолевой кислоты (18:2) и линоленовой кислоты (18:3).

Поскольку в литературе содержатся противоречивые данные об окислительной стабильности метиловых эфиров рыжикового масла нами было проведено сравнение МЭЖК рыжикового масла с МЭЖК рапсового масла.

Материалы и методы

Для экспериментальных исследований были использованы следующие образцы биодизеля B100:

– биодизель из рыжикового масла (срок хранения 5 лет);

– биодизель из рыжикового масла (срок хранения 2 месяца);

– биодизель из рапсового масла (срок хранения 2 месяца).

Жирнокислотный состав образцов биодизельных топлив определен на хромато-масс-спектрометре с МСД Хроматек. ИК-спектральные исследование выполнены на спектрометре ФТ-801 (Simex) с приставкой МПВО, кристалл из SiZn.

Результаты и их обсуждение

Данные хромато-масс-спектрометрического анализа жирнокислотного состава биодизелей согласуются с литературными данными. Результаты представлены на диаграмме (рисунок 1). Как видно, в составе МЭЖК рыжикового масла преобладают наиболее легко окисляющиеся эфиры ди- и триненасыщенных линолевой и линоленовой кислот, в отличие от МЭЖК рапсового масла, где основным компонентом является метиловый эфир мононенасыщенной олеиновой кислоты.

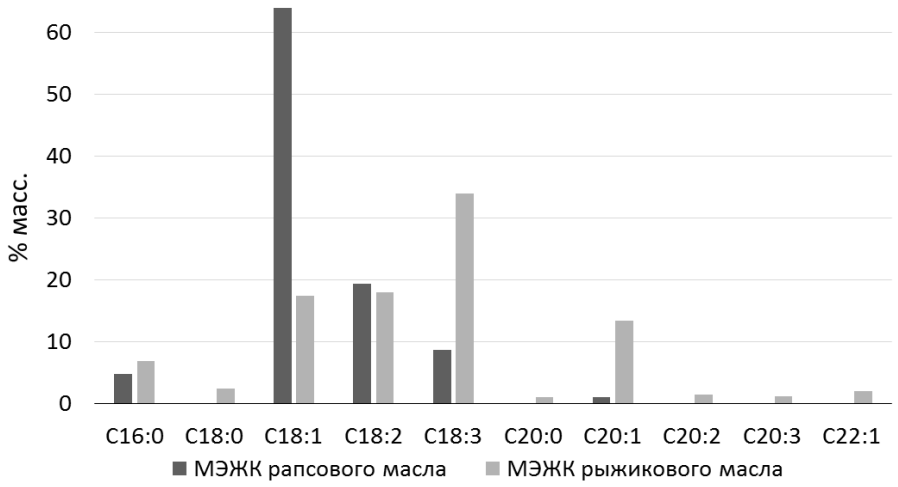


Рисунок 1 – Жирнокислотный состав биодизельных топлив
(по оси ординат обозначены МЭЖК, где С16, С18 и т.д. означает число углеродных атомов в молекуле жирной кислоты, а после двоеточия указано количество двойных связей)

Результаты испытаний физико-химических и эксплуатационных свойств биодизельных топлив представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний МЭЖК рыжикового и рапсового масел

Показатели	Нормативная документация на метод испытания	Фактическое значение		Норма для летнего ДТ* по ГОСТ 32511
		МЭЖК рыжикового масла	МЭЖК рапсового масла	
Плотность при 15 °С, кг/м^3	ГОСТ 3900	893,2	886,6	820,0 – 845,0
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм^2/с	ГОСТ 33	4,783	5,221	2,000 – 4,500
Йодное число, г йода на 100 г топлива	ГОСТ 2070	152,4	109,2	–
Предельная температура фильтруемости	ГОСТ 22254	Минус 7	Минус 13	Минус 5*
Массовая доля общей серы, мг/кг	ГОСТ ISO 20884	9,7	10,5	Не более 10,0**
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50°С), единицы по шкале	ГОСТ 32329	Класс 1	Класс 1	Класс 1
Массовая доля воды, мг/кг	EN ISO 12937:2000	0,0936	$7{,}2\cdot10^{-3}$	Не более 200
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	ГОСТ 6356	147	151,0	Выше 55
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С, мкм	ГОСТ ИСО 12156-1-2012	250	178	Не более 460
Гидропероксидное число, мг/кг	СТО 08151164-0201-2016	0	0	-
Зольность, % масс.	ГОСТ 1461	отсутствие	отсутствие	Не более 0,01
Цетановое число	ГОСТ 3122	52,0	54,0	Не менее 51

* для летнего дизельного топлива сорт С ** для К5

Как видно по данным таблицы 1, показатели плотности и вязкости биодизелей несколько превышают верхний предел, установленный для дизельных топлив по ГОСТ 32511. Однако, данное отклонение несущественно, поскольку МЭЖК, в основном, принято использовать в качестве компонента (добавки) к нефтяному топливу. При этом добавление МЭЖК в небольших количествах способствует улучшению противоизносных свойств топлива, что объясняется хорошими смазывающими свойствами МЭЖК. Стоит отметить высокие значения цетановых чисел биодизелей, что согласуется с литературными данными. В случае биодизельного топлива, представляющего собой смесь МЭЖК растительных масел, важными показателями являются гидропероксидное число, йодное число, поскольку такое топливо содержит значительную долю эфиров ненасыщенных жирных кислот, которые подвержены радикальным окислительным процессам. Данные показатели не регламентированы ГОСТ 32511, поскольку стандарт позволяет вводить не более 7 % об. МЭЖК в состав дизельных топлив. Однако они отражают свойства, характерные именно для чистых биодизельных топлив, ввиду особенностей строения веществ, входящих в их состав.

Гидропероксидное число отражает содержание в образце первичных продуктов радикального окисления. По значению данного показателя можно сделать предварительный вывод о том, насколько хорошо биодизель будет храниться. Нулевое значение концентрации гидропероксидов в МЭЖК рыжикового масла со сроком хранения 5 лет может указывать на то, что, вероятно,

примеси, входящие в состав масла, в том числе естественные антиоксиданты (токоферолы), переходят в состав МЭЖК, улучшая окислительную стабильность.

Йодное число отражает количество в образце двойных связей, которые отвечают за реакционную способность к окислению. Значения йодного числа соотносятся с результатами хромато-масс-спектрометрического определения жирнокислотного состава образцов биодизельных топлив.

Согласно ГОСТ 32511 максимально разрешенное содержание МЭЖК в дизельном топливе составляет 7 % об. Поэтому первым шагом мы проверили показатели именно такого смесевого топлива. В качестве нефтяного компонента выбрали арктическую дизельную фракцию. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний смесевых топлив, содержащих 7 % МЭЖК рыжикового и рапсового масел, на соответствие требованиям ГОСТ 32511

Показатели	Нормативная документация на метод испытания	Фактическое значение для смесевого топлива, содержащего 7 % МЭЖК из масел		Норма по ГОСТ 32511*
		рыжикового	рапсового	
Плотность при 15°С, кг/м^3	ГОСТ 3900	818,8	818,5	820-845
Кинематическая вязкость при 40°С, мм^2/с	ГОСТ 33	1,656	1,670	1,500-4,000
Йодное число, г йода на 100 г топлива	ГОСТ 2070	10,6	7,6	-
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	ГОСТ 22254	Минус 60	Минус 54	От минус 20 до минус 38
Массовая доля общей серы, мг/кг, не более	ГОСТ ISO 20884	-	-	10,0 для К5
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50°С), единицы по шкале	ГОСТ 32329	-	-	Класс 1
Фракционный состав: – при температуре 250°С перегоняется, % об., менее – при температуре 350°С перегоняется, % об., не менее – 95 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	ГОСТ 2177	72,99 > 97,7 319,0	73,33 > 97,8 314,3	65 85 360
Цетановое число	ГОСТ 3122	44,4	45,7	49,0
Коксуемость 10%-го остатка разгонки, % масс., не более	ГОСТ 19932	0,22	0,06	0,3
Окислительная стабильность, г/м^3, не более	ГОСТ Р ЕН ИСО 12205	71	193	25
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60°С, мкм, не более	ГОСТ ИСО 12156-1-2012	341	404	460

*нормы для зимнего дизельного топлива

Оба смесевых дизельных топлива, содержащих 7 % МЭЖК рыжикового и рапсового масел со сроком хранения 2 месяца не соответствуют требованиям ГОСТ по показателю «Окислительная стабильность». Следует отметить, что окислительная стабильность топлива, содержащего МЭЖК рапсового масла обладает худшей окислительной стабильностью, чем образец, содержащий МЭЖК рыжикового масла, несмотря на менее благоприятный жирнокислотный состав. При

испытаниях смесевого топлива с МЭЖК рапсового масла, количество осадка превышает допустимые значения в 7,7 раза, а у смесевого дизельного топлива, содержащее 7 % МЭЖК рыжикового масла – всего в 3 раза.

В образце смесевого дизельного топлива, содержащего 7 % МЭЖК рыжикового масла со сроком хранения 5 лет, количество осадка образовавшегося, при определении окислительной стабильности, почти в 1000 раз превышает допустимые нормы (таблица 2).

Стоит отметить, что при содержании МЭЖК в дизельном топливе более 2 % об. окислительную стабильность необходимо определять по методу EN 15751, однако это затруднительно из-за отсутствия специального оборудования.

Была исследована эффективность антиокислительной присадки Агидол-1 в составе смесевых топлив (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние присадки Агидол-1 на показатель окислительная стабильность в смесевых топливах

Образец	Окислительная стабильность, г/м^3, не более		Кислотность (до / после определения окислительной стабильности)	
	Без добавления Агидол-1	0,1 % Агидол-1	Без добавления Агидол-1	0,1 % Агидол-1
Смесевое топливо, содержащее 7 % МЭЖК рыжикового масла (срок хранения 5 лет)	19531	75	28 / более 164	30 / 51
Смесевое топливо, содержащее 7 % МЭЖК рыжикового масла (срок хранения 2 месяца)	71	0	0,82 / 2,25	0,92 / 1,33
Смесевое топливо, содержащее 7 % МЭЖК рапсового масла (срок хранения 2 месяца)	193	5	0,32 / 1,36	0,32 / 0,96

Установлено, что концентрация 0,1 % масс является эффективной, позволяет довести смесевые дизельные топлива с содержанием МЭЖК 7 % до требований ГОСТ 32511 по показателю «Окислительная стабильность».

Было проведено исследование осадков, образовавшихся при опытном хранении смесевого топлива, содержащего 7 % МЭЖК рыжикового масла (со сроком хранения 5 лет) и при определении окислительной стабильности этого образца. На рисунке 2 изображено наложение ИК-спектров осадков, образовавшихся при хранении (черная кривая) и при испытании на окислительную стабильность путём ускоренного старения по ГОСТ Р ЕН ИСО 12205 (красная кривая).

Есть определенные различия на спектрах осадков. Интенсивность пика на волновом числе 972 см$^{-1}$ значительно выше в образце осадка, выпавшего при хранении, этот пик можно отнести к сигналам изолированных *транс*–С=С связей. На обоих спектрах отсутствуют пики в области 1735 – 1744 см$^{-1}$, относящиеся к валентным колебаниям карбонильной группы в сложных эфирах, но присутствуют пики в области 1710 см$^{-1}$ и 1723 см$^{-1}$, которые могут соответствовать карбонильной группе в карбоновых кислотах и альдегидах. Конъюгация с двойными связями смещает поглощение карбонила в более низкочастотную область, что наблюдается на спектре осадка, образовавшегося при испытании смесевого дизельного топлива на окислительную стабильность по ГОСТ Р ЕН ИСО 12205. Данные различия в спектрах осадков могут свидетельствовать о разной степени окисления образцов при проведении испытаний по методу «Окислительная стабильность» и в процессе опытного хранения.

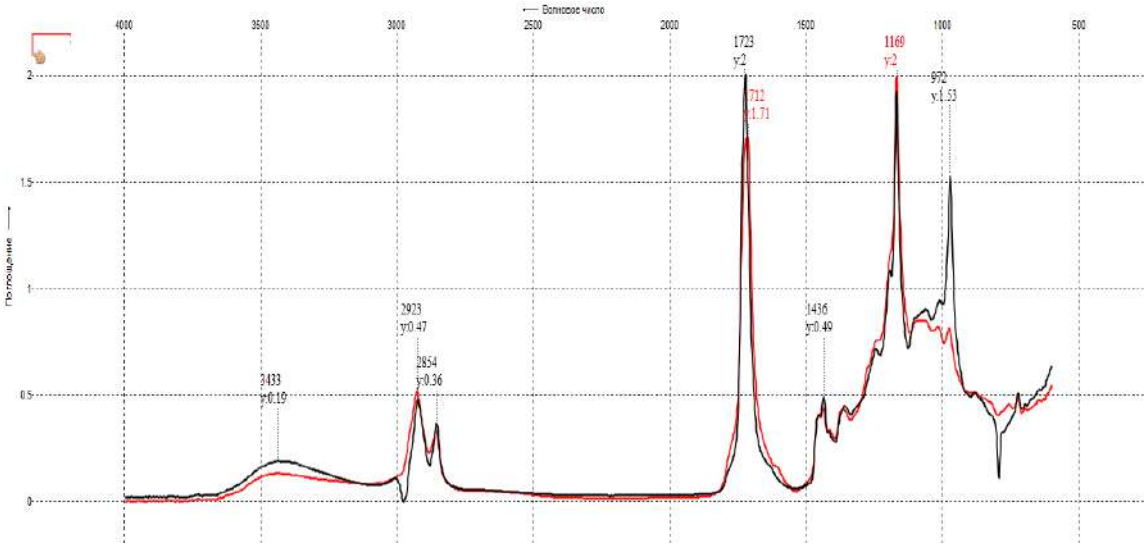


Рисунок 2 – ИК-спектры осадков, образовавшихся при опытном хранении смесевого топлива, содержащего 7 % МЭЖК рыжикового масла со сроком хранения 5 лет (черная кривая) и при испытании на окислительную стабильность путём ускоренного старения по ГОСТ Р ЕН ИСО 12205 (красная кривая).

Заключение

Одной из наиболее важных проблем, ограничивающих применение биодизельных и смесевых топлив, является плохая окислительная стабильность. Предполагаемые причины наблюдаемой нестойкости к окислению могут быть вызваны следующими факторами:

– высокой реакционной способностью эфиров ненасыщенных жирных кислот;

– присутствием разнообразных примесей, характерных для исходных растительных масел (фосфолипиды, токоферолы, свободные жирные кислоты, воски, каротиноиды и др.).

– значительное влияние на численные значения показателя «Окислительная стабильность» оказывает срок хранения МЭЖК.

Природные антиоксиданты, входящие в состав масел, могут оказывать не меньшее влияние на окислительную стабильность, чем жирнокислотный состав.

Введение антиокислительной присадки Агидол-1 в смесевые топлива, содержащие МЭЖК до 7 % позволяет улучшить окислительную стабильность до требований ГОСТ 32511.

Такое поведение смесевого дизельного топлива необходимо изучить более детально.

Список источников

1. Гаева Т.Н., Варакин А.Н., Гуляева Л.А., Ишутенко Д.И., Кулинич А.Л., Никульшин П.А., Пимерзин А.А., Василов Р.Г. Развитие технологий и перспективы внедрения авиационного биотоплива // Биотехнология. 2002. Т. 36, №5. С. 13-30.

2. Standard specification for biodiesel fuel blend stock (B100) for middle distillate fuels. Report no. D6751-08. ASTM; 2008.

3. Kegl B. Biodiesel usage at low temperature // Fuel. 2008. Vol. 87(7). pp. 1306–1317. DOI.org/10.1016/j.fuel.2007.06.023.

4. Knothe G, Steidley KR. Kinematic viscosity of biodiesel components (fatty acid alkyl esters) and related compounds at low temperatures // Fuel. 2007. Vol. 86. pp. 2560–2567. DOI.org/10.1016/j.fuel.2007.02.006.

5. Refaat AA. Correlation between the chemical structure of biodiesel and its physical properties // International Journal of Environmental Science and Technology. 2009. Vol. 6(4). pp. 677–694. DOI:10.1007/bf03326109

6. Miers SA, Kastengren AL, El-Hannouny EM, Longman DE. An experimental investigation of biodiesel injection characteristics using a light-duty diesel injector. In: 2007 ASME Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference. 2007. DOI.org/10.1115/ICEF2007-1735

7. Demirbas A. Mathematical relationships derived from biodiesel fuels // Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects 2008. Vol.30. pp. 56–69. DOI.org/10.1080/00908310600626762

8. Harrington KJ. Chemical and physical properties of vegetable oil esters and their effect on diesel fuel performance // Biomass. 1986. Vol. 9. pp. 1–17. DOI.org/10.1016/0144-4565(86)90008-9

9. Knothe G, Matheaus AC, Ryan TW. Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester // Fuel. 2003. Vol. 82(8). pp. 971–975. DOI.org/10.1016/S0016-2361(02)00382-4

10. Refaat AA. Correlation between the chemical structure of biodiesel and its physical properties // International Journal of Environmental Science and Technology. 2009. Vol. 6(4). pp. 677–694. DOI: 10.1007/bf03326130.

11. Knothe G. Cetane numbers-heat of combustion-why vegetable oils and their derivatives are suitable as a diesel fuel. In: Knothe G, Van Gerpen J, Krahl J, editors. The biodiesel handbook. Urbana, IL 61802: AOCS Press; 2005. pp. 76–80.

12. Lapuerta M, Rodriguez-Fernandez J, de Mora EF. Correlation for the estimation of the cetane number of biodiesel fuels and implications on the iodine number // Energy Policy. 2009. Vol. 37(11). pp. 4337–4344. DOI.10.1016/j.enpol.2009.05.049

13. Worldwide Fuel Charter. Report no. 4th ed. European Automobile Manufacturer's Association; 2006.

14. Demirbas A. Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils // Fuel. 1998. Vol. 77. pp. 1117–1120. DOI.org/10.1016/S0016-2361(97)00289-5.

15. Demirbas A. Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels // Fuel. 2008. Vol. 87(8–9) . pp. 1743–1748. DOI.org/10.1016/j.fuel.2007.08.007.

16. Knothe G. The lubricity of biodiesel. SAE powertrain & fluid systems conference & exhibition technical papers; 2005;2005-01-3672. DOI.org/10.1016/j.rser.2011.07.143

17. Hu JB, Du ZX, Li CX, Min E. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers // Fuel. 2005. Vol. 84(12–13). pp. 1601–1606. DOI.org/10.1016/j.fuel.2005.02.009

18. Bhatnagar AK, Kaul S, Chhibber VK, Gupta AK. HFRR studies on methyl esters of nonedible vegetable oils // Energy and Fuels. 2006. Vol. 20(3). pp. 1341–1344. DOI.org/10.1021/ef0503818.

19. Knothe G. Oxidative stability of biodiesel: literature overview. In: Knothe G, Van Gerpen J, Krahl J, editors. The biodiesel handbook. Urbana, IL 61802: AOCS Press; 2005. pp. 122–126.

20. Arisoy K. Oxidative and thermal instability of biodiesel // Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects. 2008. Vol. 30(16). pp. 1516–1522. DOI.org/10.1080/15567030601082845.

21. Dunn RO. Antioxidants for improving storage stability of biodiesel // Biofuels Bioproducts and Biorefining 2008. Vol. 2(4). pp. 304–318. DOI.org/10.1002/bbb.83.

22. Moser BR. Comparative oxidative stability of fatty acid alkyl esters by accelerated methods // Journal of the American Oil Chemists Society. 2009. Vol. 86(7). pp. 699–806. DOI:10.1007/s11746-009-1376-5.

23. Ramos MJ, Fernandez CM, Casas A, Rodriguez L, Perez A. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties // Bioresource Technology. 2009. Vol. 100(1). pp. 261–268. DOI:10.4236/jwarp.2013.59091

24. Park JY, Kim DK, Lee JP, Park SC, Kim YJ, Lee JS. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. pp. 1196–1203. DOI:org/10.1016/j.biortech.2007.02.017.

25. Sarin R, Sharma M, Sinharay S, Malhotra RK. Jatropha-palm biodiesel blends: an optimum mix for Asia // Fuel. 2007. Vol. 86(10–11). pp. 1365–1371. DOI:org/10.1016/j.fuel.2006.11.040.

26. Moser BR. Influence of blending canola, palm, soybean, and sunflower oil methyl esters on fuel properties of biodiesel // Energy and Fuels. 2008. Vol. 22(6). pp. 4301–4306. DOI.org/10.1021/ef800588x

27. Imperial oil thermal/oxidation storage stability of bio-diesel fuels. Report no. R399-2009. Imperial Oil, Natural Resources Canada; 2009.

28. Liang YC, May CY, Foon CS, Ngan MA, Hock CC, Basiron Y. The effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of palm diesel // Fuel. 2006. Vol. 85(56). pp. 867–870. doi.org/10.1016/j.fuel.2005.09.003

29. Paligova J, Jorikova L, Cvengros J. Study of FAME stability // Energy and Fuels. 2008. Vol. 22. pp. 1991–1996. DOI.10.1021/ef7007419.

30. Tang H, Wang A, Salley SO, Ng KYS. The effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of biodiesel // Journal of the American Oil Chemists Society. 2008. Vol. 85. pp. 373–382. DOI: https://doi.org/10.1007/s11746-008-1208-z

31. Jain S, Sharma MP. Stability of biodiesel and its blends: a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14(2). pp. 667–678. doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.005.

32. Knothe G. Improving biodiesel fuel properties by modifying fatty ester composition // Energy and Environmental Science. 2009. Vol. 2. pp. 759–766. DOI: 10.1039/B903941D.

33. Pinzi S, Garcia IL, Lopez-Gimenez FJ, de Castro MDL, Dorado G, Dorado MP. The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications // Energy and Fuels. 2009. Vol. 23. pp. 2325–2341. doi.org/10.1021/ef801098a.

34. Durrett TP, Benning C, Ohlrogge J. Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels // The Plant Journal. 2008. Vol. 54. pp. 593–607. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03442.x|

35. Clemente TE, Van Gerpen J. Improved soybean oil for biodiesel fuel. Report no. U.S. DOE Report, DEFG36-04GO14245; 2007. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03442.x|

36. Kinney AJ, Clemente TE. Modifying soybean oil for enhanced performance in biodiesel blends // Fuel Processing Technology. 2005. Vol. 86(10). pp. 1137–1147. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.008.

References

1. Gaeva T.N., Varakin A.N., Gulyaeva L.A., Ishutenko D.I., Kulinich A.L., Nikulshin P.A., Pimerzin A.A., Vasilov R.G. Development of technologies and prospects for the introduction of aviation biofuel // Biotechnology. 2002. V. 36, No. 5. pp. 13-30.

2. Standard specification for biodiesel fuel blend stock (B100) for middle distillate fuels. Report no. D6751-08. ASTM; 2008.

3. Kegl B. Biodiesel usage at low temperature. Fuel. 2008;87(7):1306–1317. DOI.org/10.1016/j.fuel.2007.06.023.

4. Knothe G, Steidley KR. Kinematic viscosity of biodiesel components (fatty acid alkyl esters) and related compounds at low temperatures. Fuel. 2007; 86:2560–2567. DOI.org/10.1016/j.fuel.2007.02.006.

5. Refaat AA. Correlation between the chemical structure of biodiesel and its physical properties. International Journal of Environmental Science and Technology. 2009;6(4):677–694. DOI:10.1007/bf03326109.

6. Miers SA, Kastengren AL, El-Hannouny EM, Longman DE. An experimental investigation of biodiesel injection characteristics using a light-duty diesel injector. In: 2007 ASME Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference. 2007. DOI.org/10.1115/ICEF2007-1735

7. Demirbas A. Mathematical relationships derived from biodiesel fuels. Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects. 2008; 30:56–69. DOI.org/10.1080/00908310600626762.

8. Harrington KJ. Chemical and physical properties of vegetable oil esters and their effect on diesel fuel performance. Biomass. 1986; 9:1–17. DOI.org/10.1016/0144-4565(86)90008-9.

9. Knothe G, Matheaus AC, Ryan TW. Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester. Fuel. 2003;82(8):971–975. DOI.org/10.1016/S0016-2361(02)00382-4.

10. Refaat AA. Correlation between the chemical structure of biodiesel and its physical properties. International Journal of Environmental Science and Technology. 2009;6(4):677–694. DOI: 10.1007/bf03326130.

11. Knothe G. Cetane numbers-heat of combustion-why vegetable oils and their derivatives are suitable as a diesel fuel. In: Knothe G, Van Gerpen J, Krahl J, editors. The biodiesel handbook. Urbana, IL 61802: AOCS Press; 2005:76–80p.

12. Lapuerta M, Rodriguez-Fernandez J, de Mora EF. Correlation for the estimation of the cetane number of biodiesel fuels and implications on the iodine number. Energy Policy. 2009;37(11):4337–4344. DOI.10.1016/j.enpol.2009.05.049.

13. Worldwide Fuel Charter. Report no. 4th ed. European Automobile Manufacturer's Association; 2006.

14. Demirbas A. Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils. Fuel. 1998; 77: 1117–1120. DOI.org/10.1016/S0016-2361(97)00289-5.

15. Demirbas A. Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. Fuel. 2008;87(8–9):1743–1748. DOI.org/10.1016/j.fuel.2007.08.007.

16. Knothe G. The lubricity of biodiesel. SAE powertrain & fluid systems conference & exhibition technical papers; 2005;2005-01-3672. DOI.org/10.1016/j.rser.2011.07.143.

17. Hu JB, Du ZX, Li CX, Min E. Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers. Fuel. 2005; 84(12–13):1601–1606. DOI.org/10.1016/j.fuel.2005.02.009.

18. Bhatnagar AK, Kaul S, Chhibber VK, Gupta AK. HFRR studies on methyl esters of nonedible vegetable oils. Energy and Fuels. 2006;20(3):1341–1344. DOI.org/10.1021/ef0503818.

19. Knothe G. Oxidative stability of biodiesel: literature overview. In: Knothe G, Van Gerpen J, Krahl J, editors. The biodiesel handbook. Urbana, IL 61802: AOCS Press; 2005. 122–126p.

20. Arisoy K. Oxidative and thermal instability of biodiesel. Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects. 2008;30(16);1516–1522. DOI.org/10.1080/15567030601082845.

21. Dunn RO. Antioxidants for improving storage stability of biodiesel. Biofuels Bioproducts and Biorefining. 2008;2(4): 304–318. DOI.org/10.1002/bbb.83.

22. Moser BR. Comparative oxidative stability of fatty acid alkyl esters by accelerated methods. Journal of the American Oil Chemists Society. 2009;86(7):699–806. DOI:10.1007/s11746-009-1376-5.

23. Ramos MJ, Fernandez CM, Casas A, Rodriguez L, Perez A. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. Bioresource Technology. 2009;100(1):261–268. DOI:10.4236/jwarp.2013.59091.

24. Park JY, Kim DK, Lee JP, Park SC, Kim YJ, Lee JS. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties. Bioresource Technology. 2008;99: 1196–1203. DOI:org/10.1016/j.biortech.2007.02.017.

25. Sarin R, Sharma M, Sinharay S, Malhotra RK. Jatropha-palm biodiesel blends: an optimum mix for Asia. Fuel. 2007;86(10–11):1365–1371. DOI:org/10.1016/j.fuel.2006.11.040.

26. Moser BR. Influence of blending canola, palm, soybean, and sunflower oil methyl esters on fuel properties of biodiesel. Energy and Fuels. 2008;22(6):4301–4306. DOI.org/10.1021/ef800588x.

27. Imperial oil thermal/oxidation storage stability of bio-diesel fuels. Report no. R399-2009. Imperial Oil, Natural Resources Canada; 2009.

28. Liang YC, May CY, Foon CS, Ngan MA, Hock CC, Basiron Y. The effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of palm diesel. Fuel. 2006;85(56):867–870. DOI.org/10.1016/j.fuel.2005.09.003

29. Paligova J, Jorikova L, Cvengros J. Study of FAME stability. Energy and Fuels. 2008;22: 1991–1996. DOI.:10.1021/ef7007419.

30. Tang H, Wang A, Salley SO, Ng KYS. The effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of biodiesel. Journal of the American Oil Chemists Society. 2008; 85: 373–382. DOI: https://doi.org/10.1007/s11746-008-1208-z

31. Jain S, Sharma MP. Stability of biodiesel and its blends: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010;14(2):667–678. DOI.org/10.1016/j.rser.2009.10.005.

32. Knothe G. Improving biodiesel fuel properties by modifying fatty ester composition. Energy and Environmental Science. 2009; 2: 759–766. DOI: 10.1039/B903941D.

33. Pinzi S, Garcia IL, Lopez-Gimenez FJ, de Castro MDL, Dorado G, Dorado MP. The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications. Energy and Fuels. 2009; 23: 2325–2341. DOI:org/10.1021/ef801098a.

34. Durrett TP, Benning C, Ohlrogge J. Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels. The Plant Journal. 2008; 54: 593–607. DOI:org/10.1111/j.1365-313X.2008.03442.x.

35. Clemente TE, Van Gerpen J. Improved soybean oil for biodiesel fuel. Report no. U.S. DOE Report, DEFG36-04GO14245; 2007. DOI:org/10.1111/j.1365-313X.2008. 03442.x|

36. Kinney AJ, Clemente TE. Modifying soybean oil for enhanced performance in biodiesel blends. Fuel Processing Technology. 2005;86(10):1137–1147. DOI:org/10.1016/j.fuproc.2004.11.008.

Информация об авторах

А.В. Чернышева – кандидат химических наук; А.Д. Черепанова – кандидат химических наук; Б.И. Колобков – кандидат химических наук; А.Ю. Корнев – кандидат технических наук; С.А. Нагорнов – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

A. Chernysheva – Candidate of chemicalsciences; A. Cherepanova – Candidate of chemical sciences; B. Kolobkov – Candidate of chemical sciences; A. Kornev – Candidate of Technical Sciences; S. Nagornov – Full Doctor of Technical sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 02.09.2022 Принята к публикации (Accepted): 25.09.2022

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 31.10.2022. Заказ № 22.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 14,07 усл. печ. л. Тираж 100 экз.