«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

№ 4 (40), 2019 г.

Основанв 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»

АКИМОВ Михаил Юрьевич – директор ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», кандидат сельскохозяйственных наук

ГУЛЕВСКИЙ Вячеслав Анатольевич – проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, доцент

ДЕРКАНОСОВА Наталья Митрофановна – проректор по учебной работе, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

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

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

КОСТЮЧЕНКОВ Николай Васильевич – профессор кафедры «Аграрная техника и технологии» Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, действительный член Академии сельскохозяйственных наук Республики Казахстан, доктор технических наук, профессор

КРАСНЯНСКИЙ Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

ЛАЧУГА Юрий Федорович – академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академик РАН, доктор технических наук, профессор

НИКИТИН Александр Валерьевич – председатель попечительского совета Мичуринского государственного аграрного университета, профессор кафедры управления и делового администрирования ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», доктор экономических наук, профессор.

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – председатель редакционного совета, главный редактор журнала, врио директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук

ЦОЙ Юрий Алексеевич – генеральный директор научно-производственного предприятия «Фемакс» (Москва), член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации

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: Остриков В.В; заместители главного редактора: Корнев А.Ю., Сазонов С.Н.

№ 4 (40). Дата выхода в свет 30.08.2019. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская область, 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 область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.

Печатное издание журнал «Наука в Центральной России» 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», 2019

«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
№ 4 (40), 2019 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»

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АНАШКИН Александр Витальевич – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

ВЕДИЩЕВ Сергей Михайлович – заведующий кафедрой «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат 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 эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

КАПУСТИН Василий Петрович – профессор кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор

ОЖЕРЕЛЬЕВ Виктор Николаевич – профессор кафедры «Технические системы в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ОРОБИНСКИЙ Владимир Иванович – декан агроинженерного факультета, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

РОДИОНОВ Юрий Викторович – заведующий кафедрой «Техническая механика и детали машин» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор

ТИШАНИНОВ Николай Петрович – главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

ШАЦКИЙ Владимир Павлович – заведующий кафедрой «Математики и физики» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

ШВАРЦ Анатолий Адольфович – профессор кафедры «Стандартизации и оборудования перерабатывающих производств» ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

АФОНИЧЕВ Дмитрий Николаевич - заведующий кафедрой «Электротехники и автоматики» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

ВАСИЛЕНКО Владимир Васильевич – профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор

КНЯЗЕВА Лариса Геннадиевна – ученый секретарь ФГБНУ ВНИИТиН, доктор химических наук, доцент

КОРНЕВ Алексей Юрьевич – заместитель главного редактора журнала, заместитель директора ФГБНУ ВНИИТиН по научной работе, кандидат технических наук

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – ведущий научный сотрудник лаборатории альтернативных источников энергии взамен жидкого топлив ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

НАГОРНОВ Станислав Александрович – главный научный сотрудник лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

САЗОНОВ Сергей Николаевич – заместитель главного редактора журнала, главный научный сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

САФОНОВ Валентин Владимирович – заведующий кафедрой «Технический сервис и технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В.Вавилова», доктор технических наук, профессор

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – заведующий лабораторией использования альтернативных источников энергии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

© «Наука в центральной России», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Ерохин Г.Н., Коновский В.В.
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОРОННИХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ……...…….....5
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.
МОДЕРНИЗАЦИЯ ИМПОРТНЫХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ…….12
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.
ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ЗЕРНОВОГО СЛОЯ В ОВСЮЖНОМ ТРИЕРЕ НА ОСТАТОЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДЛИННЫХ ПРИМЕСЕЙ……..…19
Гордеев А.С., Мишин Б.С.
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ……...26
Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА L-ОБРАЗНОГО НАРУЖУ ОТОГНУТОГО НОЖА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО КУЛЬТИВАТОРА…….33
Королева Е.Н., Новиков Э.В., Хаитов Н.Х., Безбабченко А.В.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫХОДА И НОМЕРА ТРЕПАНОГО ЛЬНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНОТРЕСТЫ…….44
Брусенков А.В., Капустин В.П.
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДОСТАВКИ И ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ……49
Шварц С.А., Шварц А.А.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАГОТОВКИ И ХРАНЕНИЯ КОРМОВ НА ПРИМЕРЕ СЕНАЖА…….55
Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.
РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СНИЖЕНИЯ АНТИПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЛНОЖИРНЫХ СОЕВЫХ БОБАХ…….62
Доровских Д.В., Глазков Ю.Е., Доровских И.Ю., Глазкова М.М.
ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА К ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА РАБОТУ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ…….68
Корнев А.Ю., Бусин И.В., Ликсутина А.П.
СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ……79
Остриков В.В., Сазонов С.Н., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Жерновников Д.Н.
УДАЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ……...88
Ягубов В.С., Щегольков А.В., Нагдаев В.К., Ткачев А.Г.
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО УГЛЕРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В НАГРЕВАТЕЛЯХ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МОТОРНОГО МАСЛА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР…..…...97
Балабанов В. И., [1]Лехтер В.В.
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК……...108
Петрашев А.И., Клепиков В.В.
ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КОНСЕРВАЦИИ СЕЛЬХОЗМАШИН ВЯЗКОЙ МАСТИКОЙ С ПОДОГРЕВОМ……114

CONTENTS

Erokhin G., Konovskiy V.
COMPUTER SIMULATION USING THIRD-PARTY HARVESTERS…….5
Tishaninov N., Anashkin A.
MODERNIZATION OF IMPORTED GRAIN CLEANING TECHNOLOGIES……...13
Tishaninov N., Anashkin A.
EFFECT OF HEIGHT OF GRAIN LAYER IN A CELLULAR CYLINDER ON THE RESIDUAL CONTENT OF LONG IMPURITIES…….…19
Gordeev A., Mishin B.
IMITATION MODEL OF ORIENTATION OF THE WORKING BODY ON THE ROOT SYSTEM OF FRUIT PLANTS……27
Ozherelev V., Ozhereleva M.
RESEARCH OF L-SHAPED KNIFE WEAR PROCESS FOR VERTICAL-CUTTER CULTIVATOR, BENT OUT……..34
Koroleva E., Novikov E., Haitov N., Bezbabchenko A.
FORECASTING OF OUTPUT AND NUMBERS: SCUTCHED FLAX ACCORDING TO THE RESULTS OF LABORATORY PROCESSING OF FLAX STRAW……44
Brusenkov A., Kapustin V.
ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL LINE OF THE DELIVERYAND PREPARATION OF ROOT CROPS…….…49
Schwartz A., Schwartz S.
TECHNOLOGICAL FEATURES OF PREPARATION AND STORAGE OF FEED ON THE EXAMPLE OF SENAGE…….56
Shuvalov A., Mashkov A., Chernov D.
REGIME PARAMETERS OF DECREASE IN ANTI-NUTRIENTS IN FULL-FAT SOYBEANS……....63
Dorovskikh D., Glazkov Y., Dorovskikh I., Glazkova M.
EFFECT OF THE ADDITIVE OF HYDROGEN CONTAINING GAS TO A FUEL MIXTURE ON THE OPERATION OF A PETROL ENGINE……..…...69
Kornev A., Busin I., Liksutina A.
COMMUNICATION BETWEEN OPERATIONAL INDICATORS OF DIESEL FUEL AND PARAMETERS OF COMPLEX PROCESSING……...79
Ostrikov V., Sazonov S., Vyazinkin V., Zabrodskaya A., Zhernovnikov D.
REMOVAL OF POLLUTION FROM THE LUBRICATION SYSTEM OF TRACTOR ENGINES……88
Yagubov V., Shchegolkov A. Nagdaev V. Tkachev A.
APPLICATION OF NANOSTRUCTURAL CARBON FILLER IN HEATERS FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF MOTOR OIL IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES UNDER THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES……...97
Balabanov V., Lekhter V.
TRIBOTECHNICAL RESEARCHES OF METALLO-CLADING PLASTIC GREASES……..109
Petrashev A., Klepikov V.
TECHNICAL SOLUTIONS CONSERVATION PROBLEM FOR AGRICULTURAL MACHINESBY VISCOUS MASTIC WITH HEATING……..…….……..114

УДК 631.354
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-5-12

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОРОННИХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

[1]Ерохин Геннадий Николаевич
[1]Коновский Валерий Викторович
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Использование сторонних зерноуборочных комбайнов имеет для сельхозпредприятия значимые экономические последствия. Прогнозирование этих последствий выполняется на базе математической модели. В качестве оценочного критерия использованы потери эффективности комбайновой уборки зерновых культур. Разработана компьютерная программа моделирования потерь эффективности при использовании сторонних зерноуборочных комбайнов. Программа строит характеристическую зависимость потерь эффективности от площади уборки сторонними комбайнами. Характеристическая зависимость позволяет определить объем услуг сторонних комбайнов, при котором обеспечивается максимальная эффективность уборки зерновых культур. Выявлены и проанализированы три типа характеристической зависимости. По типу этой зависимости определяется целесообразность применения или отказа от применения сторонних комбайнов. В случае зависимости с минимумом потерь эффективности программа моделирует оптимальное значение площади уборки зерновых культур сторонними комбайнами. Представлены результаты работы программы на конкретном примере. Получено, что в рассматриваемом сельхозпредприятии использование сторонних комбайнов для уборки зерновых культур на площади 1400 га экономически оправданно. Предприятие в этом случае получит эффект в размере 3,26 млн.руб. Эксплуатационные затраты в целом составят 6,90 млн.руб., в том числе по собственным комбайнам - 2,03 млн.руб., по сторонним комбайнам – 4,88 млн.руб. Технологические потери зерна за комбайнами и осыпанием из-за превышения агросрока моделируются в размере 635 тонн или в денежном эквиваленте – 5,08 млн.руб. Продолжительность уборки зерновых культур прогнозируется периодом времени 25 календарных дней. Подтверждено, что программа предоставляет возможность моделировать разнообразные сценарии использования сторонних комбайнов с различными входными параметрами (погодные условия, урожайность и др.) и определять оптимальный сценарий по минимуму потерь эффективности.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, моделирование, эффективность, потери зерна, площадь*

COMPUTER SIMULATION USING THIRD-PARTY HARVESTERS

[1]Erokhin Gennady
[1]Konovskiy Valery
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *The use of third-party combine harvesters has significant economic consequences for agricultural enterprises. Prediction of these consequences is performed on the basis of a mathematical model. Losses of efficiency of combine harvesting of grain crops are used as an estimated criterion. The computer program for modeling loss of efficiency when using third-party combine harvesters has been developed. The program builds a characteristic dependence of efficiency losses on the area of harvesting by third-party combines. Characteristic dependence allows you to determine the volume of services of*

third-party combines, in which the maximum efficiency of harvesting grain crops is provided. The type of this dependence is determined. The expediency of using or rejecting the use of third-party combines is determined by the type of this dependence. The program models the optimal value of the area of harvesting grain crops by third-party combines in the case of dependence with a minimum of efficiency loss. The results of the program on a specific example presented. It was obtained that the use of third-party combines for harvesting grain crops on an area of 1,400 hectares was economically justified in considering agricultural enterprises. The enterprise in this case will receive an effect in the amount of 3.26 million rubles. Operating costs will amount to 6.90 million rubles. in general, including for its own combines - 2.03 million rubles, for third-party combines - 4.88 million rubles. Technological losses of grain for combines and shedding are modeled in the amount of 635 tons or in cash equivalent - 5.08 million rubles. due to the excess of the agricultural term. The duration of harvesting crops is projected for a period of 25 calendar days. It was confirmed that the program provides an opportunity to simulate various scenarios of using third-party combines with different input parameters (weather conditions, yield, etc.) and to determine the optimal scenario to minimize the efficiency loss.

Key words: *combine harvester, modeling, efficiency, grain loss, area*

Введение. Применение сторонних зерноуборочных комбайнов является достаточно распространенным способом организации уборочных работ в сельхозпредприятиях Российской Федерации. Термин «сторонние комбайны» подразумевает комбайны, которые привлечены для уборки зерновых культур в сельхозпредприятии на договорной основе. Основной причиной привлечения сторонних комбайнов в сельхозпредприятии является недостаточное количество собственных комбайнов или их полное отсутствие [1]. Возможны и другие причины, когда невозможно собственными комбайнами завершить уборку в агросрок. К таким причинам можно отнести: изношенность и низкая надежность собственного парка зерноуборочных комбайнов, низкая квалификация и некомплект комбайнеров, прогнозируемые сложные погодные условия уборки зерновых культур.

Привлечение дополнительных сторонних комбайнов влечет для сельхозпредприятия весьма значимые экономические последствия, которые измеряются миллионами рублей эффекта или ущерба. Принятие решения об использовании сторонних зерноуборочных комбайнов сложная процедура, при которой приходится учитывать и анализировать множество разнообразных факторов. Предшествующие исследования позволили разработать математическую модель оценки целесообразности применения сторонних зерноуборочных комбайнов по показателю – потери эффективности [2]. С помощью модели получена оценка влияния условий сельхозпредприятия и условий привлечения сторонних комбайнов на потери эффективности уборки зерновых культур [3]. Однако практическое применение подобной модели ограничено из-за большого объема входных факторов и сложности алгоритма вычислительных операций. Для устранения этого недостатка разработана компьютерная программа, описанию которой посвящена настоящая статья.

Материалы и методы. Работа основана на выполненных ранее исследованиях и мониторинге эксплуатационно-технологических показателей зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации [4]. Компьютерное моделирование исследуемых процессов проводилось с помощью специальной компьютерной программы, разработанной в ФГБНУ ВНИИТиН (свидетельство госрегистрации № 2019615491).

Результаты и их обсуждение. Разработка компьютерной программы моделирования использования сторонних зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии выполнялась на базе математической модели, созданной и апробированной в ФГБНУ ВНИИТиН [2]. Программа использует ряд показателей и зависимостей, полученных в результате мониторинга работы зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации [5 – 8]. Программа позволяет моделировать разнообразные сценарии совместного использования собственных и сторонних зерноуборочных комбайнов и выбирать наиболее эффективный из них.

В соответствии с моделью основным оценочным показателем программы являются потери эффективности комбайновой уборки зерновых культур. Данный показатель представляет собой

сумму затрат и технологических потерь при выполнении комбайновой уборки в хозяйстве. Затраты включают в себя эксплуатационные затраты комбайновой уборки, состоящие из расходов на топливно-смазочные материалы, оплату труда, техническое обслуживание и ремонт. Составляющими технологических потерь являются:

- потери зерна непосредственно за жаткой и молотилкой комбайна;
- потери, связанные с дроблением бункерного зерна;
- потери зерна осыпанием, связанные с продолжительностью уборки сверх агросрока.

Экономически целесообразным является сценарий с наименьшими потерями эффективности. Разность потерь эффективности различных сценариев использования сторонних комбайнов характеризует их сравнительную эффективность. В соответствии с моделью программа оперирует с пятью группами входных данных (таблица 1).

Таблица 1 – Входные данные компьютерной программы

Номер группы	Наименование группы	Наименование показателей
1	Показатели условий сельхозпредприятия	Общая площадь уборки зерновых культур, урожайность, соломистость, длина гона, количество, марки, и сроки эксплуатации имеющихся зерноуборочных комбайнов, затраты на топливно-смазочные материалы, техническое обслуживание и ремонт, зарплату комбайнера
2	Показатели использования сторонних комбайнов	Марки, количество, сезон эксплуатации привлекаемых сторонних зерноуборочных комбайнов, объем и цена услуг по уборке зерновых культур, условия заправки комбайнов топливом
3	Технические характеристики зерноуборочных комбайнов	Мощность двигателя, площадь подбарабанья, соломотряса, очистки, скорость выгрузки зерна, удельный расход топлива двигателем, объем бункера, транспортная скорость
4	Показатели мониторинга работы зерноуборочных комбайнов	Удельная продолжительность технических и технологических обслуживаний, зависимости изменения надежности и качества выполнения уборочных работ зерноуборочным комбайном от суммарной наработки
5	Внешние показатели	Стоимость дизельного топлива, средняя цена реализации зерна

Показатели первой, второй и пятой групп вводятся в ручном режиме по запросу программы. Программа позволяет по желанию пользователя изменять эти показатели, обеспечивая моделирование разнообразных сценариев использования сторонних зерноуборочных комбайнов.

Показатели третьей и четвертой групп заложены разработчиком в базу данных программы. Функциональность программы напрямую связана с количеством марок зерноуборочных комбайнов в ее базе данных. Корректировку и обновление этих групп показателей осуществляет разработчик программы.

В исследованиях получено, что потери эффективности комбайновой уборки зерновых культур при совместном использовании собственных и сторонних комбайнов значимо зависят от площади, которая убирается сторонними комбайнами [2, 3]. В силу своей информативности данная зависимость получила название характеристической. Разработанная компьютерная программа позволяет моделировать характеристические зависимости для различных условий применения сторонних комбайнов. Блок схема компьютерной программы показана на рисунке 1.

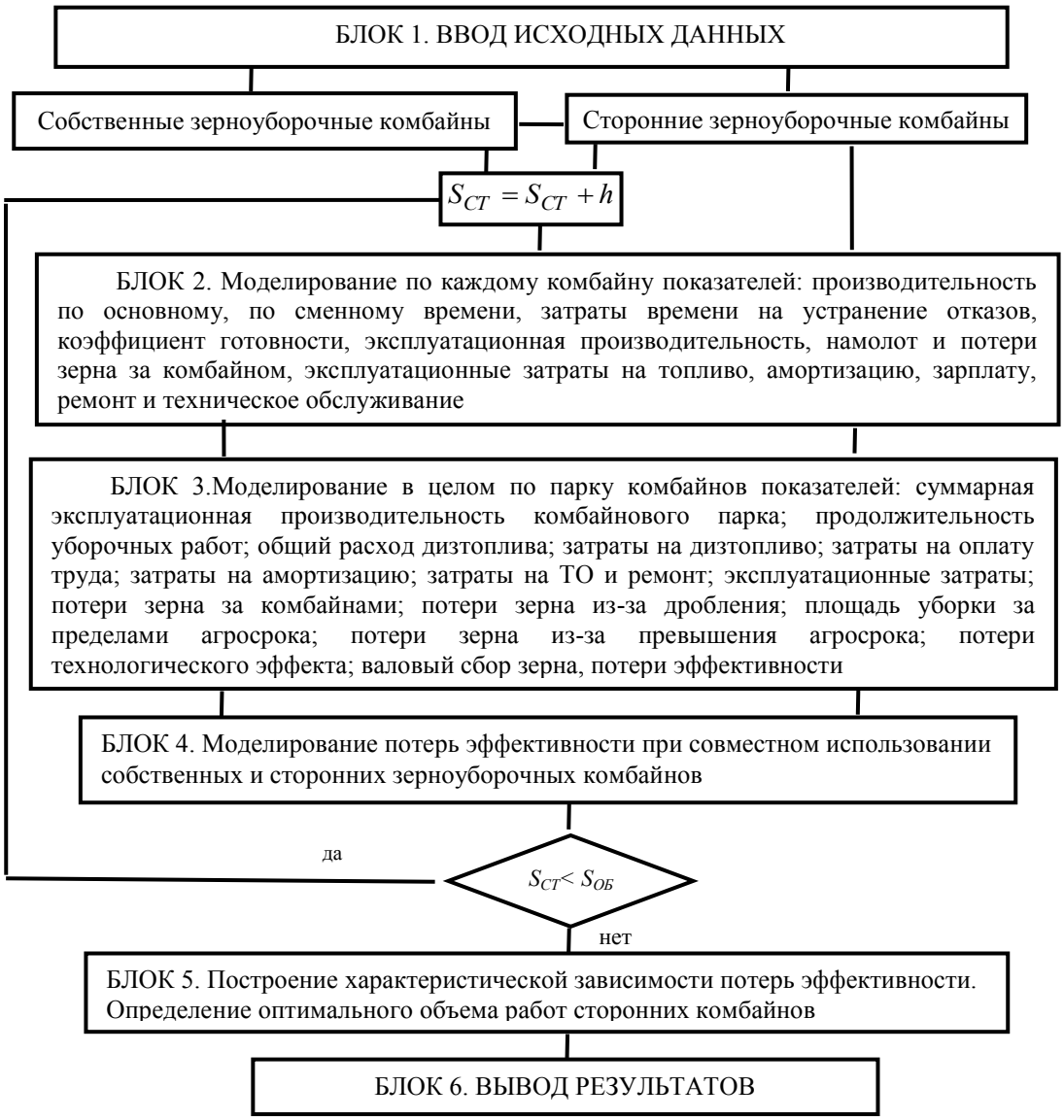


Рисунок 1 – Блок схема компьютерной программы использования сторонних зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии: S_{CT} - площадь уборки сторонними комбайнами; $S_{ОБ}$ - общая площадь зерновых культур; h – шаг изменения площади

После ввода исходных данных (БЛОК 1) программа моделирует потери эффективности (БЛОКИ 2, 3, 4) при изменении площади уборки сторонними комбайнами в интервале 0 … $S_{ОБ}$ с шагом h. Затем программа строит соответствующую характеристическую зависимость (БЛОК 5).

На рисунке 2 показаны возможные типы характеристической зависимости.

Первый тип – непрерывно убывающая зависимость. Она характерна для сельхозпредприятия, не имеющего собственных зерноуборочных комбайнов. В этом случае оптимальной является уборка всей площади зерновых культур сторонними комбайнами.

Второй тип – непрерывно возрастающая зависимость. Это означает, что использование сторонних зерноуборочных комбайнов для рассматриваемых условий в принципе невыгодно. Чем большую площадь будут убирать сторонние комбайны, тем больше будет экономический ущерб. Такая ситуация очень вероятна для сельхозпредприятий, у которых парк собственных зерноуборочных комбайнов позволяет убирать зерновые культуры в агросрок.

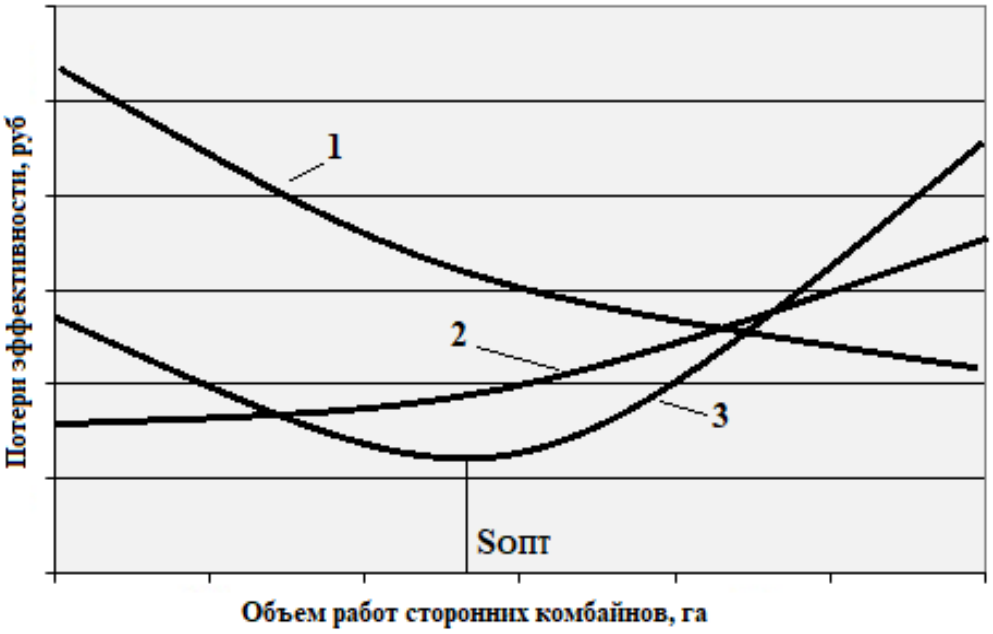


Рисунок 2 – Возможные типы зависимостей потерь эффективности от объема работ сторонних комбайнов: 1- убывающая, 2 – возрастающая, 3- с минимумом в точке $S_{ОПТ}$

Третий тип – зависимость, имеющая минимум потерь эффективности при определенном объеме работ сторонних комбайнов. Данная зависимость показывает целесообразность использования сторонних комбайнов. Причем максимальный эффект от их применения будет достигнут в случае уборки сторонними комбайнами площади $S_{ОПТ}$.

Компьютерная программа определяет тип характеристической зависимости и выдает соответствующие рекомендации. В случае, если характеристическая кривая соответствует третьему типу, то программа смоделирует оптимальную площадь уборки зерновых культур сторонними комбайнами. Пользователь может принять эту величину или скорректировать ее в соответствии с договором выполнения услуг по уборке зерновых культур.

Затем программа моделирует показатели совместного использования собственных и сторонних зерноуборочных комбайнов и выводит результаты в виде таблицы.

Рассмотрим работу компьютерной программы на конкретном примере. Сельхозпредприятие характеризуется следующими исходными данными. Площадь зерновых культур – 2800 га, прогнозируемая урожайность – 38ц/га, отношение зерна к незерновой части -1:1,4; средняя длина гона – 1050 м, стоимость дизельного топлива – 42 руб/л; средняя цена реализации зерна -8000 руб/т. Сельхозпредприятие располагает следующим парком зерноуборочных комбайнов: Acros 530 (6 сезон эксплуатации) – 2 шт., Acros 530 (9 сезон эксплуатации) – 1 шт., КЗС-1218 ПАЛЕССЕ GS12 (5 сезон эксплуатации) – 1шт.

В соответствии с договором по выполнению услуг уборки зерновых культур предлагаются нижеследующие условия. Парк сторонних зерноуборочных комбайнов состоит из 4-х зерноуборочных комбайнов компании Claas марки Tucano 450 (5 сезон эксплуатации). Цена услуг по уборке зерновых культур составляет 2850 руб/га. Загрузка сторонних комбайнов должна быть не менее 350 га, заправка дизтопливом за счет хозяйства.

В результате компьютерного моделирования для данных условий получена характеристическая зависимость потерь эффективности от площади уборки сторонними комбайнами (рисунок 3).

Рисунок 3 – Характеристическая зависимость потерь эффективности при использовании сторонних комбайнов в рассматриваемом сельхозпредприятии

Как видно из рисунка 3 характеристическая зависимость имеет минимум при объеме работ сторонних комбайнов 1100га. Потери эффективности в этой точке составляют 11,3 млн.руб. Если сельхозпредприятие будет использовать только собственные комбайны, то потери эффективности будут около 15 млн.руб. Если вся уборка зерновых культур будет осуществляться сторонними комбайнами, то потери эффективности будут максимальными – 25 млн.руб.

Максимальный эффект для сельхозпредприятия достигается при объеме работ сторонними комбайнами 1100га. Однако в соответствии с условиями договора, чтобы обеспечить загрузку комбайнов 350 га необходимо отдать сторонним комбайнам 1400 га. Выполнив компьютерное моделирование с указанным условием, получены показатели совместного использования собственных и сторонних зерноуборочных комбайнов (таблица 2).

Результаты моделирования показывают, что в рассматриваемом сельхозпредприятии использование сторонних комбайнов для уборки зерновых культур на площади 1400 га.экономически оправданно. Предприятие в этом случае получит эффект в размере 3,26 млн.руб. Эксплуатационные затраты в целом составят 6,90 млн.руб., в том числе по собственным комбайнам - 2,03 млн.руб., по сторонним комбайнам – 4,88 млн.руб. Технологические потери зерна за комбайнами и осыпанием из-за превышения агросрока прогнозируются в размере 635 тонн или в денежном эквиваленте – 5,08 млн.руб. Продолжительность уборки зерновых культур прогнозируется периодом времени 25 календарных дней.

Следует отметить, что полученные результаты смоделированы для вышеприведенных условий. Программа позволяет моделировать разнообразные сценарии при различных входных параметрах, в том числе в зависимости от метеоусловий и средней прогнозируемой урожайности. Так, в случае дождливого сезона и удлинении продолжительности уборочных работ в 1,5 раза, привлечение сторонних комбайнов для уборки 1400 га обеспечит эффект по сравнению с уборкой только собственными комбайнами в размере 5,4 млн.руб.Таким образом, применение сторонних комбайнов в случае дождливого сезона уборочных работ будет еще более мотивированным.

Моделирование сценария при нормальных погодных условиях, но с более низкой урожайностью 27 ц/га, показывает, что при объеме работ сторонних комбайнов 1400 га, наблюдается ущерб от их применения в размере 665 тыс.руб. При объеме работ 700 га применение сторонних комбайнов обеспечит незначительный эффект –330 тыс. руб.

Таблица 2 – Результаты компьютерного моделирования совместного использования собственных и сторонних зерноуборочных комбайнов

Наименование показателей	Значение
Собственные комбайны:	
Площадь уборки зерновых культур, га	1400
Расход дизтоплива, л	22048
Затраты на дизтопливо, руб	926005
Затраты на оплату труда, руб	748547
Затраты на ТО и ремонт, руб	351459
Сторонние комбайны:	
Площадь уборки, га	1400
Расход дизтоплива, л	21087
Затраты на дизтопливо, руб	885636
Затраты на оплату услуг по договору, руб.	3990000
Собственные и сторонние комбайны:	
Суммарная эксплуатационная производительность зерноуборочных комбайнов, га/ч	16,01
Прогнозируемая продолжительность уборочных работ, дн.	21,5
Общий расход дизтоплива, л	43134
Суммарные эксплуатационные затраты, руб	6901646
Технологические потери зерна, т	635,15
Технологические потери зерна, руб	5081176
Эффект по сравнению с уборкой только собственными комбайнами, руб	3264338
Потери эффективности, руб	11982823
Удельные потери эффективности, руб/га	4280

Выводы. Разработанная компьютерная программа позволяет реализовать сложную математическую модель использования сторонних зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии. Она моделирует характеристическую зависимость потерь эффективности от площади уборки сторонними комбайнами. По типу этой зависимости определяется целесообразность применения или отказа от применения сторонних комбайнов. В случае зависимости с минимумом потерь эффективности программа моделирует оптимальное значение площади уборки зерновых культур сторонними комбайнами. Кроме того, программа предоставляет возможность моделировать разнообразные сценарии использования сторонних комбайнов с различными входными параметрами (погодные условия, урожайность и др.) и определять оптимальный сценарий по минимуму потерь эффективности.

Список литературы

1. Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Техническое оснащение как фактор восстановления фермерских хозяйств //Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 2010.–№5. – С.24-26.
2. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Об использовании зерноуборочных комбайнов сторонних предприятий // Наука в центральной России. – 2018. – № 3 (33). – С. 5-11.
3. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Особенности применения зерноуборочных комбайнов на договорных условиях // Наука в центральной России. – 2019. – № 1 (37). – С. 5-11.
4. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: «Стандартинформ». –2008.– 24 с.
5. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Эксплуатационно-технологические показатели зерноуборочных комбайнов // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №6. –С.18-20.
6. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов – М., 2001. 106 с.
7. Бурьянов А.И., Бурьянов М.А., Горячев Ю.О., Костыленко О.А. Методика оценки экономической эффективности уборки зерновых культур очесом в условиях дефицита комбайнового парка // Техникаи оборудование для села. – 2014. – №10. – С.32-36.
8. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Мониторинг показателей надежности зерноуборочного комбайна Acros 530 // Наука в Центральной России. – 2014. – № 1(7). – С.16-20.

References

1. Sazonov S.N., Sazonova D.D. Tekhnicheskoe osnashchenie kak faktor vosstanovleniya fermerskih hozyajstv //Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva.– 2010.–№5. – S.24-26.
2. Erohin G.N., Konovskij V.V. Ob ispol'zovanii zernouborochnyh kombajnov storonnih predpriyatij // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 3 (33). – S. 5-11.
3. Erohin G.N., Konovskij V.V. Osobennosti primeneniya zernouborochnyh kombajnov na dogovornyh usloviyah // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 1 (37). – S. 5-11.
4. GOST R 52778-2007. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody ekspluatacionno-tekhnologicheskoj ocenki. – M.: «Standartinform». –2008.– 24 s.
5. Erohin G.N., Konovskij V.V. Ekspluatacionno-tekhnologicheskie pokazateli zernouborochnyh kombajnov // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2012. – №6. –S.18-20.
6. ZHalnin E.V. Raschet osnovnyh parametrov zernouborochnyh kombajnov – M., 2001. 106 s.
7. Bur'yanov A.I., Bur'yanov M.A., Goryachev YU.O., Kostylenko O.A. Metodika ocenki ekonomicheskoj effektivnosti uborki zernovyh kul'tur ochesom v usloviyah deficita kombajnovogo parka // Tekhnikai oborudovanie dlya sela. – 2014. – №10. – S.32-36.
8. Erohin G.N., Konovskij V.V. Monitoring pokazatelej nadezhnosti zernouborochnogo kombajna Acros 530 // Nauka v Central'noj Rossii. – 2014. – № 1(7). – S.16-20.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ерохин Геннадий Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: witin4@rambler.ru

Коновский Валерий Викторович – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: witin4@rambler.ru

Author credentials

Affiliations

Erokhin Gennady – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Konovskiy Valery – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.07.2019

УДК 631.362.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-12-18

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИМПОРТНЫХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

[1]Тишанинов Николай Петрович
[1]Анашкин Александр Витальевич

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Представлен анализ эффективности работы зерноочистительных комплексов. Отмечены характерные для отечественных и импортных технологий конструктивные недостатки в части управления технологическими процессами, которые снижают их эффективность и качество. Для импортных технологий характерны более высокий технический уровень и размерные характеристики, что повышает требования к управлению процессами по*

величине загрузки основного технологического оборудования. Предложены двух и трех канальные авторегулируемые делители потока зерна с пружинной грузовоспринимающей системой и повышенной пропускной способностью – до 120 т/ч. Двухканальный делитель включен в состав основного зерноочистительного оборудования, а трехканальный – в состав сушильного агрегата. По максимальной величине подачи зерна в зерноочистительные машины рассчитаны параметры регулирующей подвижной емкости, число грузовоспринимающих пружин при выбранной жесткости С = 1000 Н/м и диаметр отводов. При расчете диаметра отводов использованы ранее выполненные исследования истечения зерна через цилиндрические насадки, учтена полезная площадь сечения отводов из-за наличия в них вала привода клапанов. Трехканальный делитель потока зерна выполнен с теми же базовыми параметрами, но используется в частичных режимах по расходным характеристикам, что обеспечивает равномерную загрузку колонок сушильного агрегата, идентичные условия подачи теплоносителя и большую вариативность выбора режимов сушки.

Ключевые слова: *зерно, зерноочистительный агрегат, эффективность, качество, управление процессом, делитель потока зерна, равномерность, модернизация.*

MODERNIZATION OF IMPORTED GRAIN CLEANING TECHNOLOGIES

[1]Tishaninova Nikolai
[1]Anashkin Alexander
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract*. The analysis of the performance of grain cleaning systems is presented. The design flaws characteristic of domestic and imported technologies in terms of process control, which reduce their efficiency and quality, are noted. Imported technologies are characterized by a higher technical level and dimensional characteristics, which increases the requirements for process control in terms of the load on the main process equipment. Two and three channel grain flow dividers with a spring load transfer system and an increased capacity of up to 120 t / h are proposed. A two-channel divider is included in the composition of the main grain cleaning equipment, and a three-channel divider is included in the composition of the drying unit. The parameters of the regulating moving tank, the number of springs with the selected stiffness C = 1000 N / m and the diameter of the taps are calculated by the maximum amount of grain feed to the grain cleaning machines. When calculating the diameter of the taps, earlier studies of the outflow of grain through cylindrical nozzles were used; the useful sectional area of the taps was taken into account due to the presence of the valve drive shaft. The three-channel grain flow divider is made with the same basic parameters, but is used in partial modes according to the flow characteristics, which ensures uniform loading of the columns of the drying unit, identical conditions for the flow of coolant and large variability in the choice of drying modes.*

Keywords: *grain, grain cleaning unit, efficiency, quality, process control, grain flow divider, uniformity, modernization.*

Введение. Для производимого в России отечественного оборудования очистки зернового вороха характерны крайне низкий технический уровень и использование за границами экономической эффективности [1 – 5]. Поэтому в России все шире используются импортные технологии для очистки зерна. Они отличаются технологической завершенностью по составу операций, более высоким техническим уровнем и несоизмеримо более высокими показателями назначения (производительностью) [6, 7]. Однако для импортных технологий характерны те же недостатки в части управления потоками рабочей среды [8, 9]. Причем эта задача для технологических комплексов с высокими показателями назначения решается сложнее. Поэтому задача модернизации импортных зерноочистительных технологий, внедряемых в России дочерними предприятиями иностранных производителей путем создания средств управления рабочей средой с повышенными расходными характеристиками, является актуальной.

Материалы и методы. В работе использованы методы оценки экономической эффективности использования зерноочистительных агрегатов и расчетно-конструктивные методы.

Результаты и их обсуждение. Дочерние предприятия фирм «Perry» и «Fortschritt», в частности – ООО «АгроТехХолдинг», широко внедряют в России импортные зерноочистительные

технологии [10]. Они отличаются от отечественных технологий комплектностью решения технологических задач, более высоким техническим уровнем, эффективностью и качеством работ, обеспечивают очистку зернового вороха от примесей с производительностью до 120 т/ч и последующую сушку зерна, необходимую для его длительного хранения без технологических потерь.

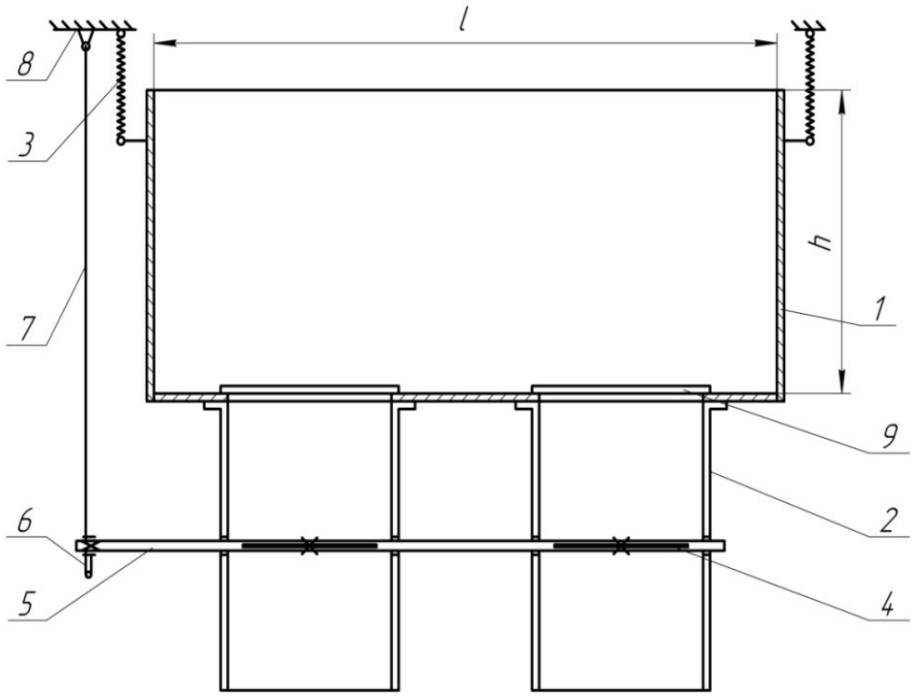
Вместе с тем, импортные зерноочистительные технологии имеют существенные конструктивные недостатки в части обеспечения управляемости и качества технологических процессов. При загрузке основного зерноочистительного оборудования необходимо двухканальное деление потока зерна и трехпозиционное управление технологическим процессом, которое адаптирует технологический комплекс к темпам уборки и вариантам организации работ. Однако, такие возможности импортная технология не обеспечивает, что снижает эффективность и качество технологических процессов.

Кроме того, загрузка колонок сушилки зерном осуществляется последовательно горизонтальным транспортером, что снижает эффективность их использования по эксплуатационному времени и вариативности выбора режимов сушки.

Для основного зерноочистительного оборудования по заявке предприятия ООО «АгроТехХолдинг» нами разработан двухканальный делитель потока зерна с пружинной грузовоспринимающей системой, обеспечивающей трехпозиционное управление (одновременно работают два канала, один левый, один правый), рисунок 1.

Рисунок 1 – Общий вид двухканального делителя потока зерна
в технологии фирм «Perry» и «Fortschritt»

Делитель потока зерна включает подвижную регулирующую емкость 1 (рисунок 2) с цилиндрическими отводами 2, уравновешенную грузовоспринимающими пружинами 3. Внутри отводов 2 размещены клапаны 4, закрепленные на валу 5. На консольной части вала 5 закреплен кривошип 6 шарнирно соединенный с тягой 7, которая противоположным концом присоединена к раме 8. Трехпозиционное управление работой делителя потока зерна в соответствие параметрам «зернового конвейера» осуществляется шиберами 9.



1 – подвижная регулирующая емкость; 2 – отвод; 3– пружина; 4– клапан; 5 – вал; 6 – кривошип; 7 – тяга; 8 рама; 9 – шибер

Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема делителя потока зерна с трехпозиционным управлением

Принцип действия делителя потока зерна следующий. В исходном положении грузовоспринимающие пружины 3 удерживают регулирующую емкость 1 в верхнем положении. При этом клапаны 4 размещены в отводах 2 горизонтально и перекрывают их живое сечение. По мере поступления зерна от перевалочного средства в регулирующую емкость 1 грузовоспринимающие пружины 3 растягиваются, регулирующая емкость 1 опускается вниз, а тяга 7 поворачивает кривошип 6 с валом 5, что обеспечивает увеличение живого сечения отводов 2. Расходные характеристики делителя по мере поворота валом 5 клапанов 4 до вертикального положения или любого промежуточного между горизонтальным и вертикальным положениями клапанов выравниваются с расходной характеристикой перевалочного средства. Процесс стабилизируется в некотором промежуточном положении регулирующей емкости между верхним и нижним уровнями, а зерно заполненным потоком истекает из отводов 2 и подается на два канала последующей очистки основными технологическими средствами. В уравновешенном состоянии регулирующей емкости, когда технологический процесс стабилизируется, уровень зерна по высоте, находящегося в ней, исключает сводообразование.

Отличительные особенности предложенного делителя потока зерна заключается в следующем. На регулирующей емкости отсутствуют направляющие. Это связано с тем, что при больших расходных характеристиках (120 т/ч) габариты регулирующей емкости значительные, поэтому смещение потока зерна от перевалочного средства может вызвать значительную асимметрию нагрузки, которая будет вызывать заклинивание регулирующей емкости 1 в направляющих. Другое конструктивное отличие заключается в наличии шиберов 9, которые обеспечивают трехпозиционное управление работы делителя потока зерна. Это также связано с большими технологическими возможностями зерноочистительного комплекса по производительности, которые не всегда могут быть сбалансированы с темпами уборки и перевозки зерна.

Базовые характеристики делителя потока зерна определены из условий обеспечения его технологической надежности во всем диапазоне расходных характеристик и качества двухканального деления потока зерна. Максимальная степень загрузки регулирующей емкости 1 не должна превышать 70%, что исключает пересыпание зерна через боковые стенки и сводообразование от распирающих воздействия на них.

При габаритах регулирующей емкости – l = 0,9 м, h = 0,6 м, b = 0,5 м и принятом значении коэффициента заполнения ($K_з$= 0,7) в регулирующую емкость поступит зерно от перевалочного средства, вес которого определится по формуле:

$$P = lhb\rho K_з q = 1482\ Н, \quad (1)$$

где ρ – насыпная плотность зерна (ρ= 0,8 т/м^3);

q – ускорение свободного падения, м/с^2.

Этот вес воспринимается грузовоспринимающей системой делителя потока зерна, когда пружины 3 максимально растянуты, а клапаны 4 полностью открыты и гарантируют пропускную способность, превышающую или равную возможностям перевалочного средства:

$$W_q \geq П_{max}, \quad (2)$$

где W_q– расходная характеристика делителя при вертикальном положении клапанов, кг/с;

$П_{max}$ – максимальная подача зерна перевалочным средством, кг/с.

При этом кривошип 6, пространственное положение которого определяется углом ± 45º относительно горизонтальной плоскости, проходящей через ось вала 5, поворачивается из нижнего в верхнее положение, а регулирующая емкость опускается на величину:

$$H = 2rSin45^o = 2\times0{,}12\times0{,}71 = 0{,}17\ м, \quad (3)$$

где r – радиус кривошипа (r= 0,12 м).

С учетом соотношения (3)число грузовоспринимающих пружин жесткостьюC = 1000 Н/м будет определяться по формуле:

$$N = P/CH = 1482/(1000\times0{,}17) = 8{,}4\ шт. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что размещение с двух сторон делителя потока зерна по четыре пружины жесткостьюC= 1000 Н/м обеспечит работоспособность делителя при некотором запасе управляющего воздействия, которая будет восприниматься ограничителем хода. На объекте внедрения использованы 16 пружин сC= 500 Н/м.

При технологически необходимой для зерноочистительной технологии фирм Perry и Fortschritt пропускной способности двухканального делителя потока зерна, равной 120 т/ч, диаметр отвода определялся по соотношениям:

$$\begin{cases} W_к = Sq_m K_{Пс} => S = W_к / q_m K_{Пс}; \\ D = 2\sqrt{S/\pi} = 0{,}305 м, \end{cases} \quad (5)$$

где $W_к$ – максимальная расходная характеристика одного канала (60 т/ч);,

S – площадь сечения отвода, м^2;

$K_{Пс}$ – коэффициент полезного использования площади сечения отвода ($K_{Пс}$ = 0,8);

q_m − плотность массового расхода зерна (пшеницы) через цилиндрические насадки, т/чм^2.

Предложенные для модернизации импортного зерноочистительного агрегата делители потока зерна с пружинной грузовоспринимающей системой обеспечивают достаточно высокий уровень качества процесса деления − отклонение расходов через каналы не превышает 1% от среднего значения. Входящие в комплект зернопроводов для зерноочистительных агрегатов тарельчатые и флажковые делители работают с разницей расходов до 600%.

На рисунке 3 показан общий вид трехканального делителя потока зерна с пружинной грузовоспринимающей системой, который используется для загрузки сушилки. Трехканальный делитель имеет большую массу, он уравновешивается 12 пружинами жесткостью 1000 Н/м – по 6 шт. с каждой стороны. Делитель используется при частичных значениях расходных характеристик.

Рисунок 3 – Общий вид трехканального делителя потока зерна

Равномерная загрузка колонок сушилки с использованием предложенного делителя потока зерна позволяет расширить вариативность включения подачи теплоносителя в сушилку и обеспечить более высокий уровень качества технологического процесса.

Заключение. Импортные и отечественные зерноочистительные технологии обладают конструктивными недостатками в части управления технологическим процессом. Из-за этого снижается технологическая надежность основного оборудования и эффективность его использования. Предложенные средства управления массовыми потоками зерна обеспечивают равномерную загрузку технологического оборудования, качественное управление режимами работы, что повышает эффективность их использования.

Список литературы

1. Тишанинов Н.П., Ветров В.А. Обоснование решений при реконструкции и модернизации зерноочистительных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1997. – № 9. – С. 6.

2. Тишанинов Н.П., Ветров В.А., Анашкин А.В. Вариантный метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 24-30.

3. Оробинский В.И., Шатохин И.В., Парфенов А.Г. Качественные показатели работы зерноочистительного агрегата // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 3(15). – С. 256-262.

4. Чернышов А.В., Оробинский В.И., Гиевский А.М., Баскаков И.В. Инновационные направления подготовки семян зерновых культур / В сборнике: Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности материалы международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения ВГАУ им. императора Петра I. – 2018. – С. 157-160.

5. Тарасенко А.П., Чернышов А.В., Баскаков И.В., Гиевский В.А. Пути совершенствования технологической линии зерноочистительного агрегата / В сборнике: Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения материалы международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 415-420.

6. Оробинский В.И., Тарасенко А.П., Чернышов А.В., Буравлев Н.Е., Харитонов М.К. Оценка качества очистки зерна на семяочистительной линии фирмы LMC // Вестник ВГАУ. – 2015. – № 4 (47). – С. 93-97.

7. Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Гиевский А.М., Сундеев А.А. Качественные показатели работы семяочистительного завода «Petkus» // Вестник ВГАУ. – 2009. – № 2. – С. 34-38.

8. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Новые резервы управления качеством очистки зерна / В сборнике: Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве // Материалы Международной научно-технической конференции: в 3-х томах. – 2014. – С. 266-272.

9. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Модернизация технологий подработки зерна на базе средств управления массовыми потоками // Наука в центральной России. – 2014. – № 2 (8). – С. 35-41.

10. Комплексные решения для очистки, сушки и хранения зерна. АгроТехХолдинг [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://agrotehholding.ru/.

References

1. Tishaninov N.P., Vetrov V.A. Obosnovanie reshenij pri rekonstrukcii i modernizacii zernoochistitel'nyh agregatov // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 1997. – № 9. – S. 6.

2. Tishaninov N.P., Vetrov V.A., Anashkin A.V. Variantnyj metod ocenki effektivnosti ispol'zovaniya tekhnologij podrabotki zerna // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – № 1. – S. 24-30.

3. Orobinskij V.I., SHatohin I.V., Parfenov A.G. Kachestvennye pokazateli raboty zernoochistitel'nogo agregata // Lesotekhnicheskij zhurnal. – 2014. – № 3(15). – S. 256-262.

4. CHernyshov A.V., Orobinskij V.I., Gievskij A.M., Baskakov I.V. Innovacionnye napravleniya podgotovki semyan zernovyh kul'tur / V sbornike: Proizvodstvo i pererabotka sel'skohozyajstvennoj produkcii: menedzhment kachestva i bezopasnosti materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 25-letiyu fakul'teta tekhnologii i tovarovedeniya VGAU im. imperatora Petra I. – 2018. – S. 157-160.

5. Tarasenko A.P., CHernyshov A.V., Baskakov I.V., Gievskij V.A. Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskoj linii zernoochistitel'nogo agregata / V sbornike: Nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ih resheniya materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – 2018. – S. 415-420.

6. Orobinskij V.I., Tarasenko A.P., CHernyshov A.V., Buravlev N.E., Haritonov M.K. Ocenka kachestva ochistki zerna na semyaochistitel'noj linii firmy LMC // Vestnik VGAU. – 2015. – № 4 (47). – S. 93-97.

7. Tarasenko A.P., Orobinskij V.I., Gievskij A.M., Sundeev A.A. Kachestvennye pokazateli raboty semyaochistitel'nogo zavoda «Petkus» // Vestnik VGAU. – 2009. – № 2. – S. 34-38.

8. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Novye rezervy upravleniya kachestvom ochistki zerna / V sbornike: Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii: v 3-h tomah. – 2014. – S. 266-272.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Modernizaciya tekhnologij podrabotki zerna na baze sredstv upravleniya massovymi potokami // Nauka v central'noj Rossii. – 2014. – № 2 (8). – S. 35-41.

10. Kompleksnye resheniya dlya ochistki, sushki i hraneniya zerna. AgroTekhKHolding [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: http://agrotehholding.ru/.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail:vniitinlab5@mail.ru.

Анашкин Александр Витальевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: av-anashkin@mail.ru

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail:vniitinlab5@mail.ru.

Anashkin Alexander – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: av-anashkin@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 25.06.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.07.2019

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-19-26

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ЗЕРНОВОГО СЛОЯ В ОВСЮЖНОМ ТРИЕРЕ НА ОСТАТОЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДЛИННЫХ ПРИМЕСЕЙ

[1]Тишанинов Николай Петрович
[1]Анашкин Александр Витальевич
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Известно, что на качество процесса очистки зерносмесей от длинных примесей с помощью ячеистых поверхностей существенное влияние оказывает величина загрузки зерна в ячеистый цилиндр при прочих равных условиях. Проведены экспериментальные исследования закономерностей изменения содержания длинных примесей в очищенном зерне во время протекания процесса триерной очистки. Скорость вращения ячеистого цилиндра составляла 30-45 об/мин, масса загружаемой зерносмеси 4,9-7,7 кг, засоренность исследуемой зерносмеси находилась в пределах 1-3%, угловое положение выводного лотка изменялось в диапазоне 10-40°. Установлены закономерности изменения содержания частиц длинных примесей в навесках очищенного зерна от числа слоев в циркулирующем сегменте в соответствующем интервале времени замеров. В начале протекания процесса, при изменении числа слоев в сегменте от 11,3-11,6 до 2,33-2,4 шт., значения интервальной засоренности минимальны. Далее, при отсутствии полноценного циркулирующего сегмента, происходит многократное увеличение содержания длинных частиц в выделяемых навесках и неуклонный рост остаточной засоренности выделенного зерна. Установлено, что увеличение угла γ_n отклонения от горизонтали верхней кромки передней стенки выводного лотка с 10° до 40° приводит к существенному отсечению факела выброса зерновок основной культуры и частиц длинных примесей, что приводит к существенному снижению интенсивности отвода захваченных частиц. Переходный интервал смещается с 5-го на 8-ой интервал замеров. Процесс растягивается во времени, что эквивалентно увеличению длины зернового клина внутри ячеистого цилиндра стандартного овсюжного триера. При этом существенно повышается качество процесса триерной очистки зерна по показателю остаточного содержания длинных примесей.*

Ключевые слова: *овсюжный триер, зерно, длинные примеси, остаточная засоренность, высота зернового слоя.*

EFFECT OF HEIGHT OF GRAIN LAYER IN A CELLULAR CYLINDER ON THE RESIDUAL CONTENT OF LONG IMPURITIES

[1]Tishaninov Nikolai
[1]Anashkin Alexander
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. It is known that the quality of the process of cleaning the grain from long impurities using cellular surfaces is significantly affected by the amount of grain loading in a cellular cylinder, all other conditions being equal. Experimental studies of the regularities of changes in the content of long impurities in the purified grain during the cleaning process from long impurities have been carried out. The rotational speed of the cellular cylinder was 30-45 rpm, the mass of the loaded grain was 4.9-7.7 kg, the contamination of the investigated grain was within 1-3%, and the angular position of the output tray was changed in the range of 10-40 °. The regularities of changes in the content of particles of long impurities in the weights of the purified grain from the number of layers in the circulating segment in the corresponding time interval of measurements are established. At the beginning of the process, when the number of layers in the segment changes from 11.3-11.6 to 2.33-2.4 pieces, the interval clogging values are minimal. Further, in the absence of a full-fledged circulating segment, there is a manifold increase in the content of long particles in the isolated portions and a steady increase in the residual contamination of

the selected grain. It has been established that increasing the angle γn of the deviation from the horizontal of the upper edge of the front wall of the exit tray from 10 ° to 40 ° leads to a significant decrease in the plume of the ejection of particles of the main culture and particles of long impurities, which leads to a significant decrease in the intensity of removal of trapped particles. The transition interval is shifted from the 5th to the 8th measurement interval. The process stretches in time, which is equivalent to an increase in the length of the grain wedge inside the cellular cylinder of a standard cylinder. This significantly improves the quality of the process of cleaning grain in terms of the residual content of long impurities.

Keywords: cylinder for cleaning from long impurities, grain, long impurities, residual contamination, height of the grain layer.

Введение. Из литературных источников известно, что количество зерна внутри ячеистого цилиндра в процессе его работы оказывает существенное влияние на качественные показатели триерной очистки зерна, как от длинных, так и от коротких примесей [1 – 3]. Для наибольшей полноты выделения коротких примесей, особенно склонных к «всплытию» в процессе динамической сегрегации зерносмесей, высоту слоя необходимо снижать. При работе овсюжного триера наличие свободной ячеистой поверхности приводит к захвату ячеями длинных примесей и увеличению показателя остаточной засоренности очищенного зерна [4 – 6]. При повышенной загрузке овсюжного триера можно достичь высокого качества очистки, но будут иметь место потери зерна основной культуры в отходы. Информация о закономерностях изменения качественных показателей триерной очистки зерна от длинных примесей во взаимосвязи с высотой слоя зерна, позволивших бы управлять качеством процесса, отсутствует. В связи с этим необходимы исследования, направленные на установление взаимосвязей высоты сегмента зерносмеси внутри овсюжного триерного цилиндра и остаточного содержания длинных примесей в очищенном зерне при разных настроечных параметрах и режимах работы триера.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились с помощью разработанного нами стенда для исследований процессов разделения зерна основной культуры и длинных примесей овсюжной ячеистой поверхностью [7 – 9]. В качестве основной культуры была использована пшеница, в качестве длинной примеси – овсюг. Скорость вращения ячеистого цилиндра (n) диаметром 0,6 м длиной 0,35 м варьировалась в диапазоне 30-45 об/мин. Загрузка цилиндра ($m_н$) зерносмесью составляла 4,9-7,7 кг. Исходная засоренность ($З_и$) зерносмеси составляла 1-3%. Угловое положение верхней кромки передней стенки выводного лотка относительно горизонта (γ_n) изменялось от 10 до 40º.

Все примесные частицы (зерновки овсюга) превышали по длине размеры ячей. Средняя длина примесных частиц составляла 12,54 мм, масса 1000 зерновок овсюга равнялась 25,2 г, масса 1000 зерновок основной культуры составляла 44,3 г, влажность пшеницы – 13,7 %, влажность овсюга − 14,3 %.

Эксперимент проводился в следующей последовательности. Устанавливались необходимые режимы и параметры стенда. В ячеистый цилиндр загружалась подготовленная навеска зерносмеси, включался электропривод. Захваченные ячеями частицы, попадая в выводной лоток, выгружались в приемные емкости, сменяемые через равные промежутки времени. Интервалы времени замеров в зависимости от скоростного режима и углового положения лотка изменялись от 6 до 10 с.

После проведения опыта навески выделенных компонентов взвешивались, подсчитывалось количество частиц длинной примеси в навесках, определялось содержание примеси в навесках и остаточная засоренность очищенного зерна.

Результаты и их обсуждение. При загрузке ячеистого цилиндра стенда $m_н$ = 4,9 кг и скоростном режиме n = 30 об/мин угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка составлял 10° относительно горизонтальной плоскости, что на 7° превышало положение верхней границы циркулирующего сегмента зерносмеси. Исходная засоренность $З_и$ пшеницы составляла 1%, а радиальный зазор $З_р$ между верхней кромкой передней стенки выводного лотка и внутренней поверхностью ячеистого барабана – 20 мм.

При указанных параметрах стенда и режиме работы скорость осевого смещения составляет 2,18 см/с. При этой скорости сегмент проходит длину стандартного ячеистого цилиндра за $t_ц$= 103,2 с, а эквивалентная подача составляет $W_э$ = 1,17 т/ч. При интервале измерений 7 с выделено 15 навесок за время, превышающее время прохождения сегмента в стандартном ячеистом цилиндре.

Впервые установлена закономерность изменения интервальной засоренности $З_i$ (содержания длинной примеси в выделенных навесках) от параметров циркулирующего сегмента зерносмеси в соответствующий интервал времени замеров. Наиболее информативным показателем, характеризующим высоту сегмента и учитывающим размеры частиц зерносмеси, является число слоев в циркулирующем сегменте, рисунок 1.

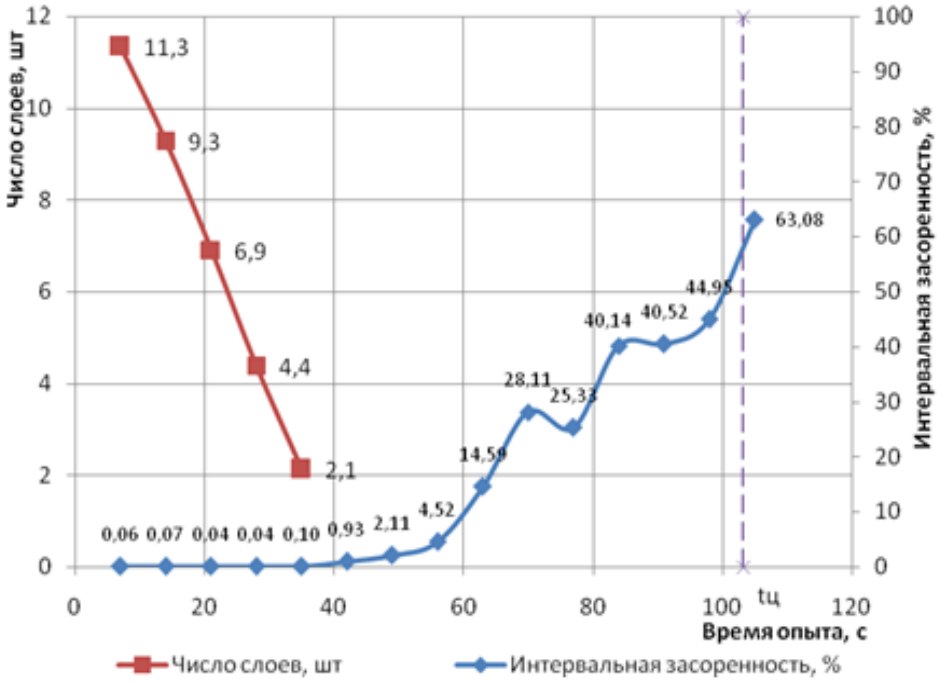


Рисунок 1 – Влияние числа слоев сегмента (высоты) на засоренность выделенных навесок при: $m_н$= 4,9 кг; n= 30 об/мин; $\gamma_п$=10°;$З_и$ = 1%; $З_р$= 20 мм

В первых 4-х интервалах времени замеров масса выделенных навесок $m_н$ составляла 910-1120 г, число слоев в циркулирующем сегменте, рассчитанное по установленным нами зависимостям [10] на середину интервала изменялось от 11,3 до 4,4 шт., высота сегмента (h_c) при этом уменьшилась от 36 до 14 мм. Интервальная засоренность находится в пределах 0,04-0,07%, что свидетельствует о высоком качестве процесса очистки, остаточная засоренность зерна, выделенного за первые 4 интервала, составляет 0,05%.

В 5-ом интервале число слоев составило 2,1 шт., высота сегмента 6,7 мм, а интервальная засоренность увеличилась вдвое – до 0,1%. На середину 5-го интервала масса зерносмеси в цилиндре составляла 439 г, а на конец интервала только 109 г, что меньше минимальной массы, необходимой для формирования циркулирующего сегмента [10]. То есть часть времени интервала процесс протекал в условиях отсутствия полноценного сегмента зерносмеси при хаотическом движении частиц основной культуры и длинной примеси по внутренней поверхности ячеистого цилиндра. Этим объясняется существенное увеличение засоренности навески, выделенной в 5-ом интервале. Такие интервалы далее будем называть переходными.

В последующих интервалах (с 6 по 15) масса выделенных навесок существенно уменьшилась и изменялась от 101,5 до 0,88 г. Соответственно многократно возросла интервальная засоренность – в 15-ом интервале до 63,08%, что в 1577 раз больше, чем $З_i$ в 4-ом интервале времени замеров. При этом неуклонно возрастает после каждого интервала остаточная засоренность ($З_{осmi}$) зерна, выделенного за интервалы с 1-го по *i*-ый, рисунок 2.

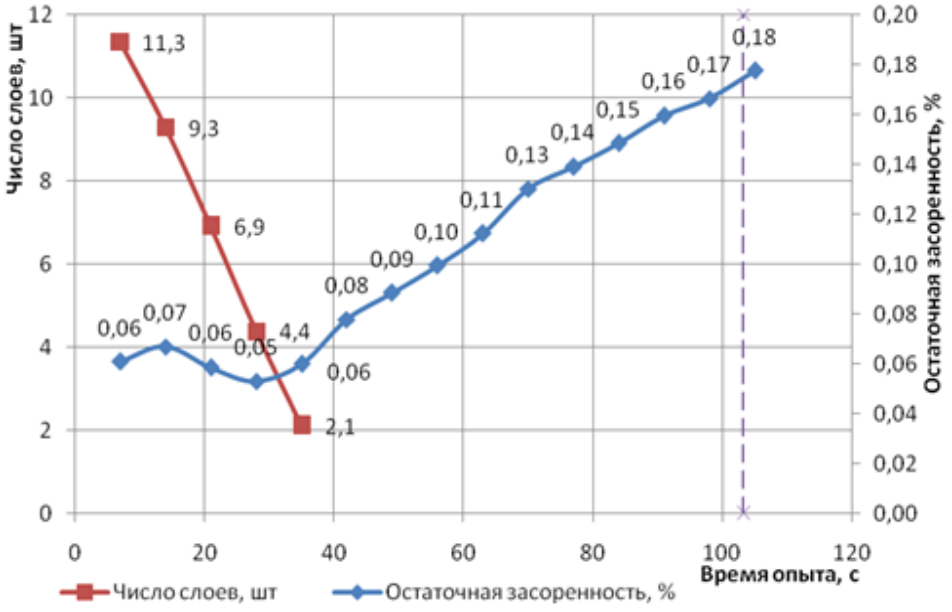


Рисунок 2 – Изменение остаточной засоренности выделенного зерна во времени протекания процесса при: $m_н$= 4,9 кг; n= 30 об/мин; $\gamma_п$=10°; $З_и$ = 1%; $З_р$= 20 мм

Из рисунка 2 видно, что при отсутствии внутри ячеистого цилиндра полноценного зернового сегмента, один из важнейших показателей качества процесса триерной очистки ($З_{ост}$) ухудшается. К 15 интервалу, что близко по времени процесса к прохождению сегментом стандартного ячеистого цилиндра, остаточная засоренность достигла 0,18%, что в 3,6 раза больше чем после 4-го интервала.

Если остановить процесс после 4-го интервала, когда наилучшее значение показателя остаточной засоренности, то предполагаемые потери зерна основной культуры составляют 14,74%, что недопустимо. После 5-го интервала потери составляют 1,28%, после чего они снижаются и к 15-му интервалу потерь не наблюдается. Таким образом, появляется новый резерв обоснованного управления качеством триерной очистки на основе компромисса величины остаточной засоренности и потерь зерна в отходы.

Для обеспечения более высокого уровня качества технологического процесса необходимо увеличивать угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка и сокращать радиальный зазор между ней и внутренней поверхностью ячеистого цилиндра.

При увеличении угла подъема рабочей кромки выводного лотка до 15°, когда угловое расстояние между ней и верхней границей циркулирующего сегмента составило 12°, остаточная засоренность снизилась только на 0,02 %. Появились потери зерновок основной культуры в размере 0,46%.

В первых интервалах времени замеров массы навесок снизились, что свидетельствует об отсечении нижних потоков факела выброса частиц передней стенкой лотка в незначительном размере. Поштучно число выделенных зерновок овсюга снизилось с 415 шт. до 386 шт., а остаточная засоренность – от 0,18% до 0,16%. Характер закономерности изменения интервальной засоренности с учетом числа слоев $n_{сл}$ в циркулирующем сегменте сохранился, рисунок 3.

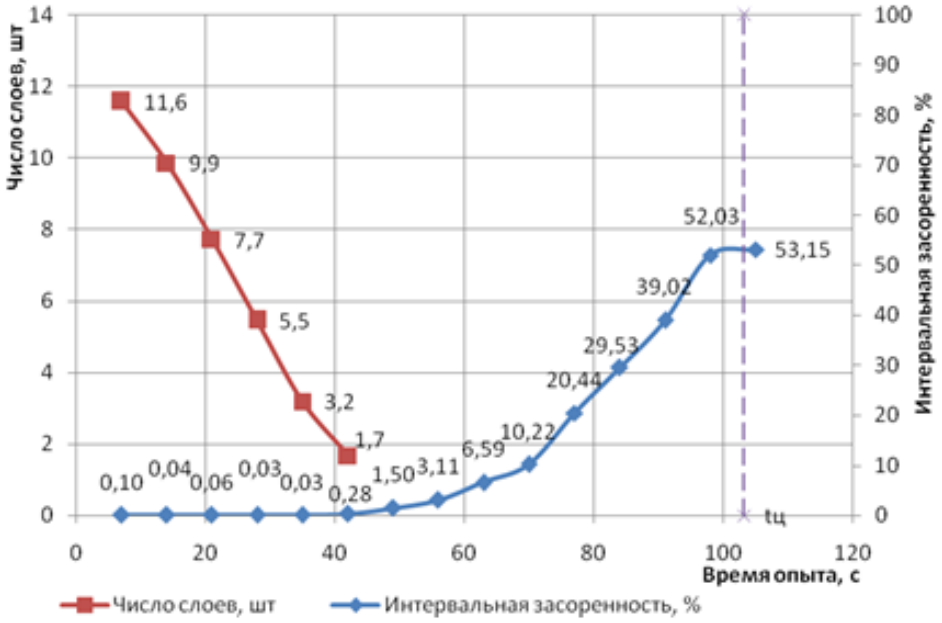


Рисунок 3 – Влияние числа слоев в сегменте на засоренность выделенных навесок при: $m_н$=4,9 кг; n=30 об/мин; $\gamma_п$= 15º; $З_и$=1%; $З_р$=20 мм

В первых 5-ти интервалах времени замеров опыта число слоев в сегменте составляло 11,6-3,2 шт., интервальная засоренность изменялась в пределах 0,03-0,10%. В следующем (переходном) интервале засоренность навески увеличилась на порядок – до 0,28%. К концу опыта она достигла 53,15%, что в 1772 раза больше, чем в 5-ом и в 189 раз больше, чем в переходном интервалах. В связи с этим неизбежно увеличение остаточной засоренности в 3,2 раза – с 0,05% после 5-го интервала до 0,16% после 15-го, рисунок 4.

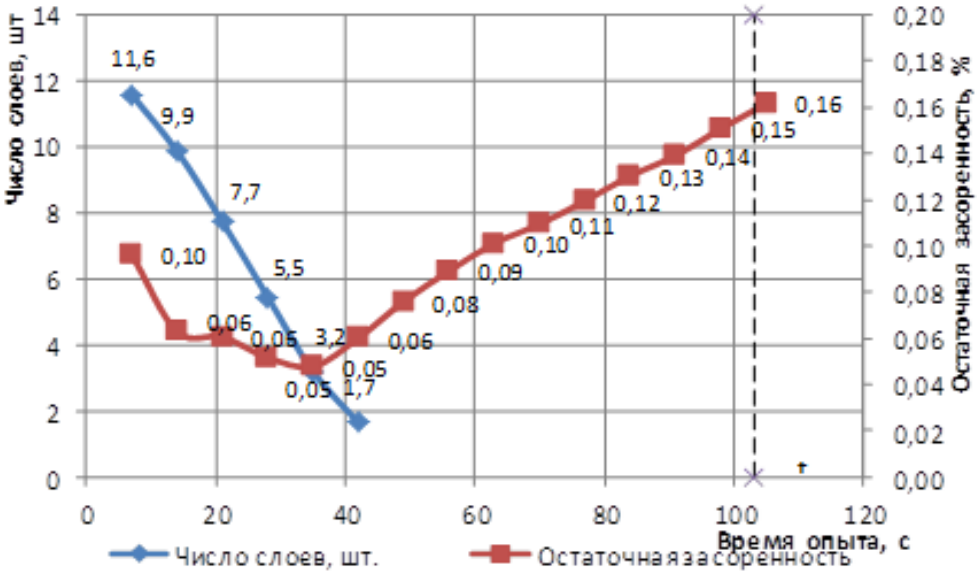


Рисунок 4 – Изменение остаточной засоренности выделенного зерна при: $m_н$=4,9 кг; n=30 об/мин; $\gamma_п$=15°; $З_и$=1%; $З_р$=20 мм

Увеличение γ_n до 30° приводит к существенному отсечению факела выброса зерновок основной культуры и примесных частиц. Если принять во внимание, что при γ_n = 10° обеспечивается полный отвод факела выброса компонентов зерносмесей, то увеличение γ_n до 30° приводит к отсечению факела по расходным характеристикам на 35 % с оценкой этого соотношения по первым 4-м интервалам времени замеров – с самой высокой интенсивностью отвода зерновок основной культуры.

Уровень остаточной засоренности зерна снизился до 0,08% при исходной засоренности в 1%. Переходный интервал переместился с 6-го на 8-й. Остаточная засоренность выделенной на этот момент пшеницы составила 0,03%, что в 3 раза меньше, чем в конце опыта.

Существенно снизилась интервальная засоренность, особенно после переходного интервала. В конце опыта $З_i$ составила 15,4%, что в 3,45 раза меньше, чем сопоставимый показатель при γ_n=10°.

При увеличении скоростного режима до 35 об/мин и величине загрузки стенда 4,9 кг обеспечивается эквивалентная расходная характеристика стандартного триера на уровне 1,36 т/ч, скорость осевого перемещения сегмента зерносмеси составляет 2,54 см/с время прохождения сегментом всей длины стандартного ячеистого цилиндра – 88,6 с, число циркулирующих слоев на начало опыта – 12,5 шт. Остаточная засоренность зерна сохранилась на одном уровне. Она составила 0,136 %, а при γ_n = 20° и n= 30 об/мин –0,14%. Интервальная засоренность еще уменьшилась: для 15-го интервала она составила 10,86%.

Увеличение γ_n до 40° привело к снижению интенсивности выделения зерновок основной культуры на начальных интервалах времени на 19-23%, процесс сместился в сторону увеличения продолжительности по сопоставимым величинам степени выделения основной культуры.

С увеличением γ_n от 30° до 40° в большей степени стали различаться начальные этапы процесса с заключительными по интенсивности выброса примеси в лоток. При γ_n = 30° на начальных интервалах времени протекания процесса выброс примесных частиц в сравнении с заключительными промежутками времени был ниже лишь на 27%, а при γ_n= 40° − в 4 раза.

Существенно снизились значения интервальной засоренности $З_i$ на протяжении всего времени опыта, рисунок 5.

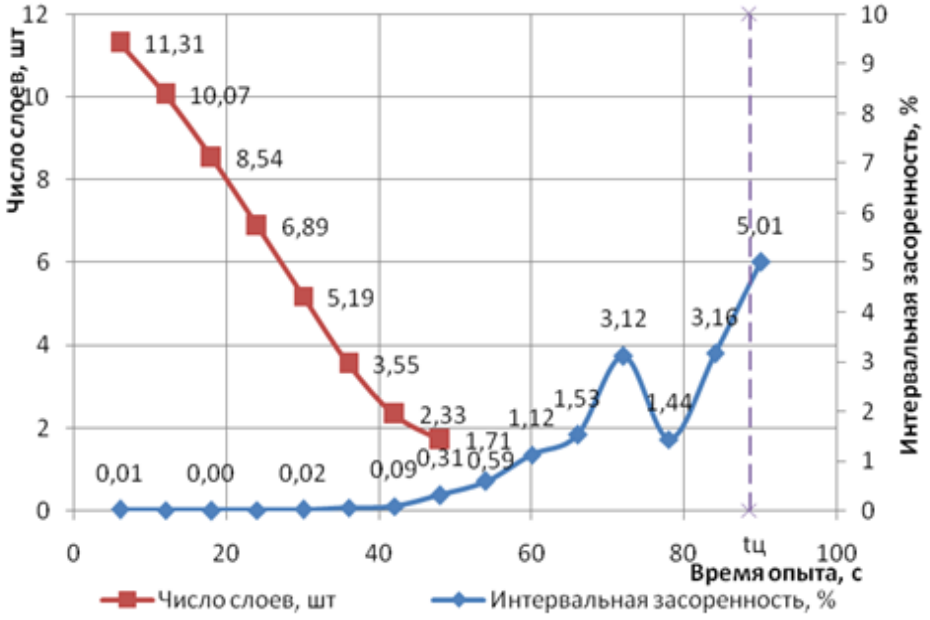


Рисунок 5 – Изменение содержания овсюга в навесках с учетом числа слоев в сегменте при: $m_н$=4,9 кг; n=35 об/мин; γ_n=40^0; $З_и$=1%; $З_р$=20 мм

В первых 4-х навесках при изменении числа слоев в циркулирующем сегменте от 11,3 до 6,9 шт. $З_i$ находится в пределах 0,003 - 0,02 %. В переходном интервале при числе слоев равном 1,71 $З_i$ увеличилась на порядок и составило 0,31 %. После чего интервальная засоренность увеличивалась относительно невысоким темпом и после 15-го интервала $З_i$ составила 5,01%, что примерно вдвое меньше, чем в опытах при γ_n = 20-30^0. В связи с этим получены существенно

меньшие значения остаточной засоренности на протяжении всех интервалов замера времени в опыте. По окончании опыта величина остаточной засоренности составила 0,06%.

Заключение. В результате экспериментальных исследований процесса триерной очистки пшеницы от овсюга установлена явно выраженная закономерность содержания длинных примесей в выделенных навесках очищенного зерна от числа слоев в циркулирующем сегменте. При высоте сегмента, содержащем более 2,33-4,4 слоев величина интервальной засоренности минимальна и находится на одном уровне. В переходном интервале и далее, когда процесс протекает в условиях отсутствия полноценного циркулирующего сегмента, интервальная засоренность увеличивается многократно, что приводит к неуклонному росту остаточной засоренности общей массы выделенного зерна. Установленные закономерности позволяют ставить и успешно решать задачи осмысленного управления качеством технологического процесса очистки зерна от длинных примесей на основе компромисса между величиной остаточной засоренности очищенного материала и возможными потерями полноценного зерна в отходы.

Список литературы

1. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. – М.: Л.: Сельхозгиз. 1955. – 856 с.

2. Урханов Н.А. Интенсификация технологического процесса очистки зерна от примесей по их длине: дис. … доктора техн. наук: 05.20.01. – Улан-Удэ. – 1998. – 472 с.

3. Ивлиева Н.М. Исследование влияния нагрузки цилиндра и угла его наклона к горизонту на производительность и качество работы цилиндрического триера: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Челябинск. – 1952.

4. Сепараторы триерные серии СТ. Руководство по эксплуатации Воронежсельмаш. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2 /Seporatory+ST/

5. Приставка триерная ПТ-600. Руководство по эксплуатации. Воронежсельмаш. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://vselmash.ru/images/content/pt600.pdf.

6. Блок триерный БТМ-800-8Б. Описание. Руководство по эксплуатации. Техника-Сервис. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.tese.ru/manual/btm_manual.pdf.

7. Пат. 2616201 Российская Федерация, МПК В 07 В 13/02. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ФГБНУ ВНИИТиН). – № 2016108182 заявл. 09.03.2016; опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11.

8. Пат. 2647526 Российская Федерация, МПК В 07 В 13/02, А 01 F 12/44. Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ФГБНУ ВНИИТиН). – № 2017114302; заявл. 24.04.2017; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.

9. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Стенд для выделения длинных примесей из зерносмесей // Наука в центральной России. − 2018. − № 4 (34). − С. 12-24.

10. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Исследование параметров зернового сегмента в овсюжном триерном цилиндре // Наука в центральной России. − 2019. − № 2 (38). − С. 23-28.

References

1. Letoshnev M.N. Sel'skohozyajstvennye mashiny, teoriya, raschet, proektirovanie i ispytanie. – M.: L.: Sel'hozgiz. 1955. – 856 s.

2. Urhanov N.A. Intensifikaciya tekhnologicheskogo processa ochistki zerna ot primesej po ih dline: dis. … doktora tekhn. nauk: 05.20.01. – Ulan-Ude. – 1998. – 472 s.

3. Ivlieva N.M. Issledovanie vliyaniya nagruzki cilindra i ugla ego naklona k gorizontu na proizvoditel'nost' i kachestvo raboty cilindricheskogo triera: dis. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – CHelyabinsk. – 1952.

4. Separatory triernye serii ST. Rukovodstvo po ekspluatacii Voronezhsel'mash. [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: http://vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2 /Seporatory+ST/

5. Pristavka triernaya PT-600. Rukovodstvo po ekspluatacii. Voronezhsel'mash. [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: http://vselmash.ru/images/content/pt600.pdf.

6. Blok triernyj BTM-800-8B. Opisanie. Rukovodstvo po ekspluatacii. Tekhnika-Servis. [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: http://www.tese.ru/manual/btm_manual.pdf.

7. Pat. 2616201 Rossijskaya Federaciya, MPK V 07 V 13/02. Stend dlya ispytanij yacheistyh poverhnostej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve (FGBNU VNIITiN). – № 2016108182 zayavl. 09.03.2016; opubl. 13.04.2017, Byul. № 11.

8. Pat. 2647526 Rossijskaya Federaciya, MPK V 07 V 13/02, A 01 F 12/44. Pribor dlya vydeleniya primesej iz zernosmesej / Tishaninov N.P., Anashkin A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve (FGBNU VNIITiN). – № 2017114302; zayavl. 24.04.2017; opubl. 16.03.2018, Byul. № 8.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Stend dlya vydeleniya dlinnyh primesej iz zernosmesej // Nauka v central'noj Rossii. − 2018. − № 4 (34). − S. 12-24.

10. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Issledovanie parametrov zernovogo segmenta v ovsyuzhnom triernom cilindre // Nauka v central'noj Rossii. − 2019. − № 2 (38). − S. 23-28.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail:vniitinlab5@mail.ru.

Анашкин Александр Витальевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: av-anashkin@mail.ru

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail:vniitinlab5@mail.ru.

Anashkin Alexander – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: av-anashkin@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 27.06.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.07.2019

УДК-537.811; 621.3.087.44
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-26-33

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

[1]Гордеев Александр Сергеевич
[1]Мишин Борис Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственныйаграрный университет»

Реферат. *Срез и выкопка плодовых растений всегда связаны с определенным процентом их повреждения из-за неточности позиционирования рабочего органа машин для промышленного садоводства. Разрабатывали систему позиционирования рабочих органов и растений. Использовали инструмент имитационного моделирования AnyLogic, который поддерживает все подходы к созданию моделей: дискретно-событийный, системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию. Изучали электромагнитное позиционирование. В качестве базовой метки использовали металлический проводник, установленный в корневой системе растения. Величина электромагнитного сигнала, излучаемого базовой меткой пропорциональна расстоянию от метки до приемных датчиков. Предложено использовать три приемных датчика на заданном расстоянии друг от друга. Разработана имитационная модель, которая позволяет на основании данных с приемных датчиков ориентировать рабочий орган относительно растения в автоматическом режиме. Для этого устанавливаются координаты базовой метки и рабочего органа. Предложены алгоритм и математическая модель ориентации рабочего органа относительно базовой метки, которые предполагают наличие трех приемных датчиков, блока генератора случайных величин для входных параметров. Представлена программа реализации алгоритма ориентации рабочего органа относительно корневой системы плодовых растений* в системе AnyLogic.

Ключевые слова*: позиционирование, сельское хозяйство, моделирование, системы управления, растения, рабочие органы.*

IMITATION MODEL OF ORIENTATION OF THE WORKING BODY ON THE ROOT SYSTEM OF FRUIT PLANTS

[1]***Gordeev Alexander***
[1]***Mishin Boris***

[1]*FSBEI HE "Michurinsky State University of Agriculture"*

Abstract. *The cutting and digging of fruit plants is always associated with a certain percentage of their damage due to inaccurate positioning of the working body of machines for industrial gardening. A system for positioning working organs and plants was developed. AnyLogic simulation tool was used, which supports all approaches to creating models: discrete-event, system-dynamic and agent, as well as any combination of them. Electromagnetic positioning was used. A metal conductor installed in the root system of the plant was used as a base label. The magnitude of the electromagnetic signal emitted by the base mark is proportional to the distance from the mark to the receiving sensors. It is proposed to use three receiving sensors at a given distance from each other. A simulation model that allows, based on data from the receiving sensors, to orient the working body relative to the plant in automatic mode, was developed. The coordinates of the base mark and the working body are set for this. An algorithm and a mathematical model of the orientation of the working body relative to the base label were proposed, which suggest the presence of three receiving sensors, a random generator unit for input parameters. A program for implementing the working body orientation algorithm relative to the root system of fruit plants in the AnyLogic system is presented.*

Keywords: *positioning, agriculture, modeling, control systems, plants, working organs.*

Введение. Для ориентации рабочих органов можно использовать различные технические решения: копирующие устройства [1], ультразвуковые устройства [2], ориентирование оператором [3]. Однако в подавляющем большинстве случаев ориентация происходит по косвенным признакам, которые к объекту имеют не самое прямое отношение. Например, рассмотрим ориентацию рабочего органа относительно корневой системы растения. Обычно при выкопке и срезе растений рабочий орган меняет свое местоположение в зависимости от рельефа почвы, но нельзя сказать, что корни находятся от поверхности почвы на каком-то определенном расстоянии. Поэтому срез и выкопка всегда связаны с определенным процентом повреждаемости растений. Этот процент связан с точностью позиционирования рабочего органа относительно растения.

Повышение точности позиционирования возможно благодаря смещению базы, от которой отсчитывается местоположение (поверхность почвы), как можно ближе к растению. Исходя из вышесказанного, дается вывод, что необходим источник сигнала, связанный с растением, который может генерировать сигнал о своем местоположении. Используем электромагнитное позиционирование, суть которого в следующем. Имеется генератор электромагнитного поля. В корневую систему растения помещен металлический проводник, который назовем базовой меткой. Генератор излучает в пространство электромагнитное поле заданной частоты. В базовой метке по закону электромагнитной индукции возникают токи той же частоты, какую излучает генератор. Метка становиться источником электромагнитного сигнала. Он фиксируется приемными датчиками. Величина сигнала пропорциональна расстоянию от метки до приемных датчиков.

Материалы и методы. Одним из этапов исследований по разработке системы позиционирования рабочих органов и растений является построение имитационной модели, позволяющей исследовать ее поведение во времени и ряд факторов, которые не были включены в математическую модель. Для этих целей выбран инструмент имитационного моделирования AnyLogic, который поддерживает все подходы к созданию моделей: дискретно-событийный, системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию [4].

Для определения координаты базовой метки предлагаем использовать три приемных датчика [5] расположенных на заданном расстоянии друг от друга. Каждый приемный датчик выдаёт в пространство сигнал соответствующий расстоянию от него до базовой метки. Таким образом, расстояние до базовой метки можно считать радиусами окружностей с центрами O_1, O_2, O_3. На основе алгоритма определения местоположения базовой метки имеем координаты растения $M(M_x,M_y)$ относительно приемных датчиков, которые соединены с рабочим органом. Для управления мало иметь только значения координаты растения, необходим также алгоритм смещения рабочего органа в плоскости до того момента, как будет достигнуто нужное местоположение относительно растения. В процессе работы система управления должна постоянно стремиться к тому, чтобы выполнялось равенство:

$$N\ (N_x,\ N_y) = M\ (M_x,\ M_y) \qquad (1)$$

N – точка с координатами (N_x, N_y), которая определяет ту позицию рабочего органа относительно растения, которая позволит качественно выполнять ту или иную технологическую операцию.

Рассмотрим блок-схему (рисунок 1), поясняющую задачу управления. На входе имеем значения сигналов с приемных датчиков O_1,O_2,O_3, которые определяют координаты базовой метки. Приемные датчики связаны с рабочим органом и перемещаются вместе с ним. На выходе алгоритма имеем координату базовой метки M(M_x, M_y), которая в свою очередь поступает на вход системы управления рабочим органом.

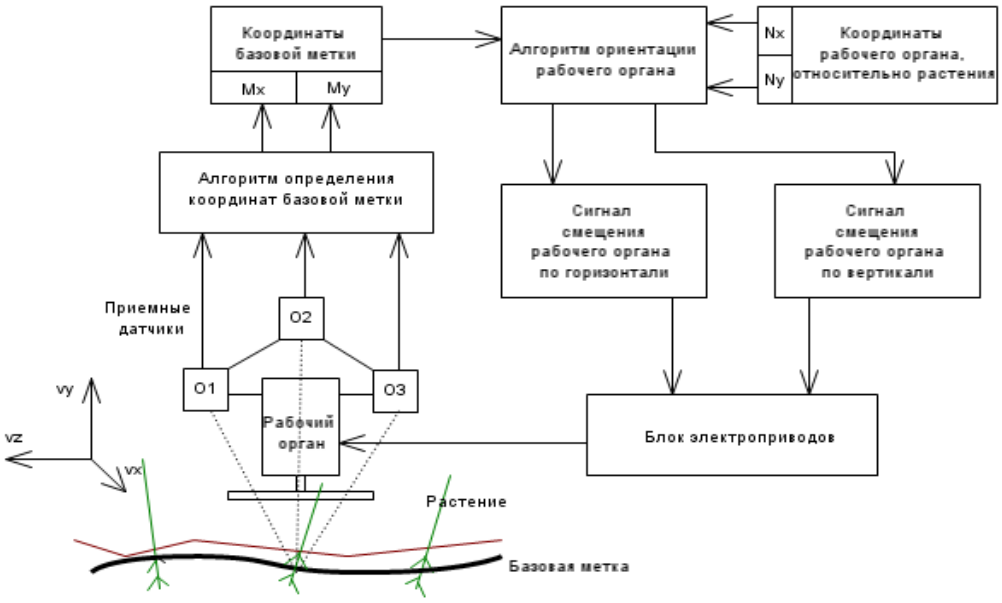


Рисунок 1 – Схема управление рабочим органом относительно базовой метки

Для управления, наряду с координатой метки, нужна координата позиции рабочего органа N(N_x, N_y) относительно растения, к которой он будет постоянно стремиться. После того, как система управления рассчитает траекторию следования рабочего органа, на блок электроприводов подаются соответствующие управляющие сигналы, для смещения рабочего органа по горизонтали и вертикали. В каждый момент времени после смещения Δx по оси X, Δy по оси Y, обратная связь через блок приемных датчиков возвращает данные о расположении рабочего органа относительно координаты N (N_x,N_y). Смещение происходит до тех пор, пока не выполнится равенство (1).

Алгоритм ориентации рабочего органа относительно базовой метки, представленный на рисунке 2. После начала выполнения модели (блок 1),устанавливаем время моделирования t_m (блок 2) и задаем координаты рабочего органа (блок 3). В блоке 4 осуществляется вход в бесконечный цикл, в котором последовательно выполняются два цикла: в первом выполняется алгоритм определения координат базовой метки (блок 5), во втором - алгоритм ориентации рабочего органа относительно базовой метки (блок 10). После того, как произошел вход в первый цикл (блок 5) по формулам (1)-(9), приведенным в [5], рассчитываются координаты базовой метки. Если координаты не рассчитаны (блок 9), то начинаем цикл заново (блок 5). Если координаты рассчитаны (блок7), то выводим эти значения (блок 8) и выводим из цикла. Далее следует второй цикл (блок 10), в котором проверяется равенство (17) (блок 11). Если оно выполняется, то выходим из цикла (блок 12) и начинаем расчет заново (блок 4), так как рабочий орган находиться в нужной позиции относительно базовой метки. Если (17) не выполняется, то проверяем, где находиться рабочий орган относительно базовой метки (блок 13). Если он находиться правее, то смещаем координату рабочего органа по оси X влево (блок 14). Иначе смещаем координату рабочего органа по оси X вправо (блок 16). Далее проверяем расположение рабочего органа по вертикали. Если он выше метки (блок 18), то смещаем вниз (блок 19), если ниже (блок 20) - смещаем вверх (блок 21). Изменение положения рабочего органа выводим в графическое окно (блок 23) и начинаем алгоритм сначала (блок 4), пока не закончится время моделирования (блок 24).

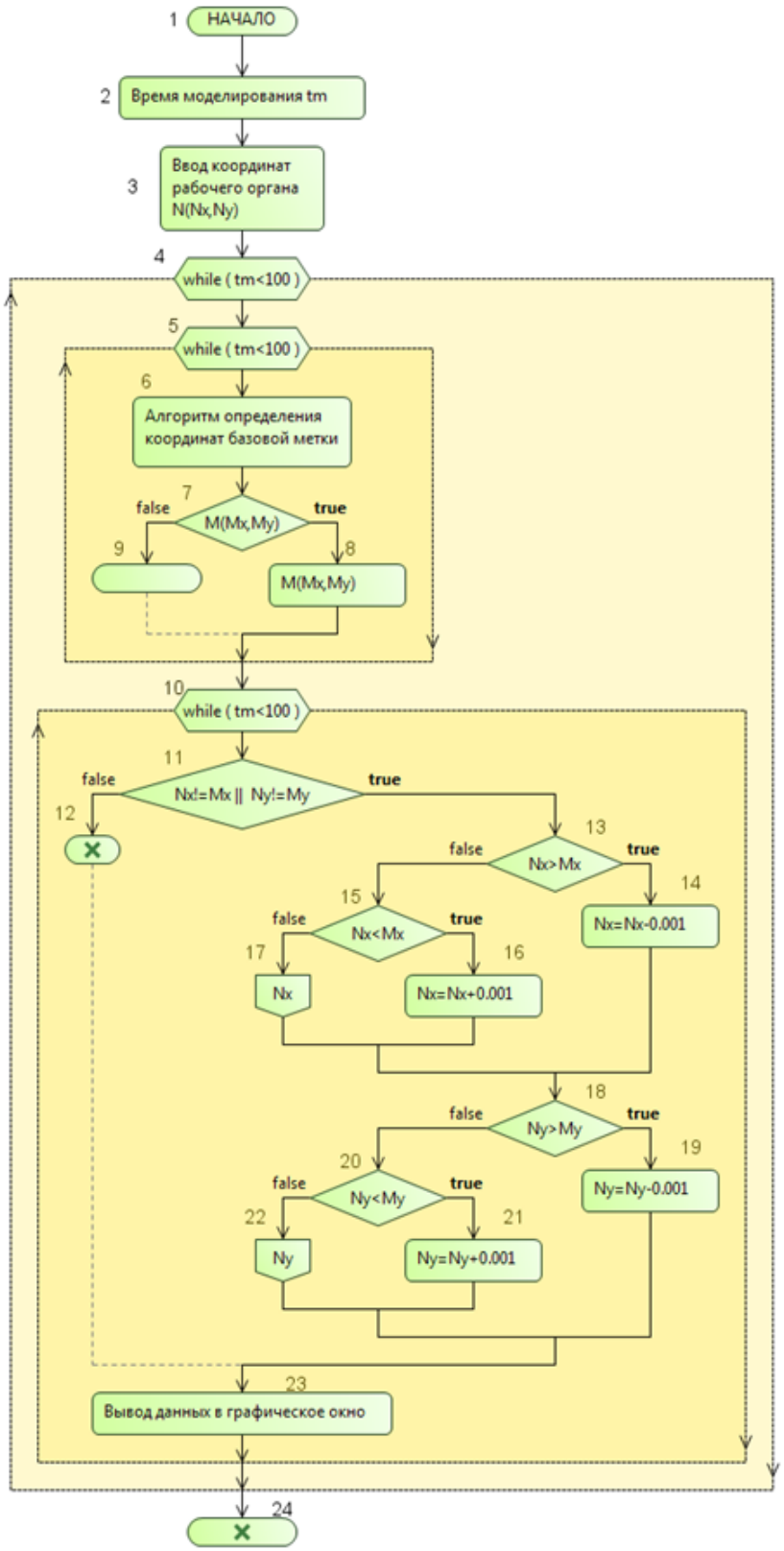


Рисунок 2 - Алгоритм ориентации рабочего органа относительно базовой метки

Имитационная модель системы управления рабочим органом относительно корневой системы плодовых растений (рисунок 3) состоит из двух основных блоков. Первый блок рассчитывает координаты базовой метки по приходу сигнала с элемента управления кнопка 1 «Расчет координат», который изменяет выход логической переменной «Расчет_точек_пересечения» на true. После этого выполняется алгоритм определения координат базовой метки. Как только они рассчитаны, происходит ожидание сигнала, который запускает выполнение алгоритма ориентации рабочего органа относительно базовой метки. Запуск происходит по приходу сигнала с элемента управления кнопка 2 «Ориентировать ИП», который изменяет выход логической переменной " Ориентация_ИП" на true, а логическую переменную «Расчет_точек_пересечения» на false. Все изменения можно наблюдать в графическом окне. Выведены параметры расстояний от приемных датчиков до базовой метки, а также координаты расположения приемных датчиков, которые связаны с рабочим органом. В процессе ориентации рабочий орган стремиться занять положение, которое характеризуется уравнением (1).

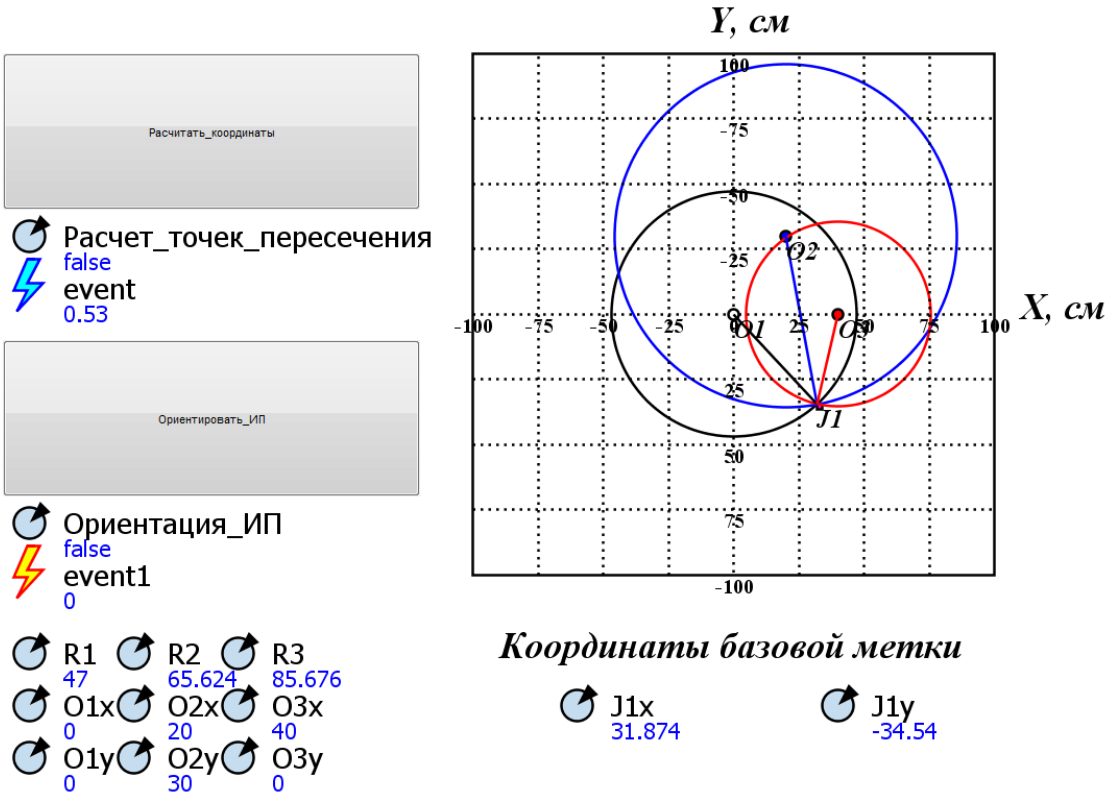


Рисунок 3 – Имитационная модель системы управления рабочим органом относительно корневой системы плодовых растений

Программная реализация алгоритма ориентации рабочего органа на языке Java в AnyLogic:

```
//если координаты базовой метки рассчитаны, то
if(Ориентация_ИП==true){
//проверка соотношений расположения приемных датчиков относительно базовой метки по оси X
if(O1x!=Mx-Nx){
    if(O1x<J1x-Nx){
        O1x=O1x+0.001;}
    else if(O1x>Mx-Nx){
        O1x=O1x-0.001;}
```

```
        O2x=O1x+20;    O3x=O1x+40;}
    //проверка соотношений расположения приемных датчиков относительно базовой метки по оси Y
    if(O1y!= My+Ny){
        if(O1y<My+Ny){
                O1y=O1y+0.001;}
        else if(O1y>My+Ny){
                O1y=O1y-0.001;}
        O2y=O1y+30;    O3y=O1y;}
    //рассчитываем расстояния до базовой метки после смещения рабочего органа
    R1=sqrt(pow(O1x-J1x,2)+pow(O1y-J1y,2));
    R2=sqrt(pow(O2x-J1x,2)+pow(O2y-J1y,2));
    R3=sqrt(pow(O3x-J1x,2)+pow(O3y-J1y,2));
    }
    //если Mx=Nx и My+Ny, то завершаем ориентацию
    if(abs(O1x-(Mx-Nx))<=0.001 && abs(O1y-(My+Ny))<=0.001){
    Ориентация_ИП=false;Расчет_точек_пересечения=true;}
```

Рабочий орган перемещается в пространстве. По оси Z перемещение осуществляется сельскохозяйственной машиной вдоль ряда растений со скоростью v_z. Перемещение по осям X и Y осуществляется со скоростями v_x и v_y. Немаловажной величиной является расстояние, пройденное по ряду растений s_z между началом и концом алгоритма расчета координат базовой метки, т.к. в это время система управления будет ожидать сигналы включения исполнительных приводов. Поэтому рабочий орган на s_z не меняет своего положения. Расстояние, пройденное по ряду растений между началом и концом алгоритма расчета координат базовой метки:

$$s_z = v_z * t_z,$$

где v_z – скорость сельскохозяйственной машины, t_z – время отработки.

Наряду с расстоянием, пройденным по ряду растений s_z между началом и концом алгоритма расчета координат базовой метки, важно знать расстояние s, на протяжении которого выполняется ориентации рабочего органа относительно базовой метки:

$$s = v_z * t_{xy},$$

где t_{xy}- время ориентации рабочего органа относительно базовой метки.

Время t_{xy} зависит от координаты базовой метки $M(M_x, M_y)$, координат рабочего органа относительно приемных датчиков $N(N_x, N_y)$, скорости перемещения рабочего органа в плоскости XY. Расстояние s_{xy} от $N(N_x, N_y)$ до $M(M_x, M_y)$ найдем по формуле:

$$s_{xy} = \sqrt{(\mathrm{N_x} - \mathrm{M_x})^2 + (\mathrm{N_y} - \mathrm{M_y})^2}.$$

Соответственно t_{xy} будет равно:

$$t_{xy} = \frac{s_{xy}}{v_{xy}}.$$

Поэтому общее время, за которое рабочий орган перемесится в нужную позицию относительно базовой метки равно:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{абм}} + t_{\text{ор}}.$$

Расстояние, пройденное за время выполнения алгоритма определения базовой метки и алгоритма ориентации рабочего органа относительно базовой метки равно:

$$s_{\text{общ}} = s_z + s = v_z * (t_z + t_{xy}).$$

Чем меньше $s_{\text{общ}}$, тем выше точность ориентации, т.к. именно на нем может резко меняться расположение корневой системы.

Результаты и обсуждение. На рисунке 4 представлены результаты моделирования процесса позиционирования рабочего органа сельскохозяйственной машины относительно токонесущего проводника. На первой диаграмме представлены временные характеристики ориентации рабочего органа относительно корневой системы растения. Можно сделать вывод, что с повышением

скорости движения транспортного средства и сохранения остальных параметров моделирования учитываются не все изменения расположения корневой системы. На втором графике представлена зависимость времени позиции рабочим органом ко времени моделирования. Можно сделать вывод, что при заданных параметрах моделирования половину всего времени занимает ориентация рабочего органа. На третьем графике представлены две зависимости. Первая это зависимость отклонения координаты базовой метки от времени моделирования. Вторая это зависимость координаты рабочего органа от модельного времени. Судя по графику можно сделать вывод, что траектория рабочего органа представляет собой сглаженную кривую, которая учитывает расположение корневой системы растения.

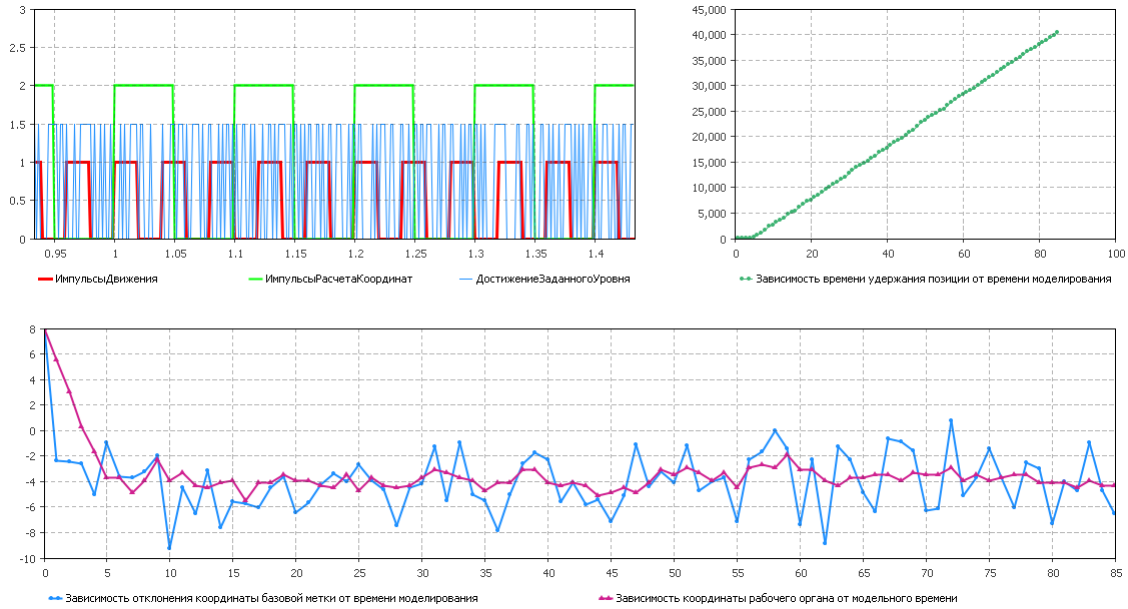


Рисунок 4 – Результаты моделирования процесса позиционирования рабочего органа сельскохозяйственной машины относительно токонесущего проводника

Заключение. Предложена имитационная модель ориентации рабочего органа относительно корневой системы плодовых растений, для которой разработаны алгоритм и программное обеспечение в системе AnyLogic, позволяющие исследовать процесс движения последнего к базовой метке, сочлененной с растением. Данная модель планируется к использованию в системе управления рабочим органом для выкопки и среза растений.

Список литературы

1. Завражнов А.А., Завражнов А.И., Манаенков К.А., Ланцев В.Ю. Машинные технологии для интенсивного садоводства // Информационный бюллетень Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. 2011 – № 8 – С. 33.

2. Решения для точного земледелия от «АГРИ 2.0» [Офиц. сайт]. URL: www.agri2.com

3. Гордеев А.С., Мишин Б.С. Система автоматического позиционирования рабочего органа для отделения отводков // Материалы научно-практической конференции в рамках 11-ой Всероссийской выставки «День садовода-2016», 7 сентября 2017 г.

4. Гордеев А.С. Моделирование в агроинженерии.: СПб.: Лань, 2014. 384с.

5. Мишин Б.С. Математическая модель // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2017. – №4 –С.121-126.

References

1. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Manaenkov K.A., Lancev V.YU. Mashinnye tekhnologii dlya intensivnogo sadovodstva // Informacionnyj byulleten' Ministerstva sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii. 2011 – № 8 – S. 33.

2. Resheniya dlya tochnogo zemledeliya ot "AGRI 2.0" [Ofic. sajt]. URL: www.agri2.com
3. Gordeev A.S., Mishin B.S. Sistema avtomaticheskogo pozicionirovaniya rabochego organa dlya otdeleniya otvodkov // Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah 11-oj Vserossijskoj vystavki "Den' sadovoda-2016", 7 sentyabrya 2017 g.
4. Gordeev A.S. Modelirovanie v agroinzhenerii.: SPb.: Lan', 2014. 384s.
5. Mishin B.S. Matematicheskaya model' // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – №4 – С.121-126.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Гордеев Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: gorde2020@gmail.com.

Мишин Борис Сергеевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: boris.sergeewitch@yandex.ru.

Author credentials
Affiliations

Gordeev Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsky State University of Agriculture”, Russia, Michurinsk, e-mail: gorde2020@gmail.com;

Mishin Boris Sergeevich – Postgraduate Student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsky State University of Agriculture”, Russia, Michurinsk, e-mail: boris.sergeewitch@yandex.ru

Поступила в редакцию (Received): 08.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 12.08.2019

УДК 631.316.022
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-33-43

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА L-ОБРАЗНОГО НАРУЖУ ОТОГНУТОГО НОЖА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО КУЛЬТИВАТОРА

[1]Ожерельев Виктор Николаевич
[2]ОжерельеваМарина Викторовна
[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Реферат. *Специфические особенности процесса изнашивания рабочих органов пропашных вертикальных фрез практически не исследованы. Авторы провели измерение основных параметров изношенного L-образного наружу отогнутого ножа и сопоставили их с соответствующими параметрами нового рабочего органа. Обработка результатов измерений осуществлялась в программах Excel и Компас 3D. Путем взвешивания рабочих органов установлено, что масса предельно изношенного ножа на 7% его исходной массы. Заметно изнашивается только подрезающее лезвие, а поперечное сечение стойки остается практически неизменным. Установлено, что интенсивность изнашивания подрезающего лезвия увеличивается по мере удаления от стойки ножа, а режущая кромка подрезающего лезвия принимает по мере износа форму экспоненты. Для степени износа его поперечных сечений по мере удаления от стойки характерна полиномиальная зависимость второго порядка. При измерениях выявлено, что на наружном конце режущей кромки возникает и развивается по мере износа лезвия нижняя площадка затупления. Для нее характерен отрицательный угол заточки и уменьшение ширины по мере приближения к стойке ножа. Вследствие этого процесс взаимодействия режущей кромки с почвой вырождается в ее смятие и вдавливание значительных объемов в нижний слой, с образованием аналога «плужной подошвы». Это существенно увеличивает энергоемкость*

процесса. Целесообразно осуществить мероприятия по увеличению износостойкости наружного конца подрезающего лезвия и обеспечению процесса его самозатачивания без образования нижней площадки затупления. Для этого рекомендовано на нижнюю поверхность режущей кромки нанести слой износостойкого материала, а наружный конец лезвия подвегнуть локальному термоупрочнению. При этом ширина полосы износостойкого материала может быть уменьшена по мере приближения к стойке ножа.

Ключевые слова: *вертикальная фреза, L-образный нож, абразивное изнашивание, нижняя площадка затупления, подрезающее лезвие*

RESEARCH OF L-SHAPED KNIFE WEAR PROCESS FOR VERTICAL-CUTTER CULTIVATOR, BENT OUT

[1]Ozherelev Viktor
[2]Ozhereleva Marina

[1]FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University"
[2]FSBEI HE "Bryansk State Technical University"

Abstract. *The specific features of the process of wear of the working bodies of tilled vertical mills are practically not investigated. The authors measured the basic parameters of a worn out L-shaped outwardly bent knife and compared them with the corresponding parameters of the new working body. Processing of measurement results was carried out in Excel and Compass 3D. It is established by weighing the working bodies that the mass of an extremely worn knife is 7% less than its initial mass. Only the undercutting blade is noticeably worn out, and the cross-section of the stand remains almost unchanged. It has been established that the wear rate of the undercutting blade increases with distance from the knife stand, and the cutting edge of the undercutting blade takes the form of an exponent as it wears. The second-order polynomial dependence is characteristic of the degree of wear of its cross sections as the distance from the rack increases. It was revealed by measurements that at the outer end of the cutting edge, a lower blunt plate appears and develops as the blade wears. Negative sharpening angle and reduction in width as it approaches the knife stand is characteristic of it. As a consequence, the process of interaction of the cutting edge with the soil degenerates into its collapse and indentation of significant volumes into the lower layer, with the formation of an analogue of the "plow sole". This significantly increases the energy intensity of the process. It is advisable to carry out measures to increase the wear resistance of the outer end of the pruning blade and to ensure the process of its self-sharpening without forming a lower blunting platform. To this end, it is recommended to apply a layer of wear-resistant material on the lower surface of the cutting edge and lift the outer end of the blade to local thermal hardening. The bandwidth of the wear-resistant material can be reduced as it approaches the knife holder at this time.*

Keywords: *vertical milling cultivator, L-shaped knife, abrasive wear, lower surface of blunting, undercut blade*

Введение. Для рабочих органов почвообрабатывающих машин, непосредственно взаимодействующих с почвой, характерен процесс абразивного износа. Это относится и к ножам почвенных фрез, длина фактической траектории взаимодействия которых с почвой существенно больше пути, проходимого почвообрабатывающим агрегатом в поступательном движении.

Кроме того, для рабочих органов фрез характерна высокая скорость движения относительно абразивного материала. Так, если лемех плуга перемещается в почве с максимальной скоростью порядка 2,8 м/с, то наружная кромка подрезающего лезвия L-образного ножа вертикальной фрезы, ротор которой вращается с частотой 150 об/мин, при диаметре порядка 0,6 м имеет скорость более 4,7 м/с. Горизонтальные фрезы, с диаметром барабана порядка 0,5 м и частотой его вращения 250 об/мин имеют скорость по концам ножей порядка 6,5 м/с. Вследствие этого, подрезающее лезвие ножа фрезы изнашивается не менее интенсивно, чем лемех плуга (рисунок 1). При этом характеру износа лемеха плуга посвящены многочисленные исследования [1, 2], тогда как износ ножей вертикальной фрезы до последнего времени был практически не исследован. Это обусловлено, в первую очередь, малой распространенностью этого типа машин. При этом вертикальные фрезы,

оборудованные L-образными наружу отогнутыми ножами, актуальны пока только для ягодоводства.

Авторы обладают многолетним опытом производственной эксплуатации вертикальной фрезы на плантации малины в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» (Брянская область) [3, 4]. По мере совершенствования конструктивно-компоновочных решений машины [5] надежность ее работы возросла на столько, что первоочередной задачей стало увеличение износостойкости ножей. Для ее решения следовало предварительно изучить специфические особенности процесса их изнашивания.

Материал и метод. Объектом исследования являются предельно изношенный и новый L-образный наружу отогнутый нож вертикальной фрезы. Предметом исследования является характер износа различных сечений подрезающего лезвия ножа. Использованы метод визуальной оценки, взвешивания и измерения характерных размерных параметров в разных сечениях. Результаты обработаны на ПК в программах Excel и Компас 3D.

Результаты и их обсуждение Характерная проекция подрезающего лезвия нового и изношенного лезвия на горизонтальную плоскость представлена на рисунке 1.

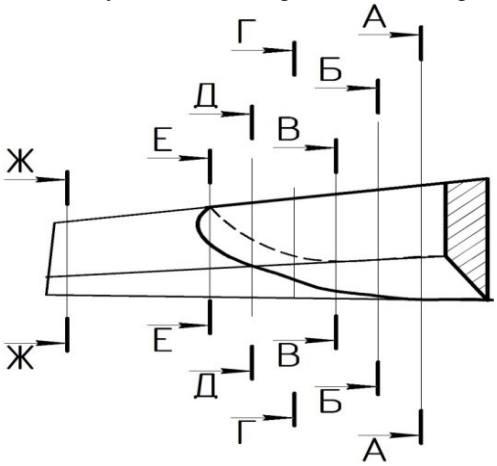


Рисунок 1 – Совмещение проекций изношенного (утолщенная линия) и нового (линия основной толщины) подрезающего лезвия L-образного наружу отогнутого ножа вертикальной фрезы

Путем взвешивания рабочих органов установлено, что масса предельно изношенного ножа на 0,1 кг меньше, чем нового, что составляет 7% от его исходной массы. При этом стойка практически остается неизменной, а все изменения касаются только подрезающего лезвия. Более того, интенсивность и характер износа в разных его частях существенным образом отличаются.

Вследствие износа, режущая кромка приняла криволинейную форму. Обработка результатов измерения в программе Excel позволяет с высокой степенью адекватности (R^2 = 0,9751) констатировать, что режущая кромка предельно изношенного лезвия *L*-образного ножа фрезы имеет экспоненциальную форму (рисунок 2), аппроксимированную следующей формулой

$$y = 0{,}1775e^{0{,}0752x},$$

где y – износ лезвия по ширине, мм; x – расстояние от стойки ножа, мм.

Даже визуально заметно, что степень износа подрезающего лезвия в разных сечениях (по мере удаления от стойки на рисунке 1) разная. При этом только одна горизонтальная проекция режущей кромки, не позволяет наиболее адекватно оценить степень износа подрезающего лезвия с точки зрения потери металла, поскольку не может быть учтена толщина оставшегося материала.

Для получения более адекватной оценки степени потери металла целесообразно сопоставлять площадь поперечного сечения нового и изношенного лезвия на одинаковом удалении от стойки ножа. С этой целью на рисунке 1 выполнены учетные сечения, рассекающие два совмещенных лезвия (новое и изношенное), обозначенные как *А-А* … *Е-Е*. Расстояния между соседними сечениями равно 10 мм. Кроме того, выполнено сечение вблизи наружного конца нового лезвия (*Ж-Ж*).

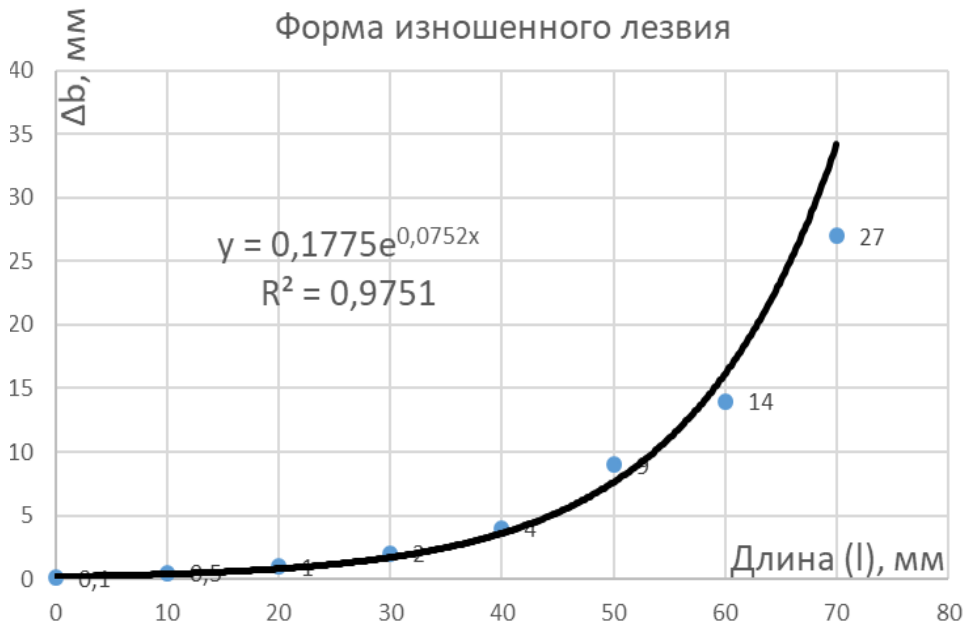


Рисунок 2 – Экспоненциальная форма режущей кромки изношенного лезвия

Использовалась следующая методика измерения. Измеряемый нож устанавливали на ровной горизонтальной площадке так, чтобы (если смотреть на плоскость стойки в перпендикулярном к ней направлении) ее режущая кромка была вертикальной (совмещалась с отвесом), а режущая кромка подрезающего лезвия касалась при этом поверхности площадки.

При измерении изношенного ножа в ряде случаев контакт с площадкой режущей кромки *B* был невозможен (рисунок 3) вследствие возникновения в результате износа нижней площадки затупления *AB* с отрицательным передним углом $\beta_п$. В этом случае нож опускался до обеспечения контакта с площадкой для самой нижней точки *A* данного поперечного сечения. Замеры по схеме, изображенной на рисунке 3, выполняли с помощью штангенциркуля, а их результаты были сведены в таблицу 1.

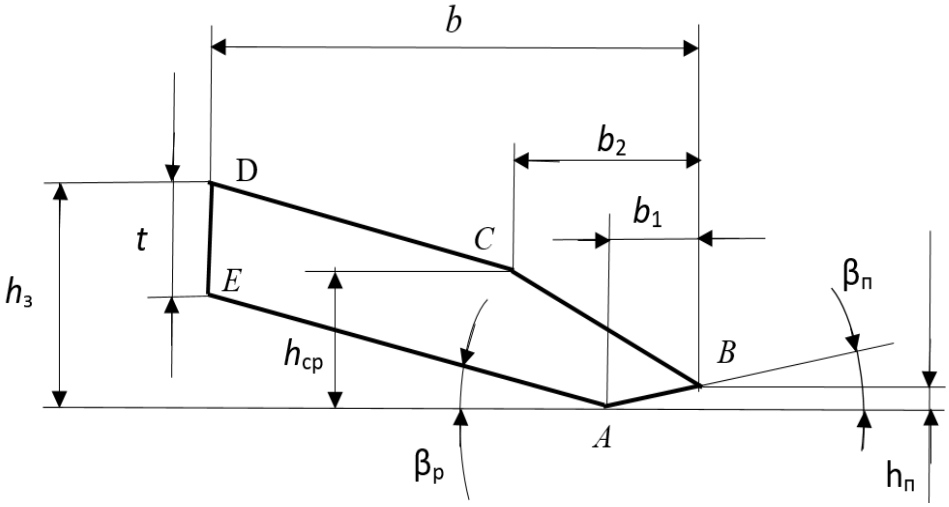


Рисунок 3 – Схема измерения поперечного сечения подрезающего лезвия *L*-образного наружу отогнутого ножа вертикальной фрезы

Таблица 1 – Результаты измерения поперечных сечений подрезающего лезвия нового и изношенного ножа вертикальной фрезы

Сечение	Измеряемые параметры новый нож/изношенный, мм						
	b	t	$h_з$	$h_{ср}$	b_2	b_1	$h_п$
А - А	40,6	9,7	14,2	10,2	15	-	-
	41	9,8	12,3	9,1	16	0	0
Б - Б	38,2	9,5	13,9	9,8	14,3	-	-
	38	8,5	11,6	8,8	15,7	0	0
В - В	36,6	9,2	13,6	9,3	13,6	-	-
	34,3	8,1	11,2	8,2	13,5	1,5	0,5
Г - Г	34,8	8,8	13,3	8,8	12,8	-	-
	30	7,1	9,8	7,4	12,5	3	1,0
Д - Д	33,1	8,4	13	8,4	12	-	-
	23,5	5,5	8,3	6	11	6,2	2,2
Е - Е	31,2	8,1	12,7	7,9	11,2	-	-
	14,9	4,7	6,3	5,2	9,4	9	2,8
Ж - Ж	23,6	6,6	11,5	6	8	-	-

Парадоксальным является то, что, несмотря на формирование нижней площадки затупления (имеющей отрицательный угол $\beta_п$), режущая кромка, перемещаясь вверх (в точку B), сохраняет при этом остроту заточки. То есть, по сути, наблюдается эффект самозатачивания или перетачивания лезвия в соответствии с распределением интенсивности абразивных воздействий. При этом ширина (b_1) и высота ($h_п$) площадки затупления увеличиваются по мере удаления от стойки (рисунок 4).

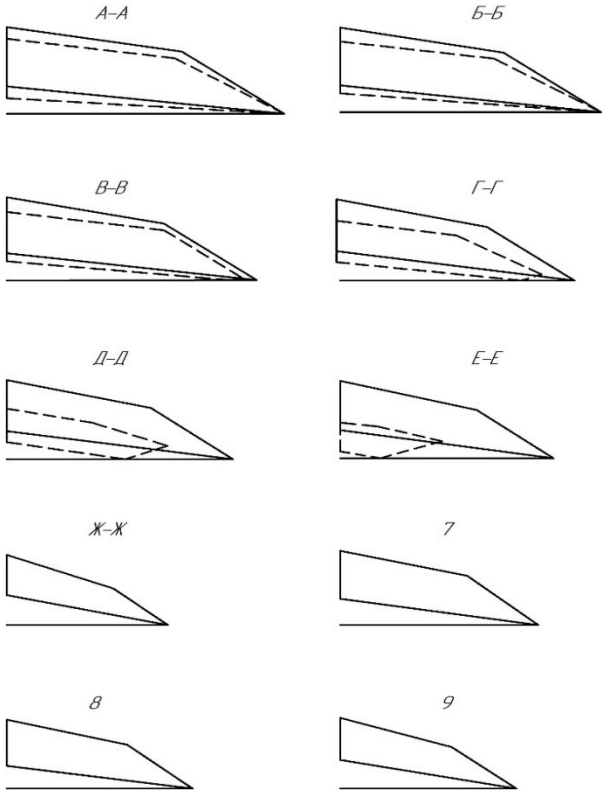


Рисунок 4 – Характер износа лезвия по поперечным сечениям (на рисунке 1):(Сплошная линия – новый нож, пунктирная – изношенный); 7, 8 и 9 – поперечные сечения подрезающего лезвия нового ножа за пределами изношенного лезвия (между сечениями *Е-Е* и *Ж-Ж* на рисунке 1)

Для того, чтобы получить количественные параметры процесса в программе «Компас 3D» на основании данных, приведенных в таблице 1, в масштабе 2:1 были выполнены все измеренные поперечные сечения (рисунок 4). На рисунке сечения подрезающего лезвия нового ножа изображены сплошными линиями, а сечения изношенного – пунктирными. При этом два контура в одном сечении выравнивались (базировались) по тыльной (задней) кромке, а носок лезвия или нижняя точка изношенного профиля совмещались с базовой горизонтальной поверхностью.

После этого (также в программе «Компас 3D») были проведены измерения площади каждого сечения. Результаты измерений приведены в таблице 2.

В каждом сечении была определена степень износа (потери площади сечения в процентах) по следующей формуле

$$\Delta S = 100(S_н - S_{изн}) / S_н ,$$

где $S_н$ – площадь соответствующего сечения лезвия нового ножа, мм^2; $S_{изн}$ – площадь соответствующего сечения лезвия изношенного ножа, мм^2.

Таблица 2-Степень износа подрезающего лезвия в разных сечениях (по мере удаления от стойки ножа), %

Сечение	Расстояние от стойки, *l*, мм	Площадь сечения, мм^2		Разница ΔS, мм^2	Степень износа $\Delta S_{отн}$, %
		Нового, $S_н$	Изношенного, $S_{изн}$		
А - А	0	1189	1137	52	4,4
Б - Б	10	1077	958	119	11,1
В - В	20	984	884	100	10,2
Г - Г	30	864	644	220	25,5
Д - Д	40	800	414	386	48,3
Е - Е	50	714	208	506	70,9

Данные по степени износа подрезающего лезвия в разных сечениях были обработаны на ПК в программе Excel. В результате получена зависимость степени износа поперечного сечения от расстояния до стойки ножа. Характер зависимости полиномиальный (рисунок 5). С высокой степенью адекватности (R^2 = 0,9882) она аппроксимируется следующим уравнением

$$Y = 0{,}0312x^2 + 0{,}2462x + 5{,}9899,$$

где $Y = \Delta S_{отн}$ – степень износа соответствующего поперечного сечения в процентах к его исходной площади; $x = l$ – расстояние от стойки ножа, мм.

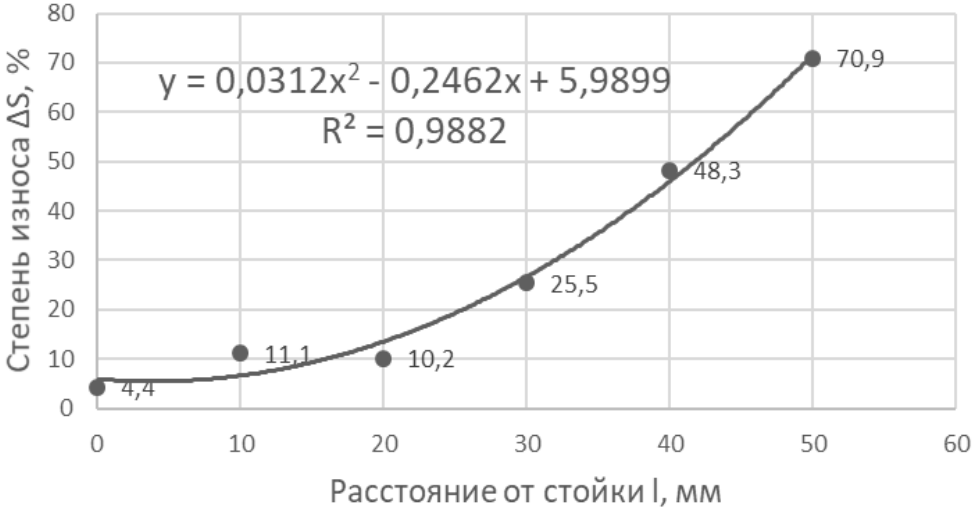


Рисунок 5 – Изменение степени износа подрезающего лезвия ножа по мере удаления от стойки

Характер и степень износа подрезающего лезвия изменяется не только по сечениям, но и по отдельным параметрам в рамках одного сечения. В связи с этим целесообразно рассмотреть степень изменения линейных параметров каждого сечения. Важнейшими являются его ширина (*b*) и толщина (*t*) тыльной кромки лезвия (рисунок 3). Используя результаты замеров, приведенные в таблице 1, оценим степень потери величины указанных линейных измерений и сопоставим их со степенью износа соответствующих сечений по площади (таблица 3).

Данные, приведенные в таблице 3, свидетельствуют о том, что характер абразивного износа меняется по длине подрезающего лезвия. Действительно, для первых трех сечений (*А – А … В – В*) характерен износ преимущественно в виде уменьшения толщины *t* лезвия. При этом его ширина *b* остается практически неизменной.

Объяснить это явление можно следующим образом. В первых трех сечениях преобладает трение по поверхности лезвия разрыхленного материала, который, к тому же, уже получил вертикальный импульс со стороны более близких к почвенному монолиту слоев, принудительно поднимаемых внешним концом рабочего органа. В результате сведено к минимуму вертикальное давление пласта на поверхность лезвия, а его режущая кромка практически не встречает иных сопротивлений кроме корневой системы сорняков, что уменьшает абразивное воздействие на нее. Кроме того, угол установки режущей кромки по отношению к вектору скорости в абсолютном движении меньше угла трения, что не позволяет почве скользить вдоль нее исключая таким образом увеличение степени абразивного воздействия и износа.

Таблица 3 – Изменение линейных параметров сечений подрезающего лезвия, %

Сечение	Площадь $\Delta S_{отн}$	Ширина Δb	Толщина Δt
А – А	4,4	0	0
Б – Б	11,1	0,5	10,5
В – В	10,2	6,3	10,6
Г – Г	25,5	13,8	8,9
Д – Д	48,3	29,0	31,0
Е - Е	70,9	52,2	45,2

В трех последующих сечениях (*Г – Г … Е – Е*) характер износа резко меняется. Во-первых, эта зона подрезающего лезвия большую часть траектории своего движения взаимодействует с почвенным монолитом, который оказывает более высокое вертикальное давление (примерно – в три раза), что существенно ускоряет абразивный износ. Кроме того, на наружном конце подрезающего лезвия, как в наиболее нагруженной зоне, начинается процесс износа режущей кромки и уменьшения таким образом ширины лезвия. При этом увеличивается угол между вектором скорости в абсолютном движении и режущей кромкой и начинается процесс скольжения почвы не только в поперечном, но и в продольном по отношению к лезвию направлении. В результате интенсивность износа также увеличивается.

В этой же зоне развивается и третий элемент процесса абразивного износа ножа. Режущая кромка затупляется, вследствие чего появляется нижняя площадка затупления*АВ* (рисунок 3) с передним (отрицательным) углом $\beta_п$. При движении ножа она вдавливается в почву сверху и сминает ее верхний слой, что генерирует большую силу вертикальной реакции почвы и способствует ускоренному износу лезвия путем увеличения ширины *АВ* площадки затупления (сечения *Г – Г*, *Д – Д* и *Е – Е* на рисунке 4). Таким образом, в зоне наружного конца подрезающего лезвия одновременно действуют три разнонаправленных абразивных процесса, что существенно увеличиваетинтенсивность износа.

Как было отмечено выше, предельно изношенный нож потерял 7% исходной массы. Однако распределение потерь крайне неравномерное. Стойка практически не изнашивается, а максимум потери металла приходится на наружный конец подрезающего лезвия. В связи с этим, целесообразно установить степень износа лезвия целиком, а не по его отдельным сечениям. Дело в том, что оно укоротилось на 35 мм, в связи с чем в ближайших к его наружному концу сечениях была потеряна вся масса исходного металла. Следовательно, для оценки степени износа всего лезвия целесообразно сопоставить его суммарный объем для нового и для изношенного ножа.

Для этого необходимо выполнить обмер лезвия не только по сечениям, обозначенным на рисунке 1, а включить дополнительно три сечения между сечениями *Е – Е* и *Ж – Ж*, с расстояниями между ними также величиной по 10 мм. Таким образом, в обмере должны участвовать десять поперечных сечений (включая сечения 7, 8 и 9 на рисунке 4).

Объем лезвия может быть найден по следующей формуле

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{10} (S_i^{cp} \cdot \Delta l),$$

где V_{Σ} – объем подрезающего лезвия, мм^3; S_i^{cp} - площадь поперечного сечения, расположенного по середине между двумя соседними сечениями, обозначенными на рис. 20 (в таблице 4): то есть S_1^{cp}= 0,5*($S_{А-А}$+$S_{Б-Б}$); Δl = 10 мм.

Расчет выполнен в форме таблицы 4. Он свидетельствует о том, что в результате пяти лет эксплуатации ножа его подрезающее лезвие потеряло вследствие износа 48,6% металла.

Таблица 4 – Определение суммарной степени износа подрезающего лезвия L-образного ножа, %

Сечение	Площадь $\Delta S_{отн}$	Ширина Δb	Толщина Δt
А – А	4,4	0	0
Б – Б	11,1	0,5	10,5
В – В	10,2	6,3	10,6
Г – Г	25,5	13,8	8,9
Д – Д	48,3	29,0	31,0
Е - Е	70,9	52,2	45,2

Таким образом, именно подрезающее лезвие L-образного наружу отогнутого ножа является самой изнашиваемой частью фрезы, в связи с чем приоритет в дальнейшей модернизации машины должен быть отдан увеличению его износостойкости. Это обусловлено тем, что путем подбора материала и размерных параметров удалось добиться практически стопроцентной надежности стойки ножа и переходного участка от стойки к лезвию, в пределах которого на первых этапах эксплуатации фрезы происходило обламывание лезвия при встрече с препятствиями. В настоящее время такой эксцесс ограничивается срезанием крепежных болтов, которые выполняют функцию наиболее приемлемого предохранительного устройства.

Одним из последствий износа подрезающего лезвия *L*-образного наружу отогнутого ножа является возникновение нижней площадки затупления *АВ* с отрицательным передним углом $\beta_п$ (рисунок 3). Соотношение толщины лезвия в рассматриваемом сечении и величины угла $\beta_п$ свидетельствует о том, что правомерной является гипотеза о том, что именно по площадке *АВ* происходит основной ускоренный износ подрезающего лезвия. Так, в сечении *Е - Е* толщина лезвия уменьшилась на 45,2 %, а ширина на 52,2% (таблица 4).

Этому явлению есть вполне логичное объяснение. Сверху на подрезающее лезвие осуществляет давление пласт почвы толщиной (в среднем) 50 … 70 мм, который под действием вертикального импульса скалывается под углом (90^0-θ/2) к горизонтальной поверхности, (по аналогии с культиваторной лапой угол θ/2 варьируется в пределах 20 … 25^0) [6]. Величина сопротивления почвенного слоя скалыванию определяется площадью поверхности скола и предельными касательными напряжениями [$\tau_{ск}$] = 10 … 12 кПа [7].

Параллельно с указанным процессам происходит смятие площадкой затупления *АВ* слоя почвы толщиной, равной высоте $h_п$ и шириной b_1 (рисунок 3). При этом следует иметь ввиду то, что сопротивляемость почвы смятию многократно превосходит ее сопротивляемость сколу, поскольку [$\sigma_{см}$] = 65 … 108 кПа [7]. То есть, усилие, затрачиваемое на смятие единицы объема почвы, в 8 … 10 раз превосходит усилие, затрачиваемое на скол такого же ее объема. Поскольку

интенсивность износа пропорциональна давлению на соответствующую площадку износа, то в определенный момент основным становится износ по нижней площадке затупления *AB*.

Положение усугубляется анизотропностью среды. Над подрезающим лезвием располагается менее плотный поверхностный слой почвы, подвергающийся периодическому рыхлению ножами фрезы. Нижняя площадка затупления взаимодействует с более плотным нижним слоем почвы, обладающим повышенной прочностью. Следовательно, разница в допустимых (разрушающих) напряжениях скола верхнего слоя и смятия нижнего может увеличиться до 20-ти кратной величины.

Развитие нижней площадки затупления вызывает существенное увеличение сил сопротивления перемещению в почве подрезающего лезвия ножа. Для выявления механизма деформации почвы площадкой *AB* предварительно определим величину угла $\beta_п$ (рисунок 6).

$$\beta_п = \text{arctg}\,(h_п/b_1) = \text{arctg}\,(0{,}3548) = 19{,}5^0.$$

Поскольку угол наклона нижней площадки затупления меньше, чем угол трения почвы по стали (μ_2 = 0,4 … 0,7 [8]), то процесс уплотнения почвы должен происходить следующим образом. Начиная от точки *B*, частицы почвы должны влавливаться в ниже лежащие слои в направлении, противоположном вектору нормальной силы *N*, одновременно проскальзывая вдоль поверхности в сторону ее задней кромки (точки *A*).

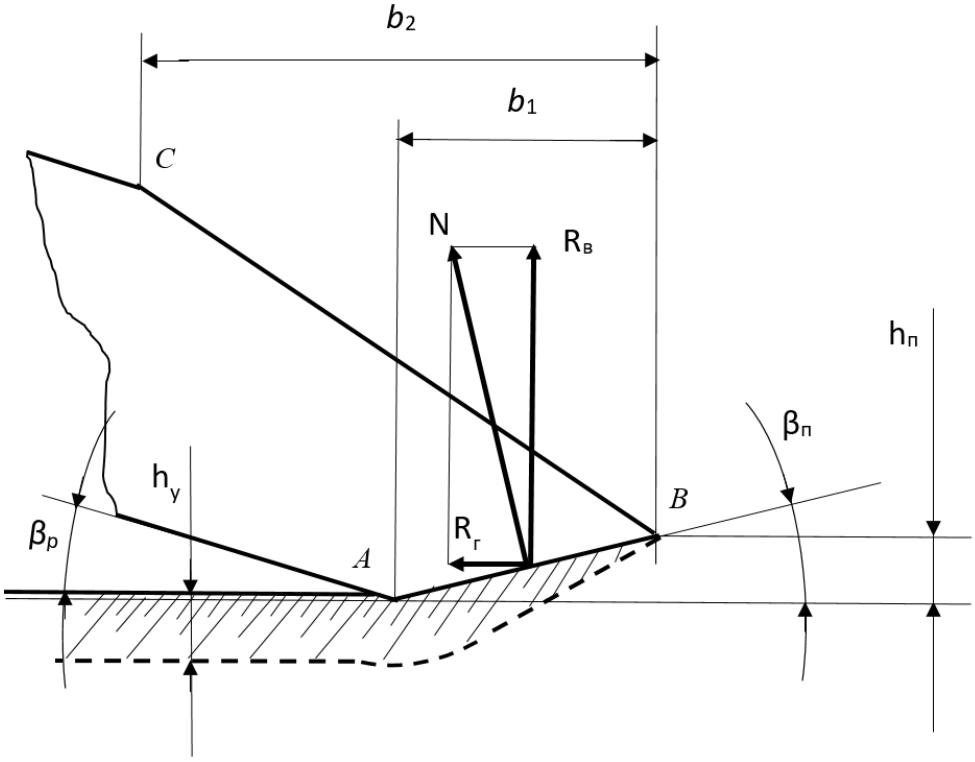


Рисунок 6 – Взаимодействие с почвой нижней площадки затупления подрезающего лезвия

Степень деформации увеличивается, в результате чего формируется уплотненный слой толщиной $h_у$, типа «плужной подошвы». При этом максимальная плотность почвы характерна для верхнего слоя «плужной подошвы», которая, по мере углубления, переходит в почву естественной плотности. Имеет место и частичное упругое восстановление объема почвы (ее незначительное расширение) после точки *A*.

Если рассматривать процесс деформации почвы более подробно, то очевидно, что на площадку затупления действует распределенная нагрузка, величина которой возрастает от точки *B* к точке *A*. Будем считать, что суммарная величина вертикальной силы реакции $R_в$ может быть

определена как произведение площади горизонтальной проекции площадки затупления на допустимое напряжение смятия. При этом считаем, что проекция площадки имеет треугольную форму, а ее максимальная ширина приходится на наружный конец подрезающего лезвия. Тогда

$$R_{вн} = 0,5\ b_{1max} l\ [\sigma_{см}] = 0,5*\ 9*10^{-3}*65*10^{-3}*100*10^{3} = 29,25\ Н.$$

Аналогичным образом можно определить и вертикальную нагрузку на подрезающее лезвие ножа со стороны верхнего слоя, вследствие его разрушения. Будем считать, что она равна произведению площади площадки наклонного скола. То есть

$$R_{вв} = h_{ср}*l*[\sigma_{см}] = 70*10^{-3}*65*10^{-3}*10*10^{3} = 45,5\ Н.$$

Таким образом, если принять, что почва над поверхностью лезвия и под ним имеет сопоставимые параметры, то вертикальное усилие от площадки затупления составляет 64% от вертикального усилия, действующего со стороны почвенного слоя на рабочую (верхнюю) поверхность подрезающего лезвия. Если же принять, что нижний слой почвы примерно в два раза более плотный, чем верхний, то усилия сверху и снизу практически выравниваются. Соответственно, примерно равными будут и силы трения. При этом на рабочей поверхности лезвия они рассредоточены по всей его площади, а на нижней площадке затупления сосредоточены на узкой полосе. Кроме того, примерно в два раза увеличивается и горизонтальная составляющая сил сопротивления.

Степень влияния на энергоемкость процесса нижней площадки затупления подтверждается и аналогией с землеройными машинами. При средней ширине площадки затупления 5 мм и длине лезвия, равной 65 мм на грунтах второй – третьей категории возникает дополнительное усилие равное 13 … 30 Н [8]. Дополнительное тяговое усилие от площадки затупленияподрезающего лезвия *L*-образного ножа может быть определено следующим образом (рисунок 6)

$$F_{зат} = R_г + F_{тр} = R_в \cdot tg\beta_п + R_в \cdot \mu_2 = R_в \cdot (tg\beta_п + \mu_2),$$

где μ_2 = 0,55 – коэффициент трения чернозема по стали [8]; $R_г$- горизонтальная составляющая реакции почвы на нижнюю площадку затупления; $R_в$ – вертикальная составляющая реакции почвы на нижнюю площадку затупления; $F_{тр}$ – сила трения, действующая на площадке затупления; $\beta_п$ = $19,5^0$ – угол наклона нижней площадки затупления к горизонту.

Подставив в последнее уравнение значения параметров, имеем $F_{зат}$ = 26,6 Н. То есть, результаты, полученные в двух вариантах расчета, сопоставимы.

Заключение. Анализ результатов исследования свидетельствует о том, что целесообразно модернизировать конструкцию L-образного наружу отогнутого ножа с целью исключения возможности возникновения на его подрезающем лезвии нижней площадки затупления. Указанная цель может быть достигнута, если на нижнюю поверхность подрезающего лезвия ножа нанести (начиная непосредственно от режущей кромки) слой износостойкого материала. В этом случае изнашивание будет происходить преимущественно по верхней поверхности подрезающего лезвия, вследствие чего оно будет постоянно самозатачиваться, исключая возникновение нижней площадки затупления значимой величины, что обеспечивает минимум сопротивления перемещению ножа в почве на протяжение всего срока его службы. Поскольку интенсивность износа уменьшается по мере приближения к стойке, то целесообразно ширину износостойкого слоя выполнить переменной, с ее уменьшением в указанном направлении. Кроме того, наружный конец подрезающего лезвия целесообразно подвергнуть локальному термическому упрочнению.

Список литературы

1. Михальченков А.М., Шустов А.Ф. Особенности изнашивания и ресурс восстановленных импортных составных лемехов при пахоте на супесчаных почвах // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 11. – С. 37-40.

2. Михальченков А.М., Попов А.П. Изменение геометрических параметров лемехов после их эксплуатации на супесчаных почвах // Достижения науки и техники АПК. – 2003. – № 8. – С. 26-28.

3. Ожерельева М.В. Совершенствование технологии возделывания малины в условиях средней полосы России: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.07 – Брянск, 2001. 148с.

4. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины: дис. … докт. с.-х. наук: 05.20.01. – Брянск, 2001. 312с.

5. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Опыт разработки и практического использования фрезерного культиватора для плантации малины // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 11 (90). – С. 112 – 123.

6. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л.: «Машиностроение», 1977. 528с.

7. Технологические свойства почвы [Электронный ресурс] Код доступа https://vuzlit.ru/995467/tehnologicheskie_svoystva_pochvy

8. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн.2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учебное пособие для вузов / Баловнев В.И., Глаголев С.Н., Данилов Р.Г. и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 464с.

References

1. Mihal'chenkov A.M., SHustov A.F. Osobennosti iznashivaniya i resurs vosstanovlennyh importnyh sostavnyh lemekhov pri pahote na supeschanyh pochvah // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2017. – № 11. – S. 37-40.

2. Mihal'chenkov A.M., Popov A.P. Izmenenie geometricheskih parametrov lemekhov posle ih ekspluatacii na supeschanyh pochvah // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2003. – № 8. – S. 26-28.

3. Ozherel'eva M.V. Sovershenstvovanie tekhnologii vozdelyvaniya maliny v usloviyah srednej polosy Rossii: dis. … kand. s.-h. nauk: 06.01.07 – Bryansk, 2001. 148s.

4. Ozherel'ev V.N. Tekhnologicheskie processy i sredstva mekhanizacii proizvodstva yagod maliny: dis. … dokt. s.-h. nauk: 05.20.01. – Bryansk, 2001. 312s.

5. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. Opyt razrabotki i prakticheskogo ispol'zovaniya frezernogo kul'tivatora dlya plantacii maliny // Vestnik NGIEI. – 2018. – № 11 (90). – S. 112 – 123.

6. Lur'e A.B., Grombchevskij A.A. Raschet i konstruirovanie sel'skohozyajstvennyh mashin. L.: «Mashinostroenie», 1977. 528s.

7. Tekhnologicheskie svojstva pochvy [Elektronnyj resurs] Kod dostupa https://vuzlit.ru/995467/tehnologicheskie_svoystva_pochvy

8. Mashiny dlya zemlyanyh rabot. Konstrukciya. Raschet. Potrebitel'skie svojstva: v 2 kn. Kn.2. Pogruzochno-razgruzochnye i uplotnyayushchie mashiny: uchebnoe posobie dlya vuzov / Balovnev V.I., Glagolev S.N., Danilov R.G. i dr.; pod obshch. red. V.I. Balovneva. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2011. 464s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ожерельев Виктор Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, г. Кокино, e-mail: vicoz@bk.ru.

Ожерельева Марина Викторовна – доктор экономических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», Россия, г. Брянск, e-mail: marinavo@inbox.ru.

Author credentials

Affiliations

Ozherelev Viktor – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Agrarian University”, Russia, Kokino, e-mail: vicoz@bk.ru.

Ozhereleva Marina – Full Doctor of Economics, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”, Russia, Bryansk, e-mail: marinavo@inbox.ru.

Поступила в редакцию (Received): 22.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 23.08.2019

УДК 677.027
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-44-49

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫХОДА И НОМЕРА ТРЕПАНОГО ЛЬНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНОТРЕСТЫ

[1]Королева Евгения Николаевна
[1,2]Новиков Эдуард Валерьевич
[2]Хаитов Нурулло Хабибуллоевич
[1]Безбабченко Александр Владиславович
[1]ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»
[2]ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

Реферат. *Известно, что для годового прогнозирования работы льнозавода по выходу и номеру длинного и короткого льноволокна часто используют данные полученные при переработке льнотресты в трепаный лен на лабораторных станках СМТ-200М или СМТ-500, а не на мяльно-трепальных агрегатах, что может привести к завышению показателей работы льнозавода. Изучали выход длинного волокна, номера льнотресты и трепаного льна, полученных на станке СМТ-500 и в мяльно-трепальном агрегате АЛС-1, характеризующихся горстевым питанием. Использовали образцы из льняной тресты девяти селекционных сортов урожая 2018 года, с нормальной степенью вылежки, прочным волокном, влажностью 12 %. Получено, что волокно после станка СМТ-500, в сравнении с мяльно-трепальным агрегатом АЛС-1, отличается по количеству, больше на 3,11 % (абс.), и по качеству, выше на 1-3 номера. По полученному номеру длинного волокна, используя нормы выработки, спрогнозирован номер тресты. Он оказался на 2-4 номера ниже экспериментальных показателей. Определили, что ориентировочный корректирующий коэффициент для прогнозирования выхода трепаного льна составляет 0,89. Обработка экспериментальных данных путем однофакторного дисперсионного анализа показала, что при доверительной вероятности 0,95 влияние исследуемых способов переработки составляет 24,0 % для выхода длинного волокна и 39,0 % для номера трепаного льна. Представлен способ определения завышения номера льнотресты при ее переработке на станке СМТ-500. Даны рекомендации для прогнозирования выхода и номера трепаного льна в АЛС-1 по результатам оценки качества льнотресты на станке СМТ-500. Даны рекомендации для прогнозирования выхода и номера трепаного льна в АЛС-1 по результатам оценки качества льнотресты на станке СМТ-500.*

Ключевые слова: *номер льнотресты, выход волокна, трепаный лен, станки СМТ-500 и СМТ-200М, мяльно-трепальный агрегат АЛС-1.*

FORECASTING OF OUTPUT AND NUMBERS: SCUTCHED FLAX ACCORDING TO THE RESULTS OF LABORATORY PROCESSING OF FLAX STRAW

[1]Koroleva Evgenia
[1,2]Novikov Eduard
[2]Haitov Nurullo
[1]Bezbabchenko Aleksandr
[1]FSBSI "Federal Scientific Center for Bast Crops"
[2]FSBEI HE "Kostroma State University"

Abstract. *It is known that for annual forecasting of flax plant operation on output and number of long and short flax fibers, data obtained from processing flax into scuttled flax is often used on SMT-200M or SMT-500 laboratory machines, and not on pulping machines, which can lead to overestimation performance flax plant. The yield of long fiber, flax numbers and scutched flax obtained on the machine CMT-500 and in the knead-scutch unit ALS-1, characterized by handful feeding, were studied. Samples of flax straw from nine breeding varieties of the harvest in 2018, with a normal degree of curing, strong fiber, moisture, equal to 12% were used. It was found that the fiber after the machine SMT-500, in comparison with the meat-breaking machine ALS-1, differs in quantity, more by 3.11% (abs.), And in*

quality, higher by 1-3 numbers. According to the obtained number of long fiber, using the standards of production, the number of trusts is predicted. It turned out to be lower than the experimental figures for 2-4 numbers. It is determined that the approximate correction factor for predicting the output of scutched flax is 0.89. Processing of the experimental data using univariate analysis of variance showed that the effect of the processing methods under study is 24.0% for the yield of long fiber and 39.0% for the number of scutched flax with a confidence level of 0.95. A method for determining the overestimate of flax number when processing it using the SMT-500 machine is presented. Recommendations are given for predicting the yield and the number of scutched flax in ALS-1 according to the results of quality assessment of flax on the machine CMT-500. Recommendations are given for predicting the yield and the number of scutched flax in ALS-1 according to the results of quality assessment of flax on the machine CMT-500.

Keywords: *number of flax, fiber yield, scutched flax, machines SMT-500 and SMT-200M, knead-scutch unit ALS-1.*

Введение. Лен – одна из важнейших технических культур, возделываемых в России. Технология получения льноволокна, одна из самых трудоемких в сельскохозяйственном производстве [1-3].

В настоящее время номер льняной тресты определяют по ГОСТ 24383-89 и ГОСТ Р 53143-2008 Треста льняная. Требования при заготовках. При этом переработка льнотресты в трепаный лен проходит в мяльно-трепальных станках СМТ-200М или СМТ-500, которые предназначены для лабораторного выделения длинного волокна из льнотресты с целью определения ее номера, который присваивается всей партии тресты. Далее по номеру льнотресты по типовым нормам выработки длинного и короткого льноволокна из стланцевой льнотресты для мяльно-трепальных и куделеприготовительных агрегатов всех марок [4], можно спрогнозировать выход и номер длинного и короткого льноволокна. Эти данные могут служить для годового прогнозирования работы предприятия (определения количества и качества получаемого волокна, расчета себестоимости, рентабельности и т.д.), а также для проектирования предприятия.

Известно, что обработка льнотресты на станках СМТ-200М, СМТ-500 и в мяльно-трепальных агрегатах (далее МТА), установленных на льнозаводах, существенно различается, а причиной этому является различие подготовки стеблей к трепанию [5, 6]. По нашему мнению, кроме этой причины, различия могут возникать из-за более щадящей переработки льнотресты в СМТ и конструкции трепальных рабочих органов – трепальных барабанов. Очевидность получения более высокого выхода длинного волокна в СМТ в сравнении с МТА, а соответственно и большего номера льнотресты показана теоретически и отчасти практически в [5, 6]. Также по нашему мнению завышение номера льнотресты в СМТ, приводит к возможному завышению показателей работы льнозавода, т.к. на мяльно-трепальном агрегате в производственных условиях высокий выход длинного волокна, аналогичный станку СМТ, получить практически невозможно.

Следует отметить, что научных работ в этом направлении очень мало и, как отмечалось выше, вопрос различий в переработке рассматривался только в исследованиях [5, 6]. В них выявлено несоответствие результатов переработки льнотресты на производственном оборудовании и на станке СМТ, которое по выходу длинного волокна составило в среднем 10 % (абс.) (от 6 до 13 % абс.), а по номеру льнотресты на 1-3 номера [5, 6]. Предложен алгоритм подготовки проб для переработки (расположение их на транспортере), обеспечивающий сходство результатов с существующими марками производственных МТА.

Подробный анализ исследований [5, 6] показал, что в них не конкретизируется марка мяльно-трепального агрегата, на котором эти несоответствия получены. Не исследованы также несоответствия (различия) номера трепаного льна. Известно, что на льнозаводах РФ работают отечественные и зарубежные мяльно-трепальные агрегаты. К отечественным машинам относятся мяльно-трепальные агрегаты МТА-1Л, МТА-2Л, АЛС-1, машина МТОФ-1, к зарубежным – Депортер, Юнион, Ванхаверт, Вандомель и др. Способ переработки льнотресты в указанных агрегатах различен, например, отличается переработка в МТА-1Л (МТА-2Л) и в АЛС-1, различия также существуют в АЛС-1 и МТОФ-1. В основном эти изменения заключаются не только в способе подачи промятых стеблей под воздействие трепальных барабанов, но и подаче льнотресты в мяльную машину агрегата и конструкции трепальных барабанов. Данный факт заставляет задуматься, о том, к каким мяльно-трепальным агрегатам можно применить, полученные в

исследованиях [5, 6] данные о различиях выхода длинного волокна и номера льнотресты. Вероятней всего, эти различия определены на примере классического отечественного агрегата марки МТА-1Л, так как оговариваются размеры конструкции именно этого агрегата. Во всяком случае, в работах [5, 6] положено начало исследований по изучению описанного направления.

Из вышеизложенного очевидно, что для достоверного сравнения несоответствий результатов переработки льнотресты на производственных МТА со станками СМТ-200М и СМТ-500 по выходу волокна, номеру льнотресты и трепаному льну, необходимо провести исследования отдельно на каждом агрегате, то есть. выяснить влияние способа подачи льнотресты в мяльную машину и конструкции трепальных барабанов, при этом, исключив влияние подготовки стеблей льнотресты к переработке.

В представленных исследованиях рассматривается мяльно-трепальный агрегат АЛС-1, который реализует новую технологию переработки льнотресты, позволяющую повысить выход длинного волокна, в сравнении с агрегатами МТА-1Л, МТА-2Л, так как предназначен для горстевого питания, как и СМТ-500.

Цель исследований – обоснование необходимости прогнозирования выхода, номера льнотресты и трепаного льна в мяльно-трепальном агрегате АЛС-1 по результатам оценки качества льнотресты в станке СМТ-500 и выдача необходимых рекомендаций.

Для достижения поставленной цели необходимо экспериментально сравнить выход, номер льнотресты и трепаного льна на станке СМТ-500 и в агрегате АЛС-1 и по результатам исследований дать рекомендации по учету этого влияния для прогнозирования выхода и номера трепаного льна в АЛС-1, основанного на оценке качества льнотресты на станке СМТ-500.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели был проведен ряд экспериментов, включающих в себя подготовку проб льнотресты, определение выходов трепаного льна и номера льнотресты в рассматриваемых машинах. Исследуемые образцы были взяты из льняной тресты девяти селекционных сортов урожая 2018 года, с нормальной степенью вылежки, прочным волокном, влажностью 12 %, которая перед переработкой была обезличена и обозначена типами 1-9. Из льнотресты каждого типа по ГОСТ были подготовлены по 20 горстей одинаковой массы и выровнены по комлям, средняя горстевая длина составляла более 75-80 см. Далее горсти каждого типа тресты были разделены на две группы по 10 горстей, одна из которых предназначалась для переработки на станке СМТ-500, другая – в мяльно-трепальном агрегате АЛС-1 при частоте вращения трепальных барабанов 250 об/мин и скорости транспортирования в трепальной части агрегата 20 м/мин (параметры соответствовали промышленной переработке). Обработка тресты в СМТ-500 и АЛС-1 велась по одной горсти.

После переработки, у трепаного льна определялись следующие характеристики: выход длинного волокна, номер льнотресты, номер трепаного льна. Оценка качества льнотресты и трепаного льна проводилась по ГОСТ 24383-89 «Треста льняная. Требования при заготовках» и ГОСТ 10330-76 «Лен трепаный» (по изменению № 4), соответственно.

Результаты и их обсуждение. Показатели качества льнотресты разных типов, переработанных на СМТ-500 и АЛС-1 и выход длинного волокна, представлены в таблице 1.

Таблица 1 − Показатели качества льнотресты разных типов, переработанных на СМТ-500 и АЛС-1

Тип тресты	Номер льнотресты		Выход длинного волокна, %		Номер трепаного льна	
	СМТ-500	по нормам*	СМТ-500	АЛС-1	СМТ-500	АЛС-1
1	2,5	1,25	31,5	30,0	14	11
2	2,5	1,50	27,3	20,8	14	12
3	2,5	1,50	31,0	27,9	14	12
4	2,5	1,25	32,0	28,4	13	11
5	2,5	1,25	32,1	26,1	14	11
6	2,5	1,50	29,3	31,4	13	12
7	2,0	1,25	27,5	27,2	11	11
8	2,5	1,25	28,0	26,2	11	11
9	2,5	1,75	29,6	26,5	14	13

* определено по нормам [1], используя номер трепаного льна, полученный в агрегате АЛС-1 (см. таблицу 2).

Результаты исследований, представленные в таблице 1, показывают, что выход длинного волокна на станке СМТ-500 изменяется от 27,3 % до 32,1 %. На АЛС-1 он варьируется от 20,8 % до 31,4 %. Следовательно, у 9 типов льнотресты выход волокна на СМТ-500 выше, в среднем на 3,11 % (абс.), а в целом, это изменение может варьироваться от 0,3 до 6,5 % (абс.). Поэтому чтобы спрогнозировать значение выхода длинного волокна при переработке льнотресты нормальной степени вылежки в агрегате АЛС-1, нужно выход, полученный на станке СМТ-500, умножить на корректирующий коэффициент 0,89. Значение этого коэффициента на данном этапе исследований является ориентировочным (предварительным), для более точного прогнозирования выхода волокна необходимо его уточнять, проводя большее число сравнительных экспериментов, позволяющих увеличить статистику переработки льнотресты.

Номер трепаного льна на СМТ-500 также выше, чем в АЛС-1 на 1-3 номера, исключение составляют образцы 7 и 8, у которых номер льноволокна остался на том же уровне (таблица 1). Чтобы спрогнозировать номер длинного волокна при переработке льнотресты нормальной степени вылежки в агрегате АЛС-1, нужно номер льноволокна, полученный на станке СМТ-500, снизить на 1-2 номера.

Обработка экспериментальных данных путем однофакторного дисперсионного анализа показала, что при доверительной вероятности 0,95 на выход длинного волокна и номер трепаного льна оказывают влияние исследуемые способы переработки, причем это влияние составляет 24,0 % для выхода длинного волокна и 39,0 % для номера трепаного льна.

Следует предположить, что полученные различия показателей качества в СМТ-500 и АЛС-1 будут примерно такими же, если льнотреста будет иметь растянутость и другие пороки.

По полученному номеру льнотресты, используя нормы выработки на производство длинного и короткого льноволокна [1], можно спрогнозировать какой получится номер длинного волокна (таблица 2, по стрелкам слева направо). Для номеров льнотресты 2,0 и 2,5, он составляет 14,25 и 15,15 соответственно, а фактически в АЛС-1 он значительно ниже и составляет 11-13 (таблица 1).

Таблица 2 − Нормы выработки на производство длинного и короткого льноволокна из стланцевой льнотресты для мяльно-трепальных и куделеприготовительных агрегатов всех марок

Номер льнотресты	Выход длинного волокна, %	Средний номер длинного волокна
1,25	11,9	11,55 (11 из таблицы 1)
1,50	13,4	12,45 (12 из таблицы 1)
1,75	14,8	13,35 (13 из таблицы 1)
2,00	16,2	14,25
2,50	17,7	15,15

По данным таблицы 1 в зависимости от типа льнотресты номер трепаного льна в агрегате АЛС-1 изменяется от 11 до 13 (преобладают номера 11 и 12), в СМТ-500 – от 11 до 14 (преобладают номера 13 и 14). Если же по нормам выработки [4], используя номера волокна в АЛС-1, определить номер тресты, осуществив обратные действия (двигаясь по стрелкам, справа налево – от номера волокна к номеру тресты, табл. 2, пропуская значения выхода длинного волокна), то получим номера льнотресты 1,25, 1,50 и 1,75, а не 2,0 и 2,5, как в СМТ-500 (таблица 1), то есть на 2-4 номера ниже. Поэтому для прогнозирования номера льнотресты в агрегате АЛС-1, важного показателя [4] для дальнейшего планирования работы действующего льнозавода на год, необходимо номер льнотресты, полученный на СМТ-500, снизить на 2-4 номера, причем, чем выше номер тресты в СМТ-500, тем больше надо снижать номер для АЛС-1.

В итоге мы другим способом, отличным от способа [3, 4], доказали факт завышения номера льнотресты и впервые номера трепаного льна на станке СМТ-500. В результате этого на реальном производстве могут быть неправильно спрогнозированы технологические и экономические показатели работы льнозавода.

Выводы. 1. Продолжены немногочисленные исследования в направлении прогнозирования показателей качества длинного льноволокна и впервые проведено экспериментальное сравнение переработки льнотресты в лабораторном мяльно-трепальном станке СМТ-500 и промышленном

агрегате АЛС-1, определено различие номеров трепаного льна в указанном мяльно-трепальном оборудовании.

2. Получен ориентировочный корректирующий коэффициент для прогнозирования выхода трепаного льна при переработке льнотресты в промышленном мяльно-трепальном агрегате АЛС-1, используя выход волокна, полученный на станке СМТ-500.

4. Предложен экспериментальный способ определения того, завышен ли номер льнотресты и трепаного льна в лабораторном станке СМТ-500 в сравнении с агрегатом АЛС-1, это завышение в представленных исследованиях для льнотресты составило на 2-4 номера, для трепаного льна – на 1-3 номера.

5. Даны рекомендации для прогнозирования выхода и номера трепаного льна в АЛС-1 по результатам оценки качества льнотресты на станке СМТ-500.

Список литературы

1. Шишин Д.А. Исследование воздушного потока в камере очеса льнокомбайна // Наука в Центральной России. − 2018. − № 6 (36). − С. 29-34.

2. Лачуга Ю.Ф., Ковалев М.М., Апыхин А.П. Состояние и перспективы разработки технологии и оборудования для получения однотипного волокна.//Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 68-70.

3. Jerzy Mańkowski, Wojciech Maksymiuk, Grzegorz Spychalski, Jacek Kołodziej, Andrzej Kubacki, Damian Kupka & Krzysztof Pudełko Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting// Journal of Natural Fibers, Volume 15, 2018 – Issue 1.– Pp. 53-61.

4. Типовые нормы выработки для рабочих основного производства заводов первичной переработки льна. – М.: Изд-во Минск. − 1988. – С. 38.

5. Виноградова А.Е, Пашин Е.Л. Сравнительный анализ подготовки льняной тресты перед обработкой на станке СМТ-500 и мяльно-трепальном агрегате // Вестник ВНИИЛК. – 2003. – №1. – С. 79-82.

6. Пашин Е.Л., Куликов А.В., Румянцева И.А., Виноградова А.Е., Разумеев В.К. Инструментальные системы оценки технологического качества льна: Монография. – Одинцово, АНОО ВПО «ОГИ». − 2010. – С. 224.

References

1. SHishin D.A. Issledovanie vozdushnogo potoka v kamere ochesa l'nokombajna // Nauka v Central'noj Rossii. − 2018. − № 6 (36). − S. 29-34.

2. Lachuga YU.F., Kovalev M.M., Apyhin A.P. Sostoyanie i perspektivy razrabotki tekhnologii i oborudovaniya dlya polucheniya odnotipnogo volokna.//Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2012. – № 12. – S. 68-70.

3. Jerzy Mańkowski, Wojciech Maksymiuk, Grzegorz Spychalski, Jacek Kołodziej, Andrzej Kubacki, Damian Kupka & Krzysztof Pudełko Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting// Journal of Natural Fibers, Volume 15, 2018 – Issue 1.– Rr. 53-61.

4. Tipovye normy vyrabotki dlya rabochih osnovnogo proizvodstva zavodov pervichnoj pererabotki l'na. – M.: Izd-vo Minsk. − 1988. – S. 38.

5. Vinogradova A.E, Pashin E.L. Sravnitel'nyj analiz podgotovki l'nyanoj tresty pered obrabotkoj na stanke SMT-500 i myal'no-trepal'nom agregate // Vestnik VNIILK. – 2003. – №1. – S. 79-82.

6. Pashin E.L., Kulikov A.V., Rumyanceva I.A., Vinogradova A.E., Razumeev V.K. Instrumental'nye sistemy ocenki tekhnologicheskogo kachestva l'na: Monografiya. – Odincovo, ANOO VPO «OGI». − 2010. – S. 224.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Королева Евгения Николаевна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: e.koroleva@fnclk.ru.

Новиков Эдуард Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией переработки лубяных культур Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: edik1@kmtn.ru.

Хаитов Нурулло Хабибуллоевич – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Костромской государственный университет», Россия, г. Кострома, e-mail: khaitov_7375@mail.ru.

Безбабченко Александр Владиславович – руководитель структурного подразделения, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: fnc_lk44@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Koroleva Evgenia – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Bast Crops", Russia, Tver, e-mail: e.koroleva@fnclk.ru.

Novikov Eduard – candidate of technical sciences, associate professor, head of the bast processing laboratory of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Bast Crops", Russia, Tver, e-mail: edik1@kmtn.ru.

Khaitov Nurullo – graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Kostroma State University", Russia, Kostroma, e-mail: khaitov_7375@mail.ru.

Bezbabchenko Alexander – head of the structural unit, senior researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Bast Crops", Russia, Tver, e-mail: fnc_lk44@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 08.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 16.08.2019

УДК 631.22

DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-49-55

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДОСТАВКИ И ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

[1]Брусенков Алексей Владимирович

[1]Капустин Василий Петрович

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат: *Известно, что современным подходом к изучению сложных, многомерных и взаимосвязанных систем, в которых протекают процессы физической и биохимической природы, является системный анализ с применением методов математического моделирования для описания количественных закономерностей на всех уровнях иерархии системы. Проведённый анализ показал,что животноводческий комплекс в целом или любой отдельный технологический процесс могут рассматриваться как многоуровневые системы. При этом более сложная система определяется не столько числом входящих в неё элементов, сколько сложностью их свойств и связей, реализуемых между собой на разных ступенях (или уровнях) иерархической структуры. Установлено, что развиваемый подход к анализу технологической линии доставки и приготовления корнеклубнеплодов позволяет рассматривать и решать не только задачи оптимального функционирования системы при получении целевых продуктов с точки зрения её технико-экономических показателей, но и устанавливать рациональные связи системы с внешней средой, то есть оценивать экологическую эффективность производства. Поэтому, данная задача становится в настоящее время решающей при разработке новых технологий и структурных схем, направленных на создание малоотходных и безотходных производств с максимальным использованием сырьевых и энергетических ресурсов внутри системы.*

Ключевые слова: *биотехнологическая система, системный анализ, технологическая линия, корнеклубнеплоды.*

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL LINE OF THE DELIVERYAND PREPARATION OF ROOT CROPS

[1]Brusenkov Alexey

[1]Kapustin Vasilii

[1]FSBEI HE "Tambov state technical University"

***Abstract**: It is known that the modern approach to the study of complex, multidimensional, and interrelated systems in which the processes of physical and biological nature, is a system analysis with application of mathematical modeling methods for describing quantitative regularities at all levels of the system hierarchy. The analysis showed that the livestock sector as a whole, or any separate process can be considered as a multilevel system. In this more complex system is determined not so much by the number of its elements as their properties and relationships that are implemented between the different stages (or levels) of the hierarchical structure. Established that the developed approach to the analysis of the technological line of the delivery and preparation of root crops allows us to consider and to solve not only the problem of optimal functioning of the system in producing the targeted products from the point of view of its technical and economic indicators, but also to establish rational communication with the external environment, that is, to assess the environmental performance of production. Therefore, this task is currently crucial in the development of new technologies and structural schemes aimed at the creation of low-waste and waste-free production with maximum use of raw materials and energy resources within the system.*

***Keywords**: biotech system, system analysis, technological line, root crops.*

Введение. Выбор способа и средств подготовки рациона кормления коров зависит от породы, возраста, способа содержания животных, надоя молока, наличия соответствующего набора кормов в хозяйстве и уровня механизации их приготовления. Например, при увеличении надоя рацион должен меняться (повышаться) в количественном и качественном отношении. Уровень механизации процессов позволяет повысить производительность кормораздаточных машин, соблюдать режим кормления, снижать уровень стресса животных и затраты труда и трудоёмкость выполнения процессов.

Если технологии подготовки кормов к скармливанию и их раздачу рассматривать в отрыве друг от друга, без учёта количества и качества получаемого молока, то невозможно создать энергосберегающие экологически безопасные системы [1].

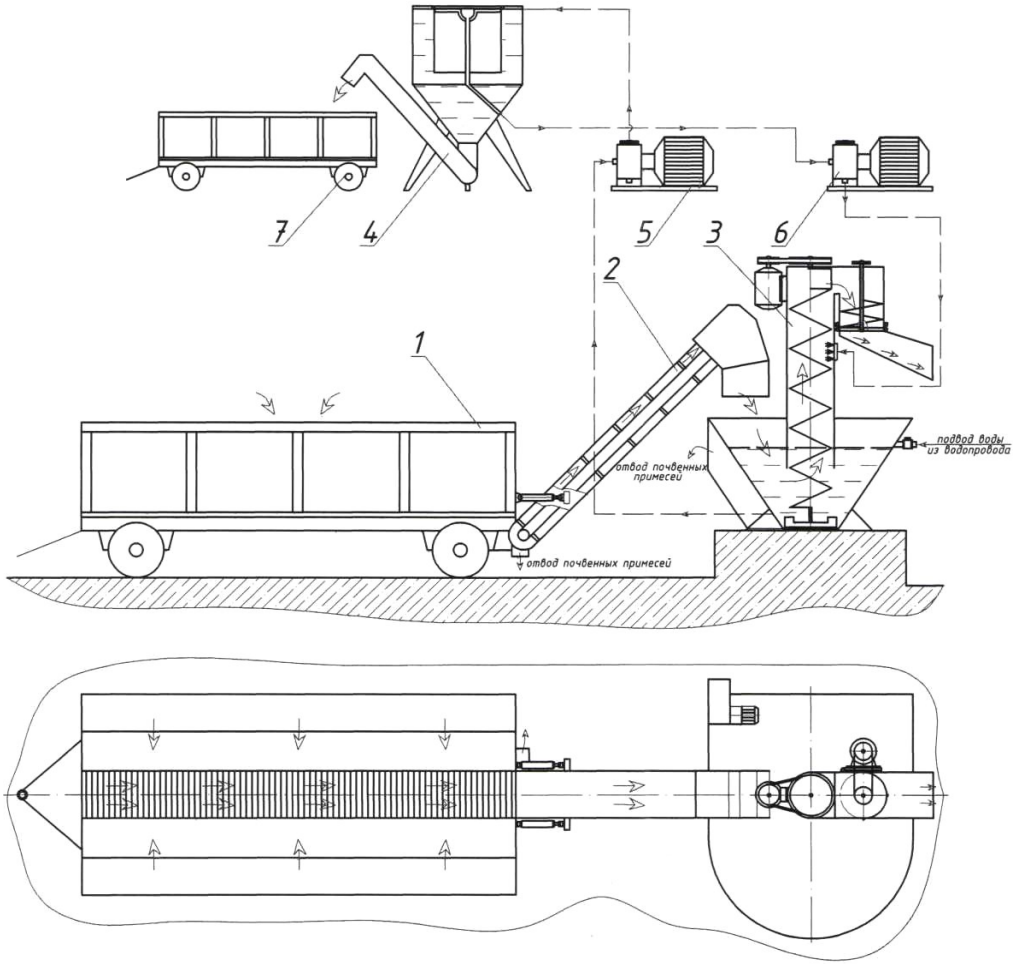
Анализ литературных источников по производству молока, содержанию животных, подготовки рациона кормления позволили создать схему биотехнологической системы (БТС) приготовления рационов кормов с включением в их состав корнеклубнеплодов, очищенных от загрязнений и измельчённых в соответствии с зоотехническими требованиями.

В настоящее время при исследовании современных химико-технологических систем, распространением биотехнологий в микробиологии, генной и клеточной инженерии и других областях науки акад. Овчинниковым Ю.А. дано определение биотехнологии: «Под технологией в широком смысле понимают любое использование биологических процессов для получения нужных человеку продуктов» [2].

В нашем случае, для получения необходимой животноводческой продукции (мяса, молока) в системе участвуют биологические объекты – животное, человек, корнеклубнеплоды и технические средства, обеспечивающие выполнение в полном объёме технологических процессов в соответствии с заданными зоотехническими требованиями.

Результаты и их обсуждение. Большое количество факторов, влияющих на эффективность технологических процессов при получении продукции животноводства, их сложный характер, различие оценочных критериев значимости, сложные взаимосвязи, делают необходимым использование системного подхода к их получению. Биотехнологическая система, состоящая из совокупности технологических процессов, начиная от подготовки рациона кормления, включающего мойку и измельчение корнеклубнеплодов и заканчивая получением животноводческой продукции с помощью машин и оборудования, обеспечивающих их функционирование, рассматривается впервые.

На рисунке 1 представлена технологическая схема БТС доставки корнеклубнеплодов к пункту приготовления для их мойки, измельчения и последующей выдачи животным в соответствии с рационом кормления коров. Она включает в себя питатель-дозатор 1 с наклонным транспортёром 2, мойки-измельчителя 3 и отстойника 4.



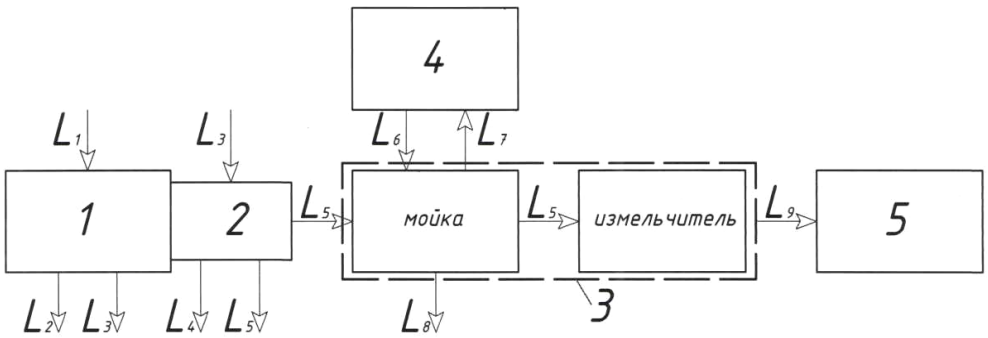
1 – питатель-дозатор; 2 – наклонный скребковый транспортёр;
3 – мойка-измельчитель ИКМ-Ф-10; 4 – отстойник; 5, 6 – насосы;7 – тракторный прицеп

Рисунок 1 – Схема БТС доставки и приготовления корнеклубнеплодов

Установлено, что совокупность упорядоченно расположенных и находящихся во взаимодействии взаимообусловленных элементов можно представить в виде иерархической структуры, для изучения которой используют системный подход и системный анализ [3, 4, 5]. Системный анализ в настоящее время является основным методом научного изучения сложных систем, включающих совокупность процессов и явлений различной природы. С позиций системного анализа решаются задачи математического моделирования и оптимизации как отдельных аппаратов и подсистем технологических схем, так и системы в целом. При этом, методология системного подхода сохраняется при анализе иерархических уровней системы.

При рассмотрении любого производства с позиций системного анализа в нём можно выделить ряд элементов, каждый из которых в свою очередь может рассматриваться как биотехнологическая система. Каждый из этих элементов (подсистем) характеризуется сложной иерархической структурой связей, к которой также применим системный подход. Применительно к технологическому процессу приготовления корнеклубнеплодов к скармливанию, включая доставку, мойку, измельчение и использование их в рационе кормления коров под БТС следует понимать сложную иерархическую структуру упорядоченно расположенных взаимозависимых и взаимосвязанных устройств, обеспечивающих преобразование материальных (рационы кормления) и энергетических потоков в процессе получения и переработки корма в целевые

продукты – мясо и молоко. Эту взаимосвязь целесообразно проанализировать, используя аппарат теории графов [6, 7]. На основе технологической схемы БТС составим схему в виде технологических операторов (рисунок 2), условия работы которой представлены следующим образом.



1 – питатель-дозатор; 2 – наклонный скребковый транспортёр;3 – мойка-измельчитель; 4 – отстойник; 5 – кормораздатчик-смеситель

Рисунок 2 – Операторная схема БТС доставки и приготовления корнеклубнеплодов

Корнеклубнеплоды загружаются в бункер питателя-дозатора 1 и доставляются трактором к линии приготовления. Тракторист задним ходом подъезжает к мойке-измельчителю 3 и с помощью гидроцилиндров совмещает выгрузное окно наклонного транспортёра 2 с загрузочным окном мойки-измельчителя. Из бункера питателя-дозатора 1 корнеклубнеплоды под собственным весом поступают на продольный цепочно-планчатый транспортёр (поток L_1). За счёт трения между корнеклубнеплодами во время движения их по наклонным бортам боковых стенок бункера питателя-дозатора 1 и перемещения по расположенного внутри него скребкового транспортёрапроисходит первоначальное отделение загрязнений(почвенные примеси, камни и другие тяжёлые предметы) и их отвод (поток L_2). Далее корнеклубнеплоды поступают на наклонный скребковый транспортёр 2 (поток L_3), где также за счёт трения между собой и их перемещения происходит дополнительное отделение загрязнений и их отвод (поток L_4). Далее поток L_5 корнеклубнеплодов поступает в мойку, где они окончательно отмокают и отмываются в ванне от загрязнений, омываются струёй очищенной воды (поток L_6), создаваемойнасосом изотстойника 4. Одновременно происходит отвод загрязнённой воды (поток L_7) насосом в отстойник 4 и удаление камней из ванны выгрузным транспортёром мойки (поток L_8). В измельчитель попадает поток L_5, где происходит измельчение корнеклубнеплодов в соответствии с зоотехническими требованиями.По выгрузному лотку измельчителя корнеклубнеплоды поступают в самоходный кормораздатчик-смеситель 5 (поток L_9) с электронной системой взвешивания компонентов рациона.

Технологические потоки взаимодействуют последовательно между собой, БТС и окружающей средой, что способствует целенаправленной работе всей системы в целом. Условные потоки отображают потери вещества или энергии элементов БТС в окружающую среду и различные материальные и энергетические возмущающие воздействия внешней среды на действие БТС.

Характеристика потоков по схеме технологических операторов следующая:

$$L_1 = \{q_1; W_1; \rho_1; \lambda_1\}; L_2 = \{q_2; W_2; \rho_2; \lambda_2\}; L_3 = \{q_3; W_3; \rho_3; \lambda_3\};$$

$$L_4 = \{q_4; W_4; \rho_4; \lambda_4\}; L_5 = \{q_5; W_5; \rho_5; \lambda_5\}; L_6 = \{q_6; W_6; \rho_6; \lambda_6\};$$

$$L_7 = \{q_7; W_7; \rho_7; \lambda_7\}; L_8 = \{q_8; W_8; \rho_8; \lambda_8\}; L_9 = \{q_9; W_9; \rho_9; \lambda_9\},$$

где q - норма выдачи корнеклубнеплодов; W - влажность корнеклубнеплодов; ρ - плотность корнеклубнеплодов; λ - степень измельчения корнеклубнеплодов.

Основу анализа БТС составляет расчёт материальных и энергетических балансов в условиях установившегося технологического режима. При этом составляют и решают системы уравнений балансов. Система уравнений баланса БТС образуется совокупностью независимых уравнений, включающих в себя уравнения материальных балансов.

При анализе работы БТС рассматривают внешние источники (корнеклубнеплоды), которые поступают в технологическую линию для их приготовления, и внутренние, которые отображают изменения в элементах системы. Для каждого элемента БТС на основе законов сохранения массы и энергии составляют системы уравнений материальных балансов по общему массовому расходу вещества физических потоков. Такое уравнение имеет следующий вид:

$$\sum_{j=0}^{n} m_{\mathrm{j}} = 0 \tag{1}$$

Уравнение материального баланса по массовому расходу физических и фиктивных материальных потоков:

$$\sum_{j=0}^{n} m_{\mathrm{j}} c_{\mathrm{ji}} + \sum_{n=0}^{k} G_{\mathrm{a}} = 0 \tag{2}$$

где m_{j} – общий массовый расход вещества; c_{ji} – доля i – го элемента компонента в единице общего расхода вещества; G_{a} – массовый расход a – го материального фиктивного потока.

Для j – го элемента БТС справедливо линейное уравнение баланса каждого типа обобщённых потоков:

$$\sum_{j=0}^{n} Q_{\mathrm{ij}} = 0 \tag{3}$$

где Q_{ij} – i – й обобщённый поток, связанный с элементами БТС.

Совокупность уравнений, составленных для всех элементов системы, образуют систему линейных уравнений балансов одного типа обобщённых потоков БТС [6,7]:

$$[A] + [Q] = 0 \tag{4}$$

где $[A] = \lfloor a_{\mathrm{ij}} \rfloor$ – матрица системы уравнений, элементы которой

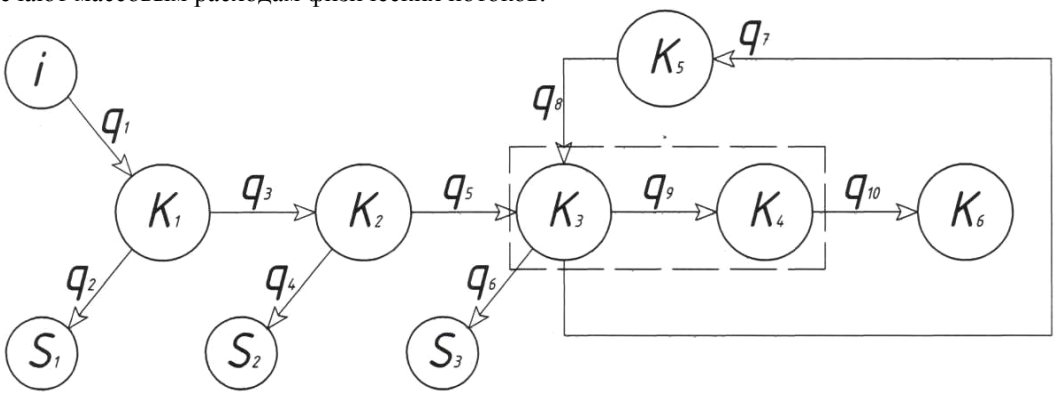
$$a_{ij} = \begin{cases} +1(-1), & \text{если } j - \text{й обобщенный элемент поток входит (выходит) в } i - \text{й элемент} \\ 0, & \text{если } j - \text{й обобщенный поток не связан с } i - \text{м элементом} \end{cases}$$

Для рассматриваемой БТС на основе закона сохранения массы можно составить девять уравнений материального баланса по массовым расходам потоков обрабатываемых продуктов (корнеклубнеплодов). Полученная система будет содержать девять уравнений материального баланса с известными (свободными) и неизвестными (базисными) переменными. Выбрать свободные переменные рассматриваемых уравнений БТС довольно сложно, так как необходимо выполнить большой объём вычислений. Решение указанной задачи можно значительно упростить, если проанализировать топологические свойства БТС. При этом каждой системе можно поставить в соответствие потоковый граф, являющийся некоторой топологической моделью одного типа обобщённых или физических потоков данной системы. Потоковые графы используют для анализа технологических систем и позволяют выполнять структурные преобразования, упрощающие анализ. Сложность анализа БТС состоит в большой размерности задач, а также в том, что в ней имеется рецикл, затрудняющий моделирование такой системы. Используя технологические процессы в виде графов и анализ матрицы смежности, удаётся провести декомпозицию системы на подсистемы меньшей размерности и исследовать работу БТС через её подсистемы.

Уравнения материального баланса на основе анализа операторной схемы БТС (рисунок 2) позволяют определять нагрузки на все элементы, входящие в БТС. При этом свободные переменные системы целесообразно выбирать на основе анализа её топологических свойств.

На рисунке 3 представлен потоковый материальный граф для установившегося технологического режима БТС.

Вершины графа по общему массовому расходу физических потоков соответствуют элементам K системы приготовления корнеклубнеплодов, которые трансформируют общие массовые расходы физических потоков, источника i и стокам S веществ физических потоков. Дуги отвечают массовым расходам физических потоков.



K – элементы; i – источник; S – стоки; q – потоки

Рисунок 3 – Потоковый материальный граф

Анализируя потоковый материальный граф (рисунок 3) видим, что доставка и приготовление корнеклубнеплодов происходят в непрерывном потоке. Потери массы корнеклубнеплодов и их питательных свойств при сокращении технологических операций БТС снижаются пропорционально числу элементов системы. При этом время приготовления корнеклубнеплодов в БТС сокращается в несколько раз по сравнению с общепринятыми на животноводческих фермах и комплексах аналогичными системами.

Выводы. Все это позволяет сделать вывод о том, что загрязнение окружающей среды при применении БТС сведено к минимуму, а полученные уравнения материального баланса позволяют определять нагрузки на все элементы, входящие в БТС. Кроме того, последовательное изучение природы и силы этих связей позволяет разрабатывать и принимать наиболее рациональные решения с целью повышения эффективности использования техники.

Список литературы

1. Черновол Ю.Н. Обоснование технологического процесса и параметров установки порционной уборки навоза из коровников: автореф. диссерт. канд. техн. наук. –Москва, 2018. 26с.

2. Овчинников Ю.А. Биотехнология сегодня и завтра // Экономическое сотрудничество стран СЭВ, 1985. – №3. – С.15-19.

3. Капустин В.П. Системные исследования процессов уборки, транспортировки и переработки бесподстилочного навоза: 3-я науч. конф. в рамках тез. докл. / Тамбовск. техн. ун-т, Тамбов, 1996. – С.33.

4. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара; пер. с англ. М.: Мир, 1973. 344с.

5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М. Наука, 1981. 487с.

6. КафаровВ.В., ПеровВ.В., Мешалкин В.Л.Принципы математического моделирования химико-технологических систем. М.: Химия, 1974. 344с.

7. КафаровВ.В., ВинаровА.Ю., ГордеевЛ.С.Моделирование и системный анализ биохимических производств. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 280с.

References

1. CHernovol YU.N. Obosnovanie tekhnologicheskogo processa i parametrov ustanovki porcionnoj uborki navoza iz korovnikov: avtoref. dissert. kand. tekhn. nauk. – Moskva, 2018. 26 s.

2. Ovchinnikov YU.A. Biotekhnologiya segodnya i zavtra // Ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran SEV, 1985. – №3. – S.15-19.

3. Kapustin V.P. Sistemnye issledovaniya processov uborki, transportirovki i pererabotki bespodstilochnogo navoza: 3-ya nauch. konf. v ramkah tez. dokl. / Tambovsk. tekhn. un-t, Tambov, 1996. – S.33.

4. Teoriya ierarhicheskih mnogourovnevyh sistem / M. Mesarovich, D. Mako, I. Takahara; per. s angl. M.: Mir, 1973. 344s.

5. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. M. Nauka, 1981. 487s.

6. Kafarov V.V., Perov V.V., Meshalkin V.L. Principy matematicheskogo modelirovaniya himiko-tekhnologicheskih sistem. M.: Himiya, 1974. 344s.

7. Kafarov V.V., Vinarov A.YU., Gordeev L.S. Modelirovanie i sistemnyj analiz biohimicheskih proizvodstv. M.: Lesn. prom-st', 1985. 280s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Брусенков Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru.

Капустин Василий Петрович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: prof@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Brusenkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru.

Kapustin Vasily – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: prof@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 19.08.2019

УДК 631.363.28
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-55-62

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАГОТОВКИ И ХРАНЕНИЯ КОРМОВ НА ПРИМЕРЕ СЕНАЖА

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[2]Шварц Сергей Анатольевич
[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия»
[2]ООО «Меридиан»

Реферат. *Известно, что закладка кормовых культур на сенаж вместе с концентратами может сократить, и даже заменить, силос, сено и корнеплоды. Определены закономерности изменения урожайности, питательности и потерь растительной массы от продолжительности уборки. Установлено, что оптимальный период заготовки корма, не должен превышать 9 дней, растительную массу необходимо подбирать при достижении влажности 45-55%. Показана возможность применения механизированной технологии заготовки и хранения сенажа в прессованном виде с обвязкой и без обвязки тюков. Предложены технические решения для поршневого пресс-подборщика с целью получения тюков без обвязки шпагатом (или проволокой) путем исключения из конструкции дорогостоящего и не надежного в работе вязального аппарата и установке на поршне пяти пуансонов. Погрузка тюков в транспортную машину производится боковым погрузчиком пресс-подборщика без остановки.Потери растительной массы при погрузке в кузов транспортной машины определялись путем сбора и взвешивания с*

применением кузовных уловителей. Исследовали варианты технологий и комплексов машин для заготовки сенажа в цельном, измельченном и прессованном виде. Производственной проверкой подтверждена эффективность закладки сенажа в прессованном виде. Питательность корма из растений люцерны составила: в прессованном виде – 0,34 к.ед.; измельченном – 0,31 к.ед.; в цельном – 0,27 к.ед. Рекомендовано выемку сенажа при скармливании животным производить погрузчиком непрерывного действия с фрезерным рабочим органом.

Ключевые слова: *механизированные технологии, уборка, хранение, люцерна, пресс-подборщик, сенаж, качество корма*

TECHNOLOGICAL FEATURES OF PREPARATION AND STORAGE OF FEED ON THE EXAMPLE OF SENAGE

[1]Schwartz Anatoly
[2]Schwartz Sergey

[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"
[2]LLC "Meridian"

Abstract. *It is known that laying fodder crops for haylage together with concentrates can reduce, and even replace, silage, hay and root crops.The patterns of changes in yield, nutrition and loss of plant mass from the duration of harvesting are determined. It was established that the optimal period of fodder harvesting should not exceed 9 days, plant mass should be selected when reaching a moisture content of 45-55%.The possibility of applying the mechanized technology of harvesting and storage of silage in pressed form with strapping and without strapping of bales is shown.Technical solutions for the piston baler are proposed with the aim of producing bales without strapping with twine (or wire) by eliminating the costly and not reliable knitting apparatus from the design and installing five punches on the piston.Bales were loaded into a transport vehicle using a side loader from the baler without stopping.The loss of plant mass during loading into the body of a transport vehicle was determined by collecting and weighing using traps on the vehicle body.Variants of technologies and complexes of machines for harvesting haylage in whole, crushed and pressed form were investigated.The effectiveness of the pressed silage laying was confirmed by a production audit.The nutritional value of feed from alfalfa plants is equal to: in the pressed form - 0.34 units; crushed - 0.31 c .; in whole - 0.27 units. It is recommended to remove haylage when feeding to animals with a continuous loader with a milling working body.*

Keywords: *mechanized technologies, cleaning, storage, alfalfa, baler, haylage, feed quality*

Введение. Основной задачей сельского хозяйства является обеспечение дальнейшего роста и устойчивости сельскохозяйственного производства, повышение эффективности земледелия и животноводства. Результаты исследований показывают, что только за счет внедрения в производство прогрессивных способов заготовки кормов можно увеличить их производство на 20-30% при значительном улучшении качества [1].

Материалы и методика. Способы заготовки корма оказывают существенное влияние на качество и потери его, затраты труда и денежных средств на единицу продукции. Поэтому, в данной работе, на основе разработанной методики, установили рациональный способ и продолжительность уборки трав на примере люцерны.

Влияние продолжительности скашивания люцерны на ее урожайность определялось в производственных условиях ОППХ ВНИИЗиЗПЭ Медвенского района Курской области по методике полевого опыта с 1 по 30 июля [2]. Среднемесячное количество осадков в период уборки составил 78 мм, при температуре воздуха +18,2 ^{o}С. Возделывание и уборку трав осуществляли на полях со средней длинной гона 820м.

Результаты обработки опытных данных по влиянию продолжительности уборки люцерны на ее урожайность приведены на рисунке 1.

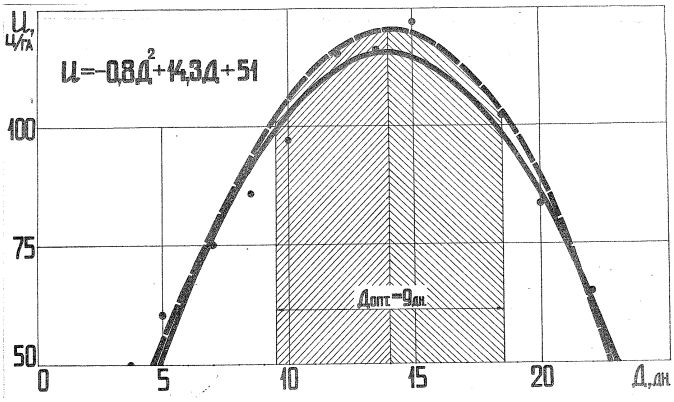


Рисунок 1 – Зависимость урожайности люцерны (U) от продолжительности уборки (D).

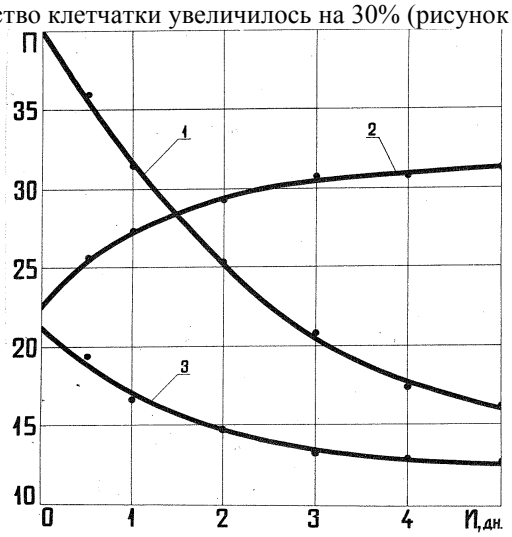
Исходя из физического смысла задачи, функция $U=f(D)$ имеет вид $U=a\cdot D^2+в\cdot D+c$. Методом средних значений [3] определили коэффициенты а, в, с, составив систему уравнений и решив ее получили искомое корреляционное уравнение

$$U=-0,8D^2+14,3D+51 \quad (1)$$

Система уравнений была получена из условия наибольшей близости искомой кривой к индивидуальным точкам корреляционного поля, (т.е. $\delta_{ср}=3,97\%$) и расхождение считается случайным.

Беря первую производную $\frac{dU}{dD}=0$ и решая уравнение (1) относительно D определили оптимальный период заготовки корма в хозяйстве, который равен 9 дням.

Наши исследования и агрохимлаборатории показали, что уже на второй день после скашивания люцерны косилками-плющилками содержание протеина уменьшилось на 31%, каротина на 36%, а количество клетчатки увеличилось на 30% (рисунок 2).



1 – каротин, мг; 2 – клетчатка, %; 3 – протеин, %.

Рисунок 2 – изменение питательности люцерны (П) от сроков подбора (n) из валков.

Изменение каротина (П кар), клетчатки (П к) и протеина (П п) в растительной массе от сроков подбора ее из валков подчиняется эмпирическим зависимостям, соответственно

$$П_{кар}=0,89n^2-9,27n+40,49. \quad (2)$$

$$П_к=-0,52n^2+4,09n+23,1. \quad (3)$$

$$П_п=0,46n^2-3,88n+20,78. \quad (4)$$

Следовательно, сроки уборки необходимо правильно сочетать с машинами и способом хранения корма.

Для выбора способа уборки сравнивалась работа машин в трех технологических линиях при заготовке растительной массы в цельном, измельченном и прессованном виде [4].

Потери растительной массы в трех поточных линиях определялись путем сбора и взвешивания люцерны, оставшейся на поле, а при погрузке в кузов транспортных машин – с помощью уловителей (рисунок 3).

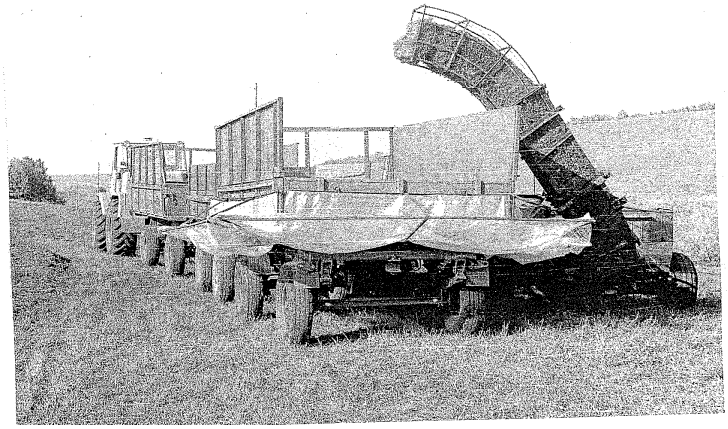


Рисунок 3 – Оборудование прицепа уловителями.

Так потери измельченной массы при погрузке ее в транспортные средства и от выдувания потоком воздуха листьев достигали 10-15%.

При уборке растительной массы в цельном виде потери листьев при подборе, сволакивании, погрузке и транспортировке равнялись 5-8%, при прессовании – 3-4%.

Из-за этого ухудшилась питательность люцерны и снизился сбор ее с убираемой площади. При уменьшении влажности массы возрастают механические потери люцерны при уборке ее (рисунок 4).

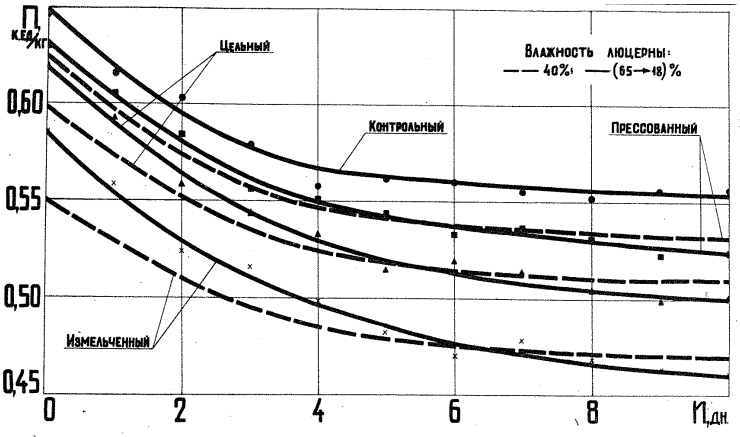


Рисунок 4 – Влияние положительности подбора валков (n) и способа заготовки сенажа из люцерна на питательность корма (П).

Кроме того при подборе растительной массы через 5 дней после скашивания, выход кормовых единиц с 1 кг ее снизился на 13-15%. Поэтому подбирать ее (рисунок 4) необходимо не позже, чем через 2-3 дня при достижении влажности массы 45-55% (контрольный).

Изменение питательности (П) люцерны от продолжительности подбора (n) ее из валков подчиняется криволинейной зависимости (рисунок 4). Тип корреляционного уравнения обуславливается характером связи между случайными величинами. В большинстве случаев характер этой связи оказывается таким, что для ее выражения применяется корреляционное

уравнение в виде полинома того или иного порядка. Для установления его вычислялись основные статистики корреляционного уравнения [3].

В рассматриваемом случае средние значения равны: n=5дн, П=0,578к.ед.

В результате математических преобразований и решений корреляционное уравнение приняло вид

$$П=0,0016n^2-0,0244n+0,644 \quad (5)$$

Сравнивая вероятные значения, с наблюдаемыми средними значениями, выяснили, что корреляционное уравнение (5) достаточно хорошо выразило зависимость изменения питательности люцерны (П) от продолжительности подбора (n) ее на валков.

Результаты и их обсуждение. Потери корма и его питательность зависит не только от сроков уборки, но и от способа заготовки и хранения.

Убранную растительную массу складировали для хранения на стационарных пунктах закрытого и открытого типа.

В опытах проводилась оценка технологий закладки растительной массы на сенаж в рассыпном (цельном), измельченном и прессованном виде в бетонных траншеях. Анализ проб корма представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав и питательность сенажа

Показатели	Закладка сенажа			Среднее по области
	в цельном виде	в измельченном виде	в прессованном виде	
В 1кг корма содержится:				
Кормовых единиц, кг	0,27	0,31	0,34	0,29
Перевираемого протеина, кг	37,0	42,36	52,25	46,4
Кальция, г	7,17	7,66	9,59	8,7
Фосфора, г	0,9	0,96	1,6	1,3
Каротина, мг	9,25	13,08	13,72	11,2
Химический состав корма, %				
Вода	59,79	56,1	43,89	52,6
Протеин	5,63	6,84	8,57	7,1
Клетчатка	12,98	12,93	18,3	15,2
БЭВ	15,88	18,96	23,01	16,9
Зола	5,72	5,17	6,23	8,2

На данных таблицы 1 видно, что наилучшим кормом является сенаж в прессованном виде.

Чтобы получить полноценный корм нужно не только закрыть хранилище с сенажом в срок, но и исключить окисление сенажа и снизить содержание масляной и уксусной кислот. Для этого надо предотвратить попадание в траншею атмосферных осадков и воздуха. Добивались этого трамбовкой массы и герметизацией хранилища.

В опытах питательность люцерны при закладке равнялась 0,57 к ед. Вскрытие траншей с сенажом в цельном, измельченном и прессованном виде при скармливании и анализ проб показали, что содержание масляной кислоты в корме соответственно составило 1,06; 0,17; 0,12%, а уксусной – 0,17; 0,4; и 0,64%. В цельном виде корм имел 0,44 к. ед, в измельченном – 0,52, а в прессованном – 0,54 к.ед. (рисунок 5).

Качество сенажа в цельном виде было ниже по сравнению с другими способами закладки. Это происходит из-за трудности уплотнения растений, которые в период хранения дают большую усадку и возникает разгерметизация траншеи. При измельчении растительной массы увеличивается площадь контакта на растениях с кислородом, а при закрытии траншеи он остается в ней и создает неблагоприятные условия для консервирования. Более высокая питательность сенажа в прессованном виде объясняется лучшим уплотнением массы при прессовании и трамбовке трактором в траншее, сохранением наиболее питательной части растений – листочков и сведением до минимума потерь корма на поле.

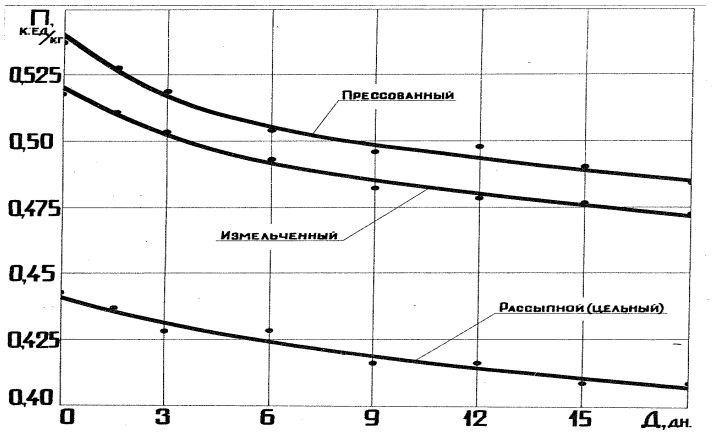


Рисунок 5 – Влияние способа заготовки сенажа и продолжительности хранения его в открытой траншее при скармливании на качество корма.

Кроме того, потери питательности сенажа могут быть при хранении его в открытой траншее при скармливании животным. Поэтому необходимо организовать раздачу корма так, чтобы он находился в открытом виде в траншее не более одного-двух дней (рисунок 5).

Часовая производительность грейферного погрузчика на выемке сенажа из траншеи в измельченном виде составила 16,7, смеси прессованного и измельченного – 14,5, в прессованном без обвязки 13,2 и в цельном виде – 9,37 т. Чтобы механизировать раздачу корма, необходимо на выемке сенажа из траншеи, независимо от способа его закладки, применять выгрузчики непрерывного действия с фрезерными рабочими органами. Хорошо себя зарекомендовал измельчитель фирмы «Farmhand».

Целесообразность применения закладки сенажа в прессованном виде подтвердили и экономические выводы. Например, по приведенным затратам на 1 т корма в зависимости от расстояния перевозок растительной массы (рисунок 6) видно, что без учета качества выгоднее заготавливать сенаж в измельченном виде.

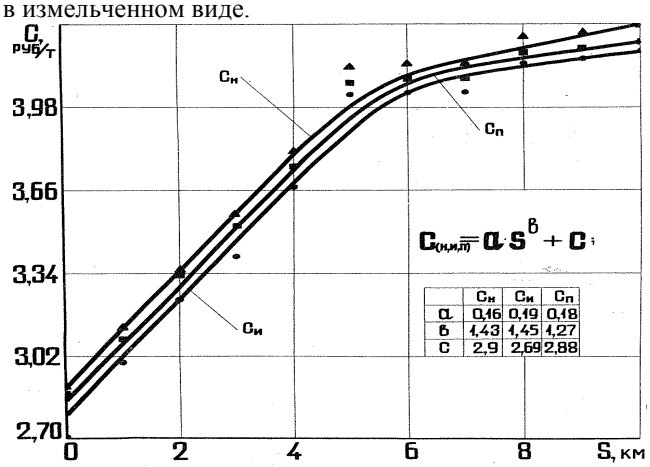


Рисунок 6 – Зависимость приведенных затрат (С) на 1 т сенажа от расстояния перевозов (S) при закладке неизмельченной (C_H), измельченной (C_n) и прессованной ($C_п$) растительной массы.

Однако при учете качества корма (рисунок 7) целесообразнее заготавливать его в прессованном виде.

Изменение приведенных затрат (С) от расстояния транспортировки груза (S) подчиняется зависимости типа $C=a\cdot S^b+c$.

Относительно ошибки между теоретическими предпосылками и эмпирическими формулами находятся в пределах 1-2%, т.е. расхождение между ними является случайным.

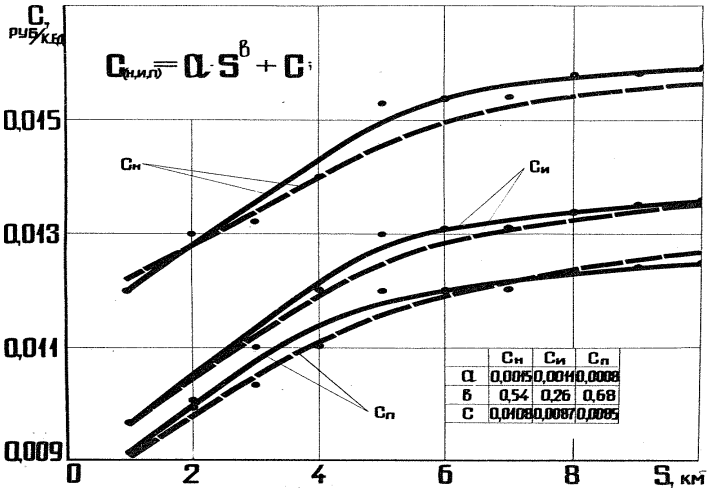


Рисунок 7 – Изменение приведенных затрат (С) на 1 кормовую единицу от расстояния перевозок (S) при закладке неизмельченной ($C_Н$), измельченной ($C_п$) и прессованной ($C_п$) растительной массы.

Установлено, что применение в хозяйствах пресс-подборщиков поршневого типа для заготовки сена и соломы в прессованном виде имеют низкий коэффициент использования. Этот показатель не превышает 0,11-0,136, а годовая выработка на один пресс еще ниже и составляет 250-350 тонн [5].

Учитывая это и сложные погодные условия при заготовке грубых кормов в хозяйствах желательно увеличить производство сенажа, используя на этой работе, наряду с другими машинами, пресс-подборщики. Применение прессов на заготовке сенажа, наряду с прессованием сена и соломы, увеличило годовую загрузку их на 19 дней.

Однако скармливание корма в тюках обвязанных проволокой приводит, к гибели 0,2-0,5% животных от их общего количества. Использование синтетического шпагата исключает этот недостаток, но увеличивает стоимость корма, как и применение, проволоки на 15-25%.

Простои пресса из-за ненадежной работы вязального аппарата составляли 19-25, а в некоторых случаях 70% времени смены. Потери времени смены из-за поломок вязального аппарата и гибель животных от поедания ими кусочков проволоки можно устранить, как показали исследования д-р. техн. наук Особова В.И., Долгова И.А., Виноградова В.И., канд. с.-х. н. Дутова В.Д. и других авторов, применением безобвязачного прессования [6].

Для устранения указанных недостатков, при заготовке корма в прессованном виде, было произведено переоборудование пресс-подборщика для безобвязачного прессования и механированной боковой подачей тюков в транспортные машины и проведены его испытания.

Выводы. 1. Минимизация потерь питательности растительной массы обеспечивается при подборе ее в течение не более 2-3 дней, при достижении влажности скошенных растений 45-55%.

2. Исключение из конструкции пресс-подборщика вязального аппарата и обвязочного материала подтвердило целесообразность применения безобвязочного прессования грубых кормов.

3. Сравнительный анализ питательности сенажа из растений люцерны в цельном, измельченном и прессованном виде составил, соответственно: 0,27; 0,31 и 0,34 к.ед.

4. Преимущество сенажа в прессованном виде подтверждает и химический состав корма.

5. Применение пресс-подборщиков на заготовке прессованного сенажа, в зависимости от объема производства, увеличивает годовую загрузку их на 16-19 дней.

Список литературы

1. Коломейченко В.В. Кормопроизводство [Электронный ресурс]: учебник. - Санкт-Петербург: Лань, 2015. - 656 с. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/56161.

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. - М.: Агропромиздат, 1985. 315с.

3. Корн Г.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1970. 720с.

4. Машины для заготовки кормов: регулировка, настройка и эксплуатация [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Б.Г. Зиганшин [и др.]; под ред. Б.Г. Зиганшина. - Санкт-Петербург: Лань, 2017. - 200 с. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/95160.

5. Зыкова Е.П. Сравнительный анализ тюковых и рулонных пресс-подборщиков [Электронный ресурс] // Вестник Таджикского технического университета им. М.С. Осими - 2014. - № 2(26). - С. 35-37. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/journal/issue/294066.

6. Долгов И.А. Некоторые вопросы теории прессования сена и соломы с применением пуансонов. Труды ВИСХОМ, 1962, вып. 39.

References

1. Kolomejchenko V.V. Kormoproizvodstvo [Elektronnyj resurs]: uchebnik. - Sankt-Peterburg: Lan', 2015. - 656 s. - Rezhim dostupa: https://e.lanbook.com/book/56161.

2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. - M.: Agropromizdat, 1985. 315s.

3. Korn G.A. Spravochnik po matematike. M.: Nauka, 1970. 720s.

4. Mashiny dlya zagotovki kormov: regulirovka, nastrojka i ekspluataciya [Elektronnyj resurs]: ucheb. posobie / B.G. Ziganshin [i dr.]; pod red. B.G. Ziganshina. - Sankt-Peterburg: Lan', 2017. - 200 s. - Rezhim dostupa: https://e.lanbook.com/book/95160.

5. Zykova E.P. Sravnitel'nyj analiz tyukovyh i rulonnyh press-podborshchikov [Elektronnyj resurs] // Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta im. M.S. Osimi - 2014. - № 2(26). - S. 35-37. - Rezhim dostupa: http://e.lanbook.com/journal/issue/294066.

6. Dolgov I.A. Nekotorye voprosy teorii pressovaniya sena i solomy s primeneniem puansonov. Trudy VISKHOM, 1962, vyp. 39.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e.mail: aashwarz.ru.

Шварц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, ООО «Меридиан», Россия, г. Курск, e.mail: shwarz@inbox.ru.

Author credentials

Affiliations

Schwarz Anatoly – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: aashwarz.ru.

Schwarz Sergey – candidate of technical sciences, LLC “Meridian”, Russia, Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Поступила в редакцию (Received): 19.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.08.2019

УДК 631.017.3: 621.181
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-62-68

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СНИЖЕНИЯ АНТИПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЛНОЖИРНЫХ СОЕВЫХ БОБАХ

[1]Шувалов Анатолий Михайлович
[1]Машков Алексей Николаевич
[1]Чернов Денис Серафимович

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Известно, что односторонняя термообработка зерна сои обладает существенным недостатком в виде неравномерности прогрева и необходимости увеличения температуры обработки. Исследовано воздействие комбинированного нагрева (снизу электронагревательной*

поверхностью транспортирующего устройства, сверху инфракрасными излучателями) на питательные свойства сои. Выявлены преимущества комбинированного нагрева: высокая равномерность прогрева по всему объему зерна (±5°С), снижение конечного значения температуры нагрева до 115-120 °С, уменьшение времени нагрева в 1,4 раза сои. Проведен многофакторный эксперимент для установления характера взаимного влияния режимных параметров термообработки сои: исходной влажности бобов, времени разогрева, времени темперирования. В качестве критерия оптимизации принят минимальный уровень активности уреазы. Получено уравнение регрессии. Анализ трехмерных графиков, полученных при его решении с использованием программы Mathcad 14.0, позволил определить, что наименьшее значение уровня активности уреазы достигается при времени разогрева 70 секунд и влажности зерна 20%, времени темперирования 15 мин. Установлено, что температура зерна сои за время нахождения в температоре не должна опускаться ниже 90 °С. Проведен расчет толщины термоизоляционного слоя бункера для темперирования сои при таких условиях. Он составил 36 мм. По определенным рациональным режимам темперирования сои создан действующий экспериментальный образец бункера, допускающий снижение температуры бобов на 5-7 °С, что вполне удовлетворяет условиям выполнения технологического процесса термической обработки сои.

Ключевые слова: *соя, термическая обработка, комбинированный нагрев, антипитательные вещества*

REGIME PARAMETERS OF DECREASE IN ANTI-NUTRIENTS IN FULL-FAT SOYBEANS

[1]Shuvalov Anatoliy
[1]Mashkov Alexey
[1]Chernov Denis
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Annotation. *It is known that one-sided heat treatment of soybean grain has a significant drawback in the form of uneven heating and the need to increase the processing temperature. The effect of combined heating (from above by IR emitters, from below by the electric-heating surface of the conveying device) on the nutritional properties of soybean was studied. The advantages of combined heating were revealed: high uniformity of heating throughout the grain volume (± 5 ° C), reduction of the final value of the heating temperature to 115-120 ° C, reduction of heating time by 1.4 times soy. A multivariate experiment was conducted to establish the nature of the mutual influence of the regime parameters of soybean heat treatment: initial bean moisture, warm-up time, and tempering time. The minimum level of urease activity was adopted as an optimization criterion. The regression equation was obtained. Analysis of the three-dimensional graphs obtained by solving it using the Mathcad 14.0 program made it possible to determine that the smallest value of the urease activity level is achieved with a heating time of 70 seconds and a grain moisture of 20%, a tempering time of 15 minutes. It was established that the temperature of soybean grain during its stay in the temperature should not fall below 90 ° C. The thickness of the insulating layer of the hopper for soybean tempering under such conditions was calculated. It was 36 mm. The current experimental sample of the hopper, allowing the temperature of the beans to decrease by 5-7 ° C, which fully satisfies the conditions for the technological process of heat treatment of soybeans, was created according to certain rational modes of soybean tempering.*

Keywords: *soy, heat treatment, the combined heating, anti-nutrients*

Введение. Эффективность продукции животноводства напрямую зависит от состава и качества кормов. На сегодняшний день наиболее перспективной сельскохозяйственной культурой в производстве кормов для повышения их питательной ценности является соя, являющаяся источником протеина, занимающего важнейшую роль в обмене веществ у животных [1 – 5]. К сожалению, применение соевых бобов при кормлении невозможно без специальной обработки из-за присутствия антипитательных веществ, отрицательно воздействующих на здоровье и рост животных. Следует отметить, что протеин сои хорошо растворим в рубце жвачных животных. Классические методы снижения антипитательных веществ, большинство из которых представляет

собой термолабильные белки, основаны на высокотемпературной обработке соевых бобов, при которой происходит их денатурация и снижается степень растворимости фракций, что приводит к повышению биологической ценности протеина.

В последние годы широкое распространение получил способ сохранения питательной ценности сои с применением ее нагрева в потоке инфракрасного излучения, который принято называть – микронизацией [6].

Однако, как показали проведенные нами исследования [7 – 9], нагрев сои только с помощью инфракрасного излучения не обеспечивает равномерного разогрева по всему объему. На верхней поверхности наблюдается высокая температура, снизу – слишком низкая, разница достигает 55 - 60 °С. Было установлено, что для уменьшения неравномерности прогрева и обеспечения при этом снижения антипитательных веществ в зерне сои до нормируемого уровня, необходимо поднять конечную температуру до 140 - 150 °С и снизить скорость нагрева. Все это приводит к снижению качества обработки сои и увеличению энергозатрат.

В ФГБНУ ВНИИТиН предложен «Способ обработки полножирных соевых бобов» (новизна защищена патентом) [10] с двухсторонним быстропротекающим (50-70 с) нагревом: сверху ИК-излучатели, снизу электронагревательными элементами с последующей выдержкой нагретых бобов в бункере с усиленной термозащитой. Такой способ термической обработки соевых бобов позволяет уменьшить время нагрева в 1,4 раза по сравнению с односторонним ИК-нагревом, добиться высокой равномерности прогрева по всему объему соевых бобов (±5°С), понизить верхнюю границу температуры нагрева до 115-120 °С. В итоге это приводит к экономии расхода энергии до 29%, повышению производительности на 40 %, достижению более высоких качественных показателей продукта [7]. Следует отметить, что важным конструктивным элементом в цепочке технологического оборудования для обработки соевых бобов по этому способу является бункер с усиленной термозащитой (температор), в котором нагретая соя выдерживается с заданным временем.

Результаты и их обсуждение. Исследования позволили выбрать оптимальное время выдержки соевых бобов в температоре – 15 минут. Было установлено (рисунок 1), если выдержка времени нахождения нагретой сои в теплоизолированном бункере -темперирование меньше 15 минут, то уровень уреазы (индикатор антипитательных веществ) выше нормы, а если выдержка 20-25 мин, то уреаза стремится к нулю, а это нецелесообразно (достаточно снизить уровень уреазы до 0,2-0,3 ΔpH.

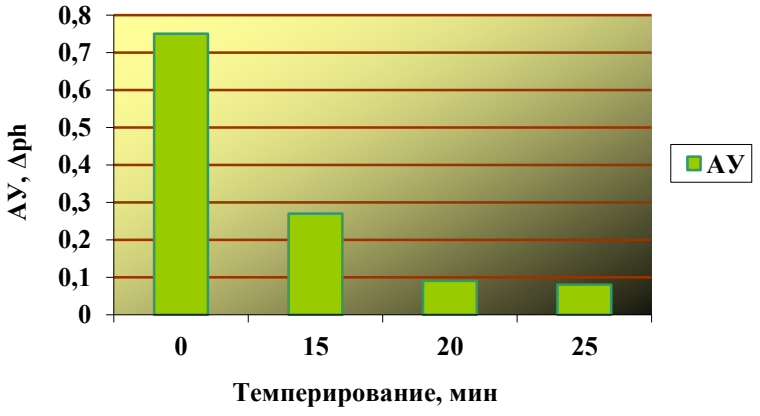


Рисунок 1 – Влияние выдержки в теплоизолирующей емкости на активность уреазы в соевых бобах

С помощью многофакторного эксперимента исследовали взаимное влияние различных факторов на интенсивность снижения уровня уреазы. Критерием оптимизации был выбран минимальный уровень активности уреазы. По результатам ранее проведенных экспериментальных исследований факторами были приняты – время разогрева τ влажность f, время темперирования $\tau_{темп}$. Диапазон варьирования факторов указан в таблице 1. Нижний уровень времени разогрева

соевых бобов выбран - 60 с, так как ниже этого уровня не удавалось достичь нормируемых значений активности уреазы, верхний уровень – 80 с)

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Факторы	Обозначение	Верхний уровень	Нижний уровень
Время разогрева соевых бобов τ, с	x_1	80	60
Влажность соевых бобов f, %	x_2	20	15
Время темперирования соевых бобов $\tau_{темп}$, с	x_3	900	600

По результатам многофакторного эксперимента установили взаимосвязь режимных параметров обработки сои и активности уреазы, выраженную следующим уравнением регрессии:

$$y = 1{,}02 - 0{,}7\left(\frac{\tau - 70}{10}\right) - 0{,}085\left(\frac{f - 17{,}5}{2{,}5}\right) - 0{,}1\left(\frac{\tau_{темп} - 750}{150}\right) - 0{,}055 \cdot \frac{\tau - 70}{10} \cdot \frac{\tau_{темп} - 750}{150} + 0{,}045 \cdot \frac{f - 17{,}5}{2{,}5} \cdot \frac{\tau_{темп} - 750}{150}, \quad (1)$$

где y – уровень активности уреазы (АУ); τ – время разогрева зерна сои, с; f – влажность зерна сои, %; $\tau_{темп}$ – время темперирования сои в температоре, с.

Используя программу Mathcad 14.0, решили уравнение регресии (1), получили трехмерные графики, позволяющие судить о динамике изменения уровня активности уреазы в зависимости от режимных параметров (рисунки 2, 3).

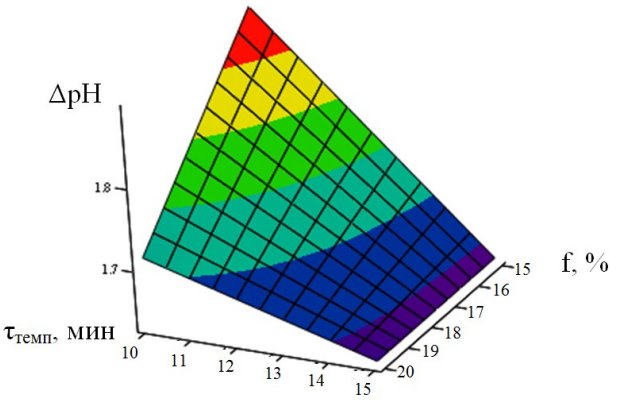


Рисунок 2 – Динамика изменения уровня активности уреазы в зависимости от первоначальной влажности зерна сои и времени темперирования при времени разогрева 60 секунд.

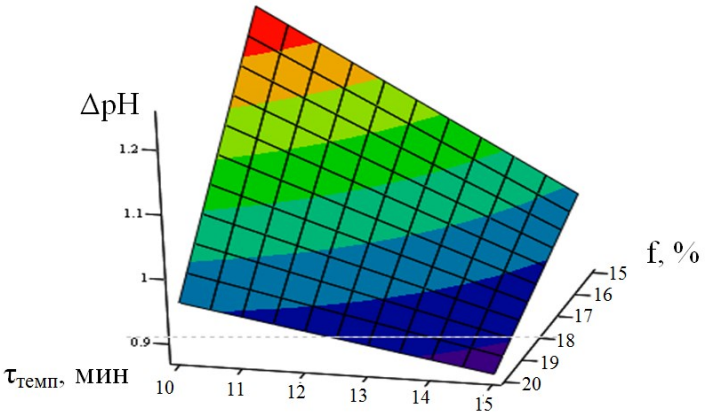


Рисунок 3 – Динамика изменения уровня активности уреазы в зависимости от первоначальной влажности зерна сои и времени темперирования при времени разогрева 70 секунд

Из данных трехмерных графиков (рисунки 2, 3) следует что наименьшее значение уровня активности уреазы, равное 0,1 ΔpH, которое достигается при времени разогрева 70 секунд и влажности зерна 20%, времени темперирования 15 мин. С увеличением влажности зерна сои и времени темперирования уровень активности уреазы снижается (рисунок 3). Так при исходной влажности 15% с темперированием 10 минут уровень активности уреазы равен 0,69 ΔpH, тогда как для влажности соевых бобов 20% и темперированиия в15 минут этот показатель - 0,1 ΔpH. Таким образом, для обработки сои рекомендуются следующие режимные параметры: исходная влажность зерна -20 %, время разогрева -70 с, время темперирования - 15 минут.

Исследования показали так же, что в конце выдержки (отстоя) сои в теплоизолированном бункере, конструктивная схема которого приведена на рисунке 4, за счет теплопотерь через его стенки температура бобов не должна быть ниже 90-92 °С.

При более низкой температуре бобов в теплоизолированном бункере уровень уреазы превышает норму (ΔpH=0,2 - 0,3, безопасную для животных. Необходимо провести расчет толщины для термоизоляционного слоя бункера, чтобы не допустить снижения в нем температуры до уровня 90 °С.

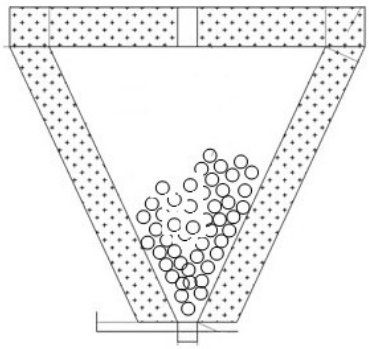


Рисунок 4 – Конструктивная схема теплоизолированного бункера.

Из ранее проведенных опытов приняли в качестве допустимого снижения температуры в температоре Δt = 10 °С. В этом случае потери теплоты в температоре составят

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 240 \cdot 2,01 \cdot 10 = 2400\,\text{кДж} = 667\,\text{Вт} \quad (2)$$

где m - масса зерна сои, кг; C – теплоемкость бобов, кДж/кг·°С.

Тепловой поток (q) эквивалентен потерям теплоты в температоре за один час. $\Delta Q=q$, тогда коэффициент теплопередачи (k) через кожух температора будет равен:

$$k = \frac{q}{F_{\text{т}} \cdot \Delta t} = 1,6\,\text{Вт/ м}^2 \cdot {}^\circ\text{С} \quad (3)$$

где $F_{\text{т}}$ – поверхность кожуха, м^2.

Толщину термоизоляционного слоя определяем по следующей формуле:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}}(1 - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_2})}{k} = 36\,\text{мм} \quad (4)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от нагретой сои к кожуху температора, Вт/(м^2·°С); α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной стенки температора к окружающему воздуху, Вт/(м^2·°С);

$\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности термоизоляции, Вт/(м·°С).

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при температуре окружающего воздуха 25 °С средняя температура на поверхности кожуха составляет 27 °С (±2), а температура зерна сои в температоре уменьшается на 5 - 7 °С, позволяя уменьшить уровень активности уреазы до нормированных значений.

Следует отметить, что выбор материала термоизоляции должен проводиться с учетом того, что она будет подвергаться воздействию высокой температуры (120 - 115·°С).

Заключение. Определены режимные параметры для снижения антипитательных веществ в полножирных соевых бобах при комбинированном нагреве сои и установлен характер их взаимного влияния. На основе результатов расчета термоизоляции был создан действующий экспериментальный образец бункера для темперирования сои, допускающий снижение температуры бобов на 5-7 °С, при котором уровень активности уреазы находится в допустимых пределах.

Список литературы

1. Баканов В.Н., Менькин В.К. Кормление сельскохозяйственных животных. М.: Агропромиздат, 1989.-505с.

2. Macleod G.K., Grieve D.G. Обеспечение протеином рационов для молочного скота (США). Protein nutrition of dairy cattle. Proceedings, 1983. p. 14-19. Cornell nutrition conference for Feed Manufacturers. Syracuse, N.Y. 0103.11,1983.

3. Melli M.; Hochkoeppler A. Кормовые характеристики сои (Италия) Soia: caratteristicho alimentari. Terra Vita, 1984. vol. 25. - № 13. - p. 41-42.

4. Morrill J. Использование необезжиренной сои в рационах молочных коров и свиней (США). Full Fat Soy Products for Dairy and Swine Feeds. Proceedings, 1983. p. 1 - 17. 38. Annual Kansas formula feed conference. Manhattan, Kans. 31.01 —01.02, 1983.

5. Plegge S.D. Urea as nitrogen source for growing. Prjceedings, 1983. - p. 2832.

6. Автореф. диссерт. Стребкова В.Б. «Разработка нового способа обработки соевых бобов на основе инфракрасного энергоподвода». М.: ГОУ «Московский государственный университет пищевых производств». – 2008. – С. 25.

7. Шувалов, А.М. Исследование качественных показателей зерна сои в процессе термообработки / А.М. Шувалов, Н.А. Вотановская, Д.С. Чернов, Г.М. Шулаев, А.Н. Машков. // Наука в центральной России. –2015. –№1. – С. 12–18.

8. Шувалов, А.М. Теоретический анализ тепловых процессов в системе энергообеспечения с комбинированным нагревом зерна сои / А.М. Шувалов, Д.С. Чернов, А.Н. Машков, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская. // Наука в центральной России. –2015. –№2. С. 12–21.

9. Машков, А.Н. Расчет показателей процесса нагрева зерна сои / А.Н. Машков, А.М. Шувалов, Д.С. Чернов, В.Ф. Калинин, К.А. Набатов // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – №6. – С. 7–9.

10. Патент на изобретение № 2615004 Российская Федерация. МПК A23L 11/00.Способ обработки полножирных соевых бобов. / Шувалов А.М., Чернов Д.С., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. - №2015153579, заяв. 14.12.2015; опубл. 03.04.2017. Бюл. №10.

References

1. Bakanov V.N., Men'kin V.K. Kormlenie sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh. M.: Agroprom-izdat, 1989.-505s.

2. Macleod G.K.; Grieve D.G. Obespechenie proteinom racionov dlya molochnogo skota (SSHA). Protein nutrition of dairy cattle. Proceedings, 1983. p. 14-19. Cornell nutrition conference for Feed Manufacturers. Syracuse, N.Y. 0103.11,1983.

3. Melli M.; Hochkoeppler A. Kormovye harakteristiki soi (Italiya) Soia: caratteristicho alimentari. Terra Vita, 1984. vol. 25. - № 13. - p. 41-42.

4. Morrill J. Ispol'zovanie neobezzhirennoj soi v racionah molochnyh korov i svinej (SSHA). Full Fat Soy Products for Dairy and Swine Feeds. Proceedings, 1983. p. 1 - 17. 38. Annual Kansas formula feed conference. Manhattan, Kans. 31.01 —01.02, 1983.

5. Plegge S.D. Urea as nitrogen source for growing. Prjceedings, 1983. - p. 2832.

6. Avtoref. dissert. Strebkova V.B. «Razrabotka novogo sposoba obrabotki soevyh bobov na osnove infrakrasnogo energopodvoda». M.: GOU «Moskovskij gosudarstvennyj universitet pi-shchevyh proizvodstv». – 2008. – S. 25.

7. SHuvalov, A.M. Issledovanie kachestvennyh pokazatelej zerna soi v processe termoobra-botki / A.M. SHuvalov, N.A. Votanovskaya, D.S. CHernov, G.M. SHulaev, A.N. Mashkov. // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№1. – S. 12–18.

8. SHuvalov, A.M. Teoreticheskij analiz teplovyh processov v sisteme energoobespecheniya s kombinirovannym nagrevom zerna soi / A.M. SHuvalov, D.S. CHernov, A.N. Mashkov, G.M. SHulaev, N.A. Votanovskaya. // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№2. S. 12–21.

9. Mashkov, A.N. Raschet pokazatelej processa nagreva zerna soi / A.N. Mashkov, A.M. SHuva-lov, D.S. CHernov, V.F. Kalinin, K.A. Nabatov // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2014. – №6. – S. 7–9.

10. Patent na izobretenie № 2615004 Rossijskaya Federaciya. MPK A23L 11/00.Sposob obra-botki polnozhirnyh soevyh bobov. / SHuvalov A.M., CHernov D.S., SHulaev G.M., Votanovskaya N.A., Mashkov A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN. - №2015153579, zayav. 14.12.2015; opubl. 03.04.2017. Byul. №10.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Шувалов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Машков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Чернов Денис Серафимович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

Shuvalov Anatoliy – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Mashkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Chernov Denis – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 19.08.2019

УДК 629.3.018.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-68-78

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА К ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА РАБОТУ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

[1]Доровских Дмитрий Владимирович
[1]Глазков Юрий Евгеньевич
[1]Доровских Ирина Юрьевна
[1]Глазкова Марина Михайловна
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Бензиновые двигатели находят широкое применение в качестве источников энергии сельскохозяйственных машин. В процессе их эксплуатации значительное место занимают режимы малых нагрузок и холостого хода, которые неблагоприятны с точки зрения топливной экономичности и экологических показателей. Изучали влияние добавки водородосодержащего газа на эти характеристики. Объектом экспериментальных исследований являлся двигатель с искровым зажиганием Volkswagen BBY. Водородосодержащий газ получали в электролизере SuperKit10 из 10 % -ного раствора гидроксида калия. Предложена*

экспериментальная установка для исследований влияния добавки водородосодержащего газа на топливную экономичность, экологические показатели и на рабочий процесс бензинового двигателя при работе в режимах малых нагрузок и холостого хода. Испытания в режиме холостого хода проводили при работе двигателя с частотой вращения коленчатого вала от 900 мин$^{-1}$ до 3000 мин$^{-1}$. Величину добавки водородосодержащего газа меняли от 0 до 1,5 л/мин. Установлено улучшение топливной экономичности: двигателя на 12...14 %, с учетом затрат энергии на получение газа, при добавлении 4,8...5,9 % H_2/O_2 от расхода бензина в режиме холостого хода. В режиме средней точки Европейского городского ездового цикла установлено снижение удельного эффективного расхода топлива на 10 %, с учетом затрат электроэнергии на проведение электролиза, при добавлении 5 % H_2/O_2.Показано, что добавка 4-6 % водородосодержащего газа приводит к уменьшению массовых выбросов CO и C_mH_n с отработавшими газами в режимах холостого хода и средней точки Европейского ездового цикла. Суммарные массовые выбросы уменьшаются в среднем на 28,5 %, при работе с добавкой водородосодержащего газа в режиме холостого хода. После нейтрализатора суммарные массовые выбросы уменьшаются на 29,8 %. Степень невоспроизводимости последовательных рабочих циклов уменьшается на 6,8 %, индикаторный КПД повышается на 6,7 %.

Ключевые слова: *водородосодержащий газ, рабочий процесс двигателя, топливная экономичность, экологические показатели, экспериментальные исследования.*

EFFECT OF THE ADDITIVE OF HYDROGEN CONTAINING GAS TO A FUEL MIXTURE ON THE OPERATION OF A PETROL ENGINE

[1]Dorovskikh Dmitriy
[1]Glazkov Yurij
[1]Dorovskikh Irina
[1]Glazkova Marina

[1]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *Gasoline engines are widely used as energy sources for agricultural machinery. Modes of low loads and idling, which are unfavorable in terms of fuel efficiency and environmental performance, occupy a significant place in the process of their operation. The effect of the addition of a hydrogen-containing gas on these characteristics was studied. The object of experimental research was the spark ignition engine Volkswagen BBY. Hydrogen-containing gas was obtained in a SuperKit10 electrolyzer from 10% potassium hydroxide solution. An experimental facility for studying the effect of a hydrogen-containing gas additive on fuel efficiency, environmental performance, and on the workflow of a gasoline engine when operating at low loads and idling was proposed. Tests in idling mode were carried out with the engine running at a crankshaft rotational speed from 900 min-1 to 3000 min-1. The magnitude of the addition of hydrogen-containing gas was changed from 0 to 1.5 l / min. Improving fuel efficiency: engine 12 ... 14%, taking into account the cost of energy to produce gas, adding 4.8 ... 5.9% H2 / O2 from gasoline consumption in idle mode was established. The decrease in the specific effective fuel consumption by 10%, taking into account the cost of electricity for electrolysis, with the addition of 5% H2 / O2 was set at the midpoint of the European urban driving cycle. It is shown that the addition of 4-6% hydrogen-containing gas leads to a decrease in mass emissions of CO and CmHn with exhaust gases in idle mode and midpoint of the European driving cycle. Total mass emissions are reduced by an average of 28.5%, when working with the addition of hydrogen-containing gas at idle. After the neutralizer, the total mass emissions are reduced by 29.8%. The degree of non-reproducibility of successive work cycles decreases by 6.8%, the indicator efficiency increases by 6.7%.*

Keywords*: hydrogen-containing gas, engine workflow, fuel efficiency, environmental performance, experimental studies.*

Введение. Бензиновые двигатели находят широкое применение в качестве источников энергии сельскохозяйственных машин [1,2]. Рабочий процесс двигателя при работе в режимах малых нагрузок и холостого хода характеризуется нестабильностью процесса сгорания, что вызывается повышенным содержанием остаточных газов и ухудшением процесса смесеобразования. В результате этого для бензиновых двигателей необходимо переходить на обогащенные топливовоздушные смеси, что негативно влияет на их топливную экономичность и токсичность. Другой причиной ухудшения экологических показателей бензиновых двигателей является неэффективная работа системы нейтрализации отработавших газов (ОГ) на этих режимах.

Основными токсичными компонентами при работе двигателя в режимах малых нагрузок и холостого хода являются продукты неполного сгорания, несгоревшие углеводороды (C_mH_n) и оксид углерода (CO). Существует много методов, позволяющих улучшить топливную экономичность и экологические показатели бензиновых двигателей в этих режимах, среди них отключение группы цилиндров [3], интенсификация процесса сгорания, работа двигателя на сверхобедненной топливовоздушной смеси, применение регулируемых фаз газораспределения.

О целесообразности применения метода регулирования мощности отключением группы цилиндров или отдельных цилиндров в режимах малых и средних нагрузок указано в работе академика Чудакова Е. А. [4]. Отмечено, что применение данного метода регулирования мощности приводит к повышению топливной экономичности бензиновых двигателей.

Одним из наиболее перспективных направлений улучшения показателей бензиновых двигателей является их работа на сверхобедненной смеси. Известно, что индикаторный КПД рабочего цикла двигателя растет с повышением степени сжатия и обеднении топливовоздушной смеси воздухом и рециркулированными отработавшими газами. При этом избыточные воздух и отработавшие газы приводят к снижению потерь на газообмен при частичных нагрузках, а также снижение температуры сгорания, вследствие чего уменьшаются потери теплоты на диссоциацию и в стенки цилиндра, снижается вероятность детонации и образования NO_x[5].

Вместе с тем практическая реализация рабочего процесса на обедненной смеси требует решения ряда проблем, связанных с потерей топливной экономичности вследствие ухудшения условий зажигания заряда, снижения скорости сгорания при одновременном повышении межцикловой нестабильности, повышения содержания в отработавших газах C_mH_n. В процессе решения этих проблем наметились разные пути влияния на процесс сгорания сверхобедненных смесей.

При использовании сверхобедненных смесей целесообразно применять меры, которые создают дополнительную турбулизацию заряда для интенсификации переноса теплоты из зоны горения в свежий заряд и увеличение площади поверхности фронта пламени, что приводит к повышению скорости и полноты сгорания.

Интенсификация процесса сгорания в двигателях с искровым зажиганием возможна с применением добавок водорода и водородосодержащих соединений, которые улучшают топливную экономичность и экологические показатели автомобильных двигателей, Этот метод является очень перспективным, поскольку не требует изменения конструкции двигателя и его можно реализовать в условиях эксплуатации. К таким активирующим добавкам относятся вещества, скорость сгорания которых выше, чем основного топлива. Наиболее перспективным является использование в качестве добавки водорода, так как скорость его сгорания в 9 раз выше, чем скорость сгорания бензина [6]. Сравнение моторных свойств бензина и водорода приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Моторные свойства водорода и бензина [6]

Свойство	Водород	Бензин
Энергия воспламенения, МДж	0,02	0,25
Расстояние гашения, см	0,06	>0,25
Температура воспламенения, °С	630	530
Пределы воспламенения, % (по объему)	4,7…74,2	0,59…6,0
Коэффициент диффузии, $см^2/с$	0,63	0,08
Скорость распространения пламени, см/с	270	30
Низшая теплотворная способность, кДж/кг	$120 \cdot 10^3$	$44 \cdot 10^3$
Стехиометрическое количество воздуха на 1 кг топлива, кг/кг	34,2	14,95
Теплотворность горючей смеси при α=1:		
В смеси с воздухом, $кДж/м^3$	3180	3710
В смеси с кислородом, кДж/кг	$1{,}34 \cdot 10^4$	-
Температура кипения, °С	-252,61	32…186

Энергоемкость водорода превышает эту характеристику у нефтяных топлив в 2,5...3 раза, у спиртов - в 5...6 раз, у аммиака - в 7 раз. Водород в смеси с воздухом загорается прикоэффициенте

избытка воздуха равном 10. При сгорании водорода практически не образуются вредные вещества, но при некоторых соотношениях водородовоздушной смеси могут образовываться оксиды азота[6].

Существует несколько методов хранения водорода на борту автомобиля. Одним из вариантов использования водорода для улучшения показателей автомобильных двигателей является хранение его на борту автомобиля с помощью металлогидридных аккумуляторов и использование в качестве добавки к бензину [7]. Испытания, проведенные на бензиновом двигателе с рабочим объемом 2,45 л и степенью сжатия 8,2, показали, что по мере увеличения концентрации водорода в бензоводородной топливной композиции так же увеличивается эффективный КПД двигателя,а состав смеси, соответствующий максимальному КПД смещается в сторону бедных смесей. При работе с добавкой водорода снижаются концентрации оксида углерода и несгоревших углеводородов,так как использование добавки водорода позволяет значительно обеднить смесь,Максимальная температура в цилиндре снижается, вследствие чегоснижается концентрация оксидов азота. Испытания микроавтобуса с данным двигателем на стенде с беговыми барабанами показали, что при работе на бензоводородных топливных композициях снижается расход топлива и улучшаются экологические показатели.

Методика исследований и оборудование. Целью проведенных экспериментальных исследований являлось определение влияния добавки водородосодержащего газа к воздушному заряду на рабочий процесс, топливную экономичность и экологические показатели бензиновых двигателей.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

– Определение топливной экономичности бензиновых двигателей при работе с добавкой водородосодержащего газа к воздушному заряду в режимах малых нагрузок и холостого хода.

– Определение влияния добавки водородосодержащего газа на концентрации вредных веществ в отработавших газах бензиновых двигателей, в частности оксида и диоксида углерода, оксидов азота и несгоревших углеводородов.

– Определение влияния добавки водородосодержащего газа на энергетические, топливно-экономические и экологические показатели бензинового двигателя в различных нагрузочных и скоростных режимах.

– Исследование особенностей рабочего процесса бензинового двигателя при работе с добавкой водородосодержащего газа в режимах малых нагрузок и холостого хода.

Объектом экспериментальных исследований являлся двигатель с искровым зажиганием Volkswagen BBY (рисунок 1).

Рисунок 1 - Двигатель Volkswagen BBY на тормозном стенде

Двигатель Volkswagen BBY оборудован электронной системой управления Magneti Marelli 4MV и двухступенчатой системой нейтрализации вредных выбросов с ускоренным прогревом и рециркуляцией отработавших газов. Дозирование топлива, необходимого для эффективной работы двигателя осуществляется в соответствии с сигналами датчиков, которые контролируют давление во впускном коллекторе, положение дроссельных заслонок, частоту вращения коленчатого вала, температуру воздуха и охлаждающей жидкости. Стехиометрический состав топливовоздушной смеси, который необходим для эффективной работы системы нейтрализации вредных выбросов, поддерживается с помощью кислородного датчика (лямбда-зонда).

Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор, расположен сразу за выпускным коллектором, что обеспечивает его ускоренный прогрев и быстрый выход на рабочий температурный режим. Это позволяет достаточно эффективно работать системе нейтрализации ОГ сразу после пуска двигателя и на режимах малых нагрузок, а так же при сравнительно невысоких температурах отработавших газов. Подача водородосодержащего газа происходит во впускной трубопровод перед дроссельной заслонкой. Техническая характеристика двигателя Volkswagen BBY приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика двигателя Volkswagen BBY

Наименование параметров	Значения параметров
Модель двигателя	VW BBY
Тип двигателя	бензиновый, 4-тактный, рядный
Топливо	А-95
Число цилиндров	4
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Диаметр цилиндра, мм	76,5
Ход поршня, мм	75,6
Степень сжатия	10,5
Рабочий объем двигателя, $см^3$	1390
Минимальная частота вращения холостого хода, $мин^{-1}$	800
Максимальный крутящий момент, Нм / при частоте вращения, $мин^{-1}$	126/3800
Номинальная мощность, кВт / при частоте вращения, $мин^{-1}$	55/5000
Тип системы зажигания	электронная, с индивидуальными катушками зажигания и регулировкой детонации
Система впрыска топлива	Magneti Marelli 4MV
Система нейтрализации вредных выбросов	двухступенчатая с ускоренным прогревом и рециркуляцией ОГ: два трехкомпонентных каталитических нейтрализатора

Водородосодержащий газ для исследований получали в электролизереSuperKit10, характеристика которого приведена в таблице 3, а внешний вид показан на рисунке 2.

Таблица 3 – Характеристика электролизера SuperKit10

Производитель	Green Source
Питание	12В
Максимальная мощность, что потребляется (кВт)	0,3
Максимальное значение тока (А)	25
Производительность газовой смеси (л/мин)	до 1.4
Габариты (мм)	240x100x100

Рисунок 2 − Электролизер SuperKit10 Производитель Green Source

В качестве электролита, для проведения электролиза с получением водорода и кислорода, в электролизереSuperKit10 используется 10 % раствор гидроксида калия.

Полученный газ сначала проходит через охладитель-обогатитель, затем через водяной затвор, который служит в качестве осушителя и для предотвращения попадания пламени в электролизер в случае возникновения обратных вспышек в двигателе. Далее газ проходит через распределительный кран на ротаметр и подается во впускной трубопровод двигателя.

При проведении экспериментальных исследований определялись регулировочные характеристики в режимах холостого хода и малых нагрузок без добавки и с добавкой разного количества водородосодержащего газа. После определения оптимального количества добавки газа определялись скоростные и нагрузочные характеристики двигателя. Методика стендовых испытаний была принята в соответствии с ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Испытания в режиме холостого хода проводили при работе двигателя с частотой вращения коленчатого вала 900 мин$^{-1}$. Добавку водородосодержащего газа меняли от 0 до 1 л/мин, что составляло 4,3 % расхода бензина в этом режиме.

Установлено, что добавка водородосодержащего газа увеличивает частоту вращения коленчатого вала двигателя. Объективно оценить влияние добавки газа возможно лишь при сравнении показателей работы двигателя с одинаковой частотой вращения.

Во время испытаний замеряли часовой расход топлива и воздуха, расход газа H_2/O_2, разрежение во впускном коллекторе, давление в выпускной системе, температуру охлаждающей жидкости и отработавших газов, угол опережения зажигания, коэффициент избытка воздуха. Концентрации токсичных компонентов были замерены до и после трехкомпонентного каталитического нейтрализатора, который установлен в выпускной системе двигателя.

Для исследования влияния добавки водородосодержащего газа на топливную экономичность бензинового двигателя в различных скоростных режимах активного холостого хода были проведены испытания в интервале частот вращения от 900 до 3000 мин$^{-1}$.

Величина добавки была постоянной для всех скоростных режимов и составила 1,5 л/мин. Процентное значение величины добавки от расхода бензина рассчитывали для каждого скоростного режима по формуле:

$$g_{H_2/O_2} = \frac{G_{H_2/O_2}}{G_T} \cdot 100, \quad (1)$$

где G_{H_2/O_2} -массовый расход водородосодержащего газа, кг/ час; $G_т$ – часовой расход бензина, кг/ч.

В процессе испытаний были измерены сила тока и напряжение, необходимые для получения определенного количества газа.

С использованием этих данных учитывали расход электроэнергии (Р, МДж/ч) при подсчете экономии топлива, по формуле:

$$P = I \cdot U \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где I-сила тока при проведении электролиза, А; U – напряжение при проведении электролиза, В.

Расчет экономии топлива с учетом затрат электроэнергии на получение водородосодержащего газа определяли по формуле:

$$Э = \frac{G_{T_1} - \left(G_{T_2} + P\right)}{G_{T_1}}, \quad (3)$$

где G_{T_1} – часовой расход бензина в тепловых единицах при работе без добавки водородосодержащего газа, МДж/ ч; G_{T_2} – часовой расход бензина в тепловых единицах при работе с добавкой водородосодержащего газа, МДж / ч; P – расход электроэнергии необходимой для получения определенного количества водородосодержащего газа, МДж / час.

Для оценки влияния добавки водородосодержащего газа при работе двигателей в режимах малых нагрузок провели испытания в режиме, который соответствует средней точке Европейского ездового цикла. Параметры этого режима определены с помощью математической модели движения автомобиля по ездовым циклам, которая была разработана на кафедре «Техника и технологии автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тамбовского государственного технического университета» [8]. Эта модель описывает последовательно следующие режимы движения автомобиля: холостой ход, разгон, равномерное движение, замедление.

В результате расчета установлено, что без учета режимов холостого хода средней точке Европейского ездового цикла соответствуют следующие параметры: для двигателя Volkswagen BBY средней точке Европейского ездового цикла отвечают –крутящий момент $M_к$=19 Н м при частоте вращения n=2136 мин$^{-1}$. При этом исследовали топливную экономичность и экологические показатели двигателя в зависимости от величины добавки.

При соответствующем значении добавки газа рассчитывали удельный расход энергии по зависимости, МДж/кВт·ч:

$$g_e = \frac{U \cdot I \cdot 3600 \cdot 10^{-6}}{N_e}, \quad (4)$$

где U – напряжение на электролизере, В; I – сила тока потребляемая электролизером, А; N_e – эффективная мощность двигателя, кВт.

В процессе эксплуатации автомобильные двигатели работают в широких пределах скоростных и нагрузочных режимов. Оптимальная величина добавки водородосодержащего газа для каждого режима работы двигателя имеет определенное значение. Выдерживать эту величину добавки в эксплуатационных условиях очень сложно. Поэтому целесообразно определить оптимальную величину добавки для наиболее применяемого режима и оставить эту величину во всех нагрузочных и скоростных режимах. Для двигателя Volkswagen BBY такая величина определена для средней точки Европейского ездового цикла (n = 2100 мин$^{-1}$, $\Delta P_к$=54 кПа) и составила 2,5 л/мин.

Для объективной оценки влияния добавки водородосодержащего газа на экологические показатели бензиновых двигателей определялись массовые выбросы вредных веществ с отработавшими газами при работе двигателя на бензине и на бензине с добавкой водородосодержащего газа к воздушному заряду. Определялись массовые выбросы оксидов углерода G_{CO} и G_{CO2}, углеводородов $G_{C_mH_n}$, и оксидов азота G_{NO_x}. Количество сухих и влажных продуктов сгорания рассчитывалась с использованием часовых расходов топлива и воздуха:

$$M_{ОГ} = a \cdot (b \cdot G_т + G_в), \quad (5)$$

где a, b, – расчетные коэффициенты, зависящие от состава топливовоздушной смеси и определяющиеся отдельно для сухих и влажных продуктов сгорания.

Массовые выбросы оксида и диоксида углерода определялись с учетом количества сухих продуктов сгорания $M^{с}_{ОГ}$ по выражению, кг/ч:

$$G_{CO} = \frac{C_{CO}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot M_{ОГ}^{C} \quad (6)$$

$$G_{CO2} = \frac{C_{CO2}}{100} \cdot \mu_{CO2} \cdot M_{ОГ}^{C} \quad (7)$$

Так как концентрации углеводородов замерены инфракрасным прибором, то массовые выбросы суммарных углеводородов определялись с учетом коэффициента 2,5, который используют для пересчета в концентрацию, кг/ч:

$$G_{C_mH_n} = 2,5 \cdot \frac{G_{C_mH_n}}{10^6} \cdot \mu_{C_mH_n} \cdot M_{ОГ}^{C} \quad (8)$$

Массовые выбросы оксидов азота, кг/ч:

$$G_{NO_x} = \frac{G_{NO_x}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot M_{ОГ}^{C} \quad (9)$$

где $\mu_{CO}, G_{C_mH_n}$, μ_{NO_X} молекулярные массы оксида углерода, углеводородов и оксидов азота соответственно, кг/кмоль.

По полученным массовым выбросам отдельных вредных веществ с учетом коэффициента относительной агрессивности R определялись суммарные массовые выбросы вредных веществ приведенные к CO,кг/ч:

$$G_{\Sigma CO} = \sum_{i=1}^{n} R_i \cdot C_i, \quad (10)$$

где R_i - коэффициент относительной агрессивности i-го вредного компонента.

При расчете суммарных массовых выбросов не учитывались выбросы CO_2 так как диоксид углерода не является токсичным веществом.

Расчеты проводили по результатам замеров концентраций вредных веществ в отработавших газах двигателя до нейтрализатора и после нейтрализатора.

Для исследования влияния добавки газа H_2/O_2 на рабочий процесс бензинового двигателя проведено индицирование двигателя Volkswagen BBY. Испытания проведены в режиме, соответствующем средней точке Европейского ездового цикла ($M_к$ = 16,96 Н м, n = 1900 мин$^{-1}$). Индикаторные диаграммы записаны при работе без добавки водородосодержащего газа и с добавкой 3 л/мин газа.

Запись значений давления в цилиндре двигателя выполняли с помощью датчика давления, сигнал от которого подавался на USB осциллограф соединенный с компьютером, на котором установлена программа для записи осциллограмм «USB Oscilloscope 2».

Для возможности дальнейшего анализа и обработки индикаторных диаграмм вместе с записью сигнала датчика давления осуществляли запись сигналов с датчика ВМТ и момента возникновения искры зажигания. На рисунке3 показанный фрагмент записи сигналов с этих датчиков.

Рисунок 3 – Фрагмент записи осциллограмм при индицировании двигателя Volkswagen BBY: 1) давление в цилиндре, 2) момент зажигания 3) момент ВМТ

На осциллограф подавался сигнал напряжения от соответствующего датчика. Для того чтобы определить действительные значения давления в цилиндре двигателя, сигнал напряжения от датчика давления переводили в единицы давления с помощью коэффициентов, полученных из тарировочной характеристики, которую предварительно определили с помощью гидравлического пресса с манометром (рисунок 4).

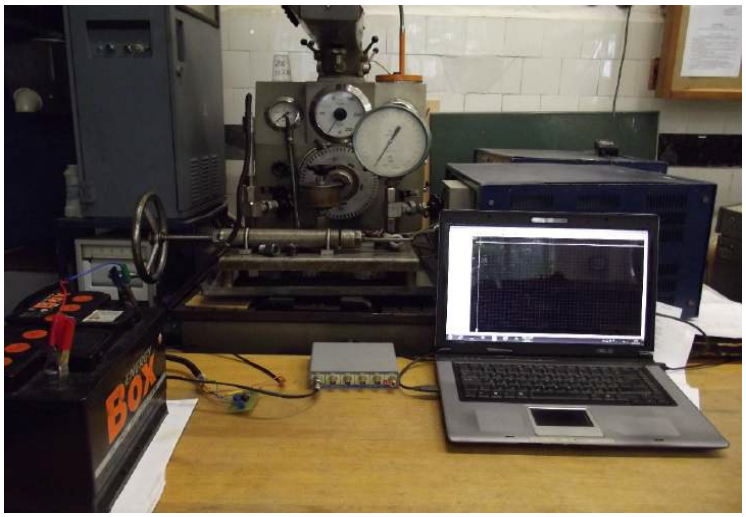


Рисунок 4 – Оборудование для тарирования датчика давления

На рисунке5 изображена тарировочная характеристика датчика давления.

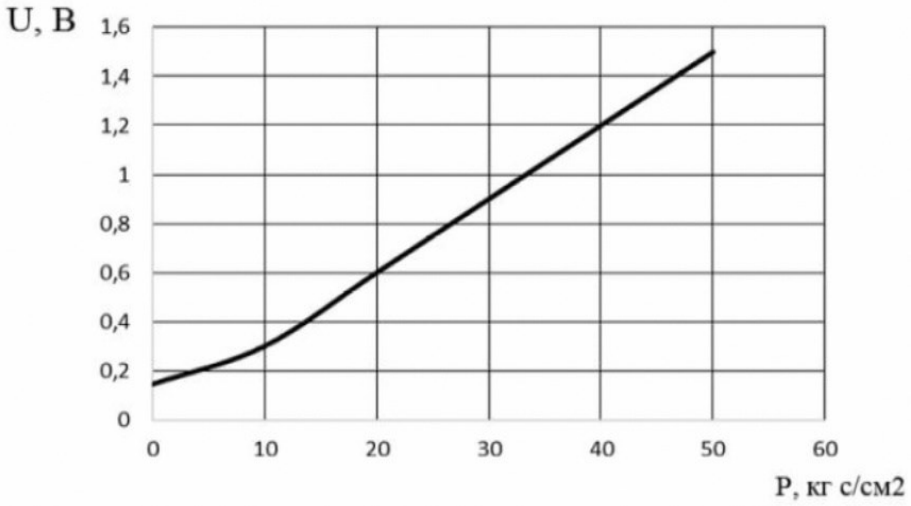


Рисунок 5 – Тарировочная характеристика датчика давления

Для анализа были отобраны 2 фрагмента осциллограмм по 70 рабочих циклов в каждой. По значению максимального давления цикла выбирали среднюю диаграмму с фрагмента диаграммы работы двигателя на бензине и одну из фрагмента работы на бензине с добавкой водородосодержащего газа.

По значениям отклонений максимального давления каждого цикла от среднего значения максимального давления цикла для всего фрагмента циклов определяли степень невоспроизводимости последовательных рабочих циклов. Известно, что неидентичность

последовательных рабочих циклов существенно влияет на экономические и энергетические показатели двигателя.

В результате проведения стендовых экспериментальных исследований бензинового двигателя при работе в режимах малых нагрузок и холостого хода установлено, что добавка 4…6 % от расхода бензина водородосодержащего газа положительно влияет на топливную экономичность (улучшается на 6–8 %) и экологические показатели бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода. Добавка водородосодержащего газа приводит к уменьшению массовых выбросов CO и C_mH_n с отработавшими газами в режимах холостого хода и средней точки Европейского ездового цикла. Суммарные массовые выбросы уменьшаются в среднем на 28,5 %, при работе с добавкой водородосодержащего газа в режиме холостого хода. После нейтрализатора суммарные массовые выбросы уменьшаются на 29,8 %.

Установлено, что добавка водородосодержащего газа к воздушному заряду не влияет на эффективность работы трехкомпонентного каталитического нейтрализатора.

По результатам стендовых исследований проведенных методом факторного эксперимента установлено, что добавка водородосодержащего газа приводит к уменьшению часового расхода бензина и воздуха и повышению эффективной мощности практически во всех точках плана эксперимента в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов. Степень невоспроизводимости последовательных рабочих циклов уменьшается на 6,8 %, индикаторный кпд повышается на 6,7 %.

Заключение. Разработана методика проведения экспериментальных исследований влияния добавки водородосодержащего газа на топливную экономичность, экологические показатели и на рабочий процесс бензинового двигателя при работе в режимах малых нагрузок и холостого хода.

По результатам проведенных экспериментальных исследований бензинового двигателя в режиме холостого хода установлено улучшение топливной экономичности: двигателя на 12...14 %, с учетом затрат энергии на получение газа, при добавлении 4,8...5,9 % H_2/O_2 от расхода бензина. В режиме средней точки Европейского городского ездового цикла установлено снижение удельного эффективного расхода топлива на 10 %, с учетом затрат электроэнергии на проведение электролиза, при добавлении 5 % H_2/O_2.

В целом по результатам экспериментальных исследований можно утверждать, что целесообразная добавка водородосодержащего газа составляет около 4...6 % от расхода бензина в соответствующем режиме. Дальнейшее увеличение добавки H_2/O_2, приводит к снижению экономии, так как затраты на получение газа растут.

Список литературы

1. Кульчицкий А.И. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие. - Владимир, 2000. - 256 с.

2. Остриков В.В., Сазонов С.Н. Актуальные проблемы повышения эффективности использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной технике//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 1. – С. 30-32.

3. Редзюк А.М. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода: дис. … канд. техн. наук: 05.04.02 / Редзюк Анатолий Михайлович. – К., 1982. – с. 9 – 33.

4. Чудаков Е. А.Пути повышения экономичности автомобиля // Труды Автомобильной лаборатории института машиноведения, вып. 12, –С. 109 – 110.

5. Лурье В.А., Мангушев В.А., Маркова И.В. Пути повышения экономичности автотракторных двигателей // Итоги науки и техники. ВИНИТИ. Двигатели внутрен. сгорания. 1982. 232с

6. Реут В.А., Петухов А.Ю. Перспективы использования водородного топлива для двигателей автомобилей // Экологические аспекты автотранспорта: Материалы научно-практической конференции, Вязьма: 2008, –С. 127 – 128.

7. Раменский А. Ю., Шелищ П. Б., Нефедкин С. И.Применение водорода в качестве моторного топлива для автомобильных двигателей внутреннего сгорания. История, настоящее и перспективы // Альтернативная энергетика и экология. –2006. – № 11 (43). –С. 63 – 70.

8. Доровских Д.В., Глазков Ю.Е. Уточнение математической модели движения автомобиля по режимам европейского ездового цикла и определение режимов упрощенного испытательного цикла //Техника и технология транспорта: научный Интернет-журнал. –№4(9). – 2018.

References

1. Kul'chickij A.I. Toksichnost' avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej: ucheb. posobie. - Vladimir, 2000. - 256 s.

2. Ostrikov V.V., Sazonov S.N. Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya nefteproduktov v sel'skohozyajstvennoj tekhnike // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2013. № 1. S. 30-32.

3. Redzyuk A.M. Povyshenie toplivnoj ekonomichnosti mnogocilindrovyh benzinovyh dvigatelej v rezhimah malyh nagruzok i holostogo hoda: dis. … kand. tekhn. nauk: 05.04.02 / Redzyuk Anatolij Mihajlovich. – K., 1982. – s. 9 – 33.

4. CHudakov E. A. Puti povysheniya ekonomichnosti avtomobilya // Trudy Avtomobil'noj laboratorii instituta mashinovedeniya, vyp. 12, C. 109 – 110.

5. Lur'e V.A., Mangushev V.A., Markova I.V. Puti povysheniya ekonomichnosti avtotraktornyh dvigatelej // Itogi nauki i tekhniki. VINITI. Dvigateli vnutren. sgoraniya. 1982. 232 s

6. Reut V.A., Petuhov A.YU. Perspektivy ispol'zovaniya vodorodnogo topliva dlya dvigatelej avtomobilej // Ekologicheskie aspekty avtotransporta: Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii, Vyaz'ma: 2008, C. 127 – 128.

7. Ramenskij A. YU., SHelishch P. B., Nefedkin S. I. Primenenie vodoroda v kachestve motornogo topliva dlya avtomobil'nyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Istoriya, nastoyashchee i perspektivy // Al'ternativnaya energetika i ekologiya, № 11 (43) 2006, C. 63 – 70.

8. Dorovskih D.V., Glazkov YU.E. Utochnenie matematicheskoj modeli dvizheniya avtomobilya po rezhimam evropejskogo ezdovogo cikla i opredelenie rezhimov uproshchennogo ispytatel'nogo cikla // Tekhnika i tekhnologiya transporta: nauchnyj Internet-zhurnal. №4(9). 2018.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Доровских Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru.

Глазков Юрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: glazkov_yura1@mail.ru.

Доровских Ирина Юрьевна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Глазкова Марина Михайловна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru.

Glazkov Yuri – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: glazkov_yura1@mail.ru.

Dorovskikh Irina – undergraduate of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Glazkova Marina – undergraduate of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Поступила в редакцию (Received): 10.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 12.08.2019

УДК 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-79-87

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

[1]Корнев Алексей Юрьевич
[1]Бусин Игорь Вячеславович
[1]Ликсутина Анна Павловна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Исследовали связь между параметрами комплексного воздействия механообработки, вихревых потоков и химических реагентов на дизельное топливо и его эксплуатационными свойствами – плотностью, кинематической вязкостью, температурой вспышки в закрытом тигле, содержанием фактических смол, низкотемпературными свойствами. Исследования проводили на специально собранной экспериментальной установке. Воздействие заключалось в пропускании исследуемого образца дизельного топлива через статический смеситель-активатор с заранее внесенным реагентом, представляющим собой водный раствор гидроперита, содержащий 30 – 35 % пероксида водорода и не менее 25 % карбамида или спиртовой раствор карбамида. Методика исследований включала проведение факторного эксперимента по ортогональному центрально-композиционному плану с варьированием трех параметров комплексной обработки дизельного топлива – времени обработки, давления на входе в смеситель, концентрации реагента – на пяти уровнях с последующим определением характеристик образцов по общепринятым методикам ГОСТ.Установлено, что плотность и вязкость топлива снижается (на 3 % и 7 % соответственно) с возрастанием времени обработки , и увеличивается по сравнению с исходным значением (на 0,5 % и 4 % соответственно). с возрастанием концентрации реагента. Определено, что температура вспышки уменьшается (9 % от исходного значения) с величением времени обработки топлива и давления на входе в смеситель. Уменьшилось практически на 80 % содержание фактических смол. Таким образом, оптимальными значениями параметров комплексной обработкиявляются концентрация реагента 3 – 5 %, время обработки в статическом смесителе 15 – 30 минут при давлении 5 – 6 кгс/см^2.*

Ключевые слова: *дизельное топливо, вихревые потоки, эксплуатационные показатели, химические реагенты, качество, комплексная обработка.*

COMMUNICATION BETWEEN OPERATIONAL INDICATORS OF DIESEL FUEL AND PARAMETERS OF COMPLEX PROCESSING

[1]Kornev Aleksey
[1]Busin Igor
[1]Liksutina Anna
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *The relationship between the parameters of the complex effect of mechanical treatment, vortex flows and chemical reagents on diesel fuel and its operational properties - density, kinematic viscosity, flash point in a closed crucible, the content of actual resins, low-temperature properties was investigated. The studies were carried out on a specially assembled experimental setup. The impact was to the transmittance of the test sample of diesel fuel using a static mixer-activator with a pre-made reagent, which is a water solution of peroxide containing 30 – 35 % hydrogen peroxide and at least 25 % of urea or an alcohol solution of urea. The research methodology included conducting a factorial experiment according to an orthogonal central composition plan with varying three parameters for complex processing of diesel fuel — processing time, pressure at the inlet to the mixer, reagent concentration — at five levels, followed by determining the characteristics of the samples according to the generally accepted methods of GOST.It was established that the density and viscosity of the fuel decreases (by 3% and 7%, respectively) with an increase in the processing time, and increases in*

comparison with the initial value (by 0.5% and 4%, respectively). with increasing reagent concentration.It was determined that the flash point decreases (9% of the initial value) with the magnitude of the fuel treatment time and the inlet pressure to the mixer.The content of actual resins decreased by almost 80%.Thus, the optimal values of the complex processing parameters are the reagent concentration of 3–5%, the processing time in a static mixer is 15–30 minutes at a pressure of 5–6 kgf / cm^2.

Keywords: *diesel fuel, vortex flows, performance indicators, chemical reagents, quality, complex processing.*

Введение. Рациональное использования нефтепродуктов в АПК требует постоянного поддержания их качества на требуемом уровне во время транспортировки, хранения и применения.От этого зависит надежность и экономичность сельскохозяйственных машин, частота и трудоемкость их технического обслуживания, количество внеплановых ремонтных мероприятий.Однако проблема некачественного топлива продолжает оставаться достаточно актуальной. Одной из причин этого выступает ориентированность потребителя на стоимость топлива в силу постоянного роста акцизов и отпускной цены литра горючего.

Использование недоброкачественного дизельного топлива может привести к увеличению расхода топлива, снижения надежности работы двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры, негативно повлиять на сроки службы моторного масла и ресурс ЦПГ.

Кроме этого следует обратить вниманиена недостаточный уровень готовности оборудования и резервуарного парка нефтебаз сельхозпредприятий к длительному хранению нефтепродуктов, распространенность закупки топлива «с колес», увеличенное число сливно-наливных операций. В таких условиях даже качественное топливо может быстро приходить в негодность.

В связи с этим, существует необходимость в совершенствовании и разработке новых способов повышения качества нефтепродуктов. Большой потенциал здесь имеют исследования по комплексному применению химических реагентов, средств обработки и активации жидких сред [1 – 5].

Материалы и методы. Определение влияния параметров комплексной обработки проводили по методике факторного эксперимента с использованием ортогонального центрально композиционного плана второго порядка для трех факторов. Каждый фактор фиксировался на пяти уровнях (–α, –1, 0, 1, +α, где α = 1,215 при трех факторах). Это позволило существенно сократить количество экспериментов, по сравнению с полным факторным экспериментом.

Из-за большого объема экспериментальных исследований для определения дисперсии воспроизводимости решено было ограничиться тремя параллельными опытами в центре плана [6].

Исследования по комплексному воздействию на дизельное топливо (ДТ) выполнялись на лабораторной установке по методике, описанной ранее [7 – 9].

В качестве модельного дизельного топлива использовалось некондиционное дизельное топливо с нефтебазы одного из хозяйств Тамбовской области. После обработки отбирались пробы для определения характеристик топлива с использованием стандартных методик.

В соответствии с методикой факторного эксперимента и основываясь на разработанном ранее способе обработки, были выделены факторы (параметры) обработки, влияющие на изменение физико-химических показателей и эксплуатационных свойств, определены интервалы их варьирования и произведено кодирование переменных уравнений регрессии (таблица 1).

Таблица 1 – Кодированные значения и интервалы варьирования параметров обработки в соответствии с методикой факторного эксперимента

Параметр (фактор)	Верхний уровень +1	Нижний уровень –1	Основной уровень 0	Интервал варьирования	Зависимость кодированной переменной от натуральной
τ – время обработки, мин	30	1	15,5	14,5	$x_1 = (\tau - 15{,}5) / 14{,}5$
P – давление на входе в смеситель, кгс/см^2	8	1	4,5	3,5	$x_2 = (P - 4{,}5) / 3{,}5$
C – концентрация реагента, %	5	1	3	2	$x_1 = (C - 3) / 2$

Фактор температуры был отсеян как фактор, который в данных условиях невозможно варьировать независимо от других. По результатам предварительных экспериментов было установлено, что с увеличением времени обработки наблюдался рост температуры смеси реагента и нефтепродукта. В избранном временном промежутке обработки температура смеси в процессе эксперимента достигала 50 – 60 ºС, в зависимости от времени обработки.

В качестве функций отклика, зависящих от выбранных факторов (параметров обработки), рассматривали физико-химические показатели дизельного топлива, характеризующие его эксплуатационные свойства (таблица 2).

Таблица 2 – Обозначение функций отклика, зависящих от определяемых параметров

Функция отклика	Обозначение	Кодированное обозначение
Плотность при 15 ºС, кг/м^3	ρ	Y_I
Кинематическая вязкость при 20 ºС, мм^2/с	ν	Y_{II}
Температура вспышки в закрытом тигле, ºС	$T_{всп}$	Y_{III}
Содержание фактических смол, мг/100см^3	СФС	Y_{IV}
Температура помутнения, ºС	$T_п$	Y_V
Температура застывания, ºС	$T_з$	Y_{VI}

Результаты и их обсуждение. Как известно, плотность (ρ, кг/м^3) дизельного топлива при 15 °С характеризует цикловую подачу топлива в цилиндры двигателя, его качество распыла и испаряемость.В соответствии с матрицей планирования проведен эксперимент, получены результаты измерений и определены коэффициенты регрессии для зависимости плотности от исследуемых факторов. Учитывая значимость коэффициентов уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_I=819{,}515–7{,}344x_1–0{,}802x_2+5{,}452x_3+3{,}291x_1x_3+0{,}934x_2x_3+1{,}004x_1x_2x_3.$$

Оценка адекватности модели по критерию Фишера показала, что уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области. Как видно из полученного уравнения наибольшее влияние на плотность топлива после обработки оказывают время проведения обработки и концентрация реагента, а также сочетание этих факторов. Причем, исходя из знаков коэффициентов, с увеличением времени обработки плотность уменьшается, в то время как с увеличением концентрации реагента – увеличиватся. После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$\rho = 825{,}227 – 0{,}714\tau – 0{,}169P + 1{,}057C + 0{,}087\tau C – 0{,}020PC + 0{,}010\tau PC.$$

Поверхности отклика в разных координатах и их сечения представлены на рисунке 1 (Iа – Iв).

Как видно из полученных данных, с возрастанием времени обработки плотность несколько снижается (максимум на 3 %), в то время как с возрастанием концентрации реагента – незначительно (на 0,5 %) увеличивается по сравнению с исходным значением.

Следующим количественным критерием оценки влияния параметров обработки была принята кинематическая вязкость (ν, мм^2/с) модельного дизельного топлива при 20 °С. Она определяет качество распыливания и сгорания топлива в двигателе. Повышение вязкости, как правило, вызывает ухудшение распыливания топлива, обуславливающее неравномерность распределения рабочей смеси и неполное ее сгорание.Учитывая значимость коэффициентов уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_{II}=3{,}657–0{,}126x_1+0{,}090x_3–0{,}035x_1x_3+0{,}018x_2x_3+0{,}031x_1^2+0{,}024x_2^2.$$

Как видно из полученного уравнения, наиболее значимыми для изменения вязкости обрабатываемого топлива являются такие параметры как время, давление и концентрация реагента. Причем влияние концентрации проявляется линейно и зависит от давления, а также времени обработки.

После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$\nu = 3{,}710 – 0{,}017\tau + 0{,}052C – 0{,}001\tau C + 0{,}003PC + 0{,}00015\tau^2 + 0{,}002C^2.$$

Поверхности отклика в разных координатах и их сечения представлены на рисунке 1 (IIа – IIв).

При максимальном времени обработки и половине от максимального значения концентрации вязкость снизилась на 7 %, относительно исходного значения, в то время как при максимальной концентрации реагента и практически минимальных значениях времени обработки и давления вязкость увеличивается на 4 % по сравнению с исходным значением.

В первом приближении это можно объяснить тем, что при малом давлении и времени перемешивания реагент не успевает равномерно распределиться по всему объему, а возможные кавитационные воздействия не успевают оказать заметный эффект.Вместе с тем, топливо, имеющее меньшую кинематическую вязкость, способно обеспечить работу двигателя при более низких температурах, лучше прокачивается по трубопроводам и через фильтры, распыливается и образует горючую смесь в цилиндре двигателя, что способствует снижению периода задержки воспламенения и полноте сгорания, получению большей мощности.Исследовали зависимость температуры вспышки ($T_{всп}$, °С) модельного дизельного топлива от влияния параметров обработки.Уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_{III}=59,756–2,400x_1–0,496x_2+1,758x_1^2+1,081x_2^2.$$

После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$T_{всп} = 66,75503 – 0,42472\tau – 0,93592P + 0,008361\tau^2 +0,088244P^2.$$

Поверхности отклика в разных координатах и их сечения представлены на рисунке 2.

Температура вспышки определяет условия безопасности применения топлива. Как видно из уравнения регрессии значимыми факторами для изменения температуры вспышки являются время обработки топлива и давление на входе в смеситель. С увеличением этих параметров температура вспышки уменьшается. Максимальное снижение составило 6 °С (9 %), что не является критичным значением изменения температуры вспышки для модельного топлива, однако может быть полезно при обработке топлив утяжеленного фракционного состава с высоким значением этого показателя.

Нагарообразование в двигателе зависит и от содержания фактических смол в топливе. Чем больше в дизельном топливе фактических смол, тем выше склонность его к нагарообразованию. Результаты изменения содержания фактических смол (СФС, мг / 100 см^3) в дизельном топливе в зависимости от исследуемых параметров обработки представлены ниже.С учетом значимость коэффициентов уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_{IV} = 62,511–30,875x_1–4,102x_2–11,365x_3–4,250x_1x_3+14,911x_1^2+6,787x_3^2.$$

Как видно из полученного уравнения наибольшее влияние на содержание фактических смол в топливе после обработки оказывают время проведения обработки и концентрация реагента, а также сочетание этих факторов. После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$СФС=143,3315–3,88819\tau–1,172P–13,59145C–0,17\tau C+0,07092\tau^2+1,69675C^2.$$

Согласно нормативным документам, содержание фактических смол не должно превышать 30 мг на 100 мл для зимних ДТ и 60мг на 100мл для летних ДТ. В результате проведенных экспериментов их содержание уменьшилось со 106 мг / 100 мл до 21 мг / 100 мл, (практически на 80 %), что является отличным результатом, так как такое снижение должно оказать значительное влияние на работу топливной аппаратуры улучшив процесс сгорания, термическую стабильность и коррозионную активность теплив, а также способствуя уменьшению закоксованности форсунок. Известно, что уменьшение содержания смол в топливе в 2 – 3 раза способствует увеличению срока службы двигателя в среднем на 15 – 20 %[10].

Дизельные топлива с высокой температурой помутнения, склонны к расслоению за счет образованию твердой фазы при низких температурах. Выпадение кристаллов твердых углеводородов вызывает большие осложнения при перекачках и транспортировке топлив, при заправке, пуске и работе дизельных двигателей в условиях низких температур.

Уравнения регрессии в кодированных переменных для температур помутнения и застывания соответственно имеют вид:

$$Y_V = –5,511–1,321x_1–0,329x_2–0,500x_1x_3+0,546x_1^2+0,546x_3^2,$$

$$Y_{VI} = –13,591–1,412x_1–0,421x_2–0,625x_1x_3+0,518x_1^2+0,518x_3^2.$$

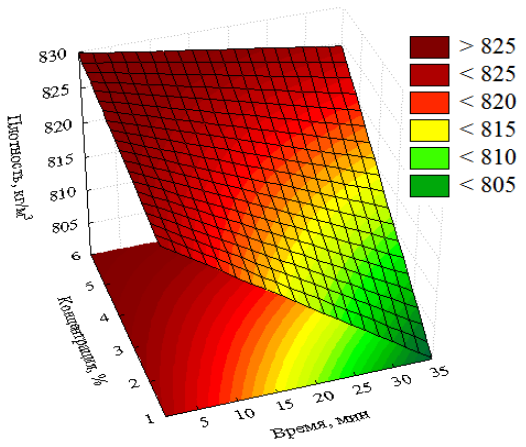
Как видно из полученных уравнений на температуры помутнения и застывания в той или иной мере оказывают влияние все факторы, в первую очередь – время обработки и его сочетание с концентрацией реагентов.Максимальная депрессия температуры помутнения после проведения обработки составила 3 °С, для температуры застывания – 3,5 °С.

После раскодирования и перехода к натуральным значениям уравнения регрессии примут вид:

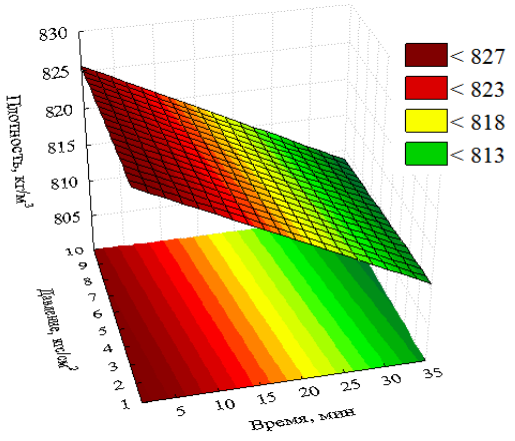
$$T_п = –2,62521–0,11988\tau–0,094P–0,02\tau C+0,002597\tau^2+0,1365C^2,$$

$$T_з = –10,7851–0,1091\tau–0,12029P–0,025\tau C+0,002464\tau^2+0,1295\ C^2.$$

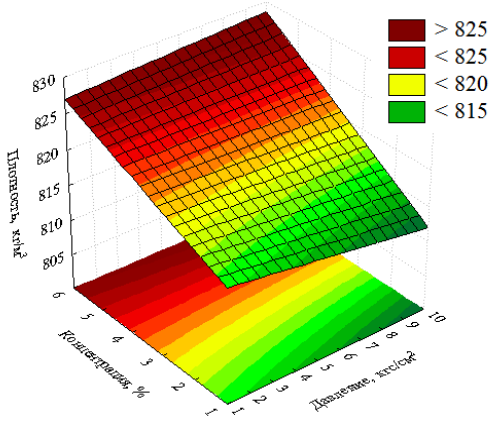
Поверхности отклика и их сечения представлены на рисунке 3.



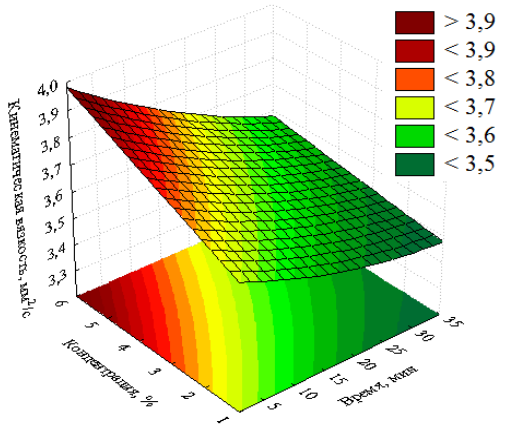
Iа



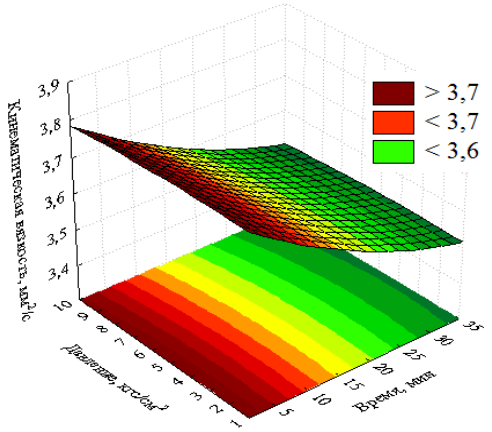
Iб



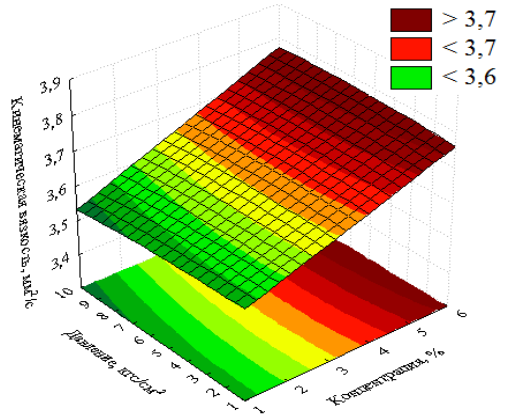
Iв



IIа

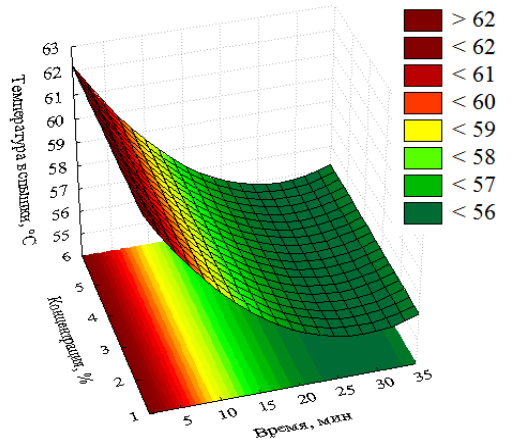


IIб

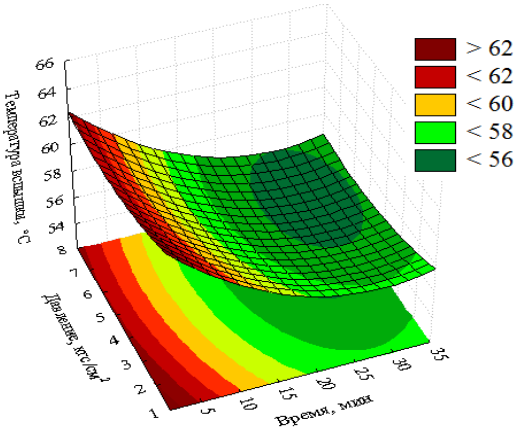


IIв

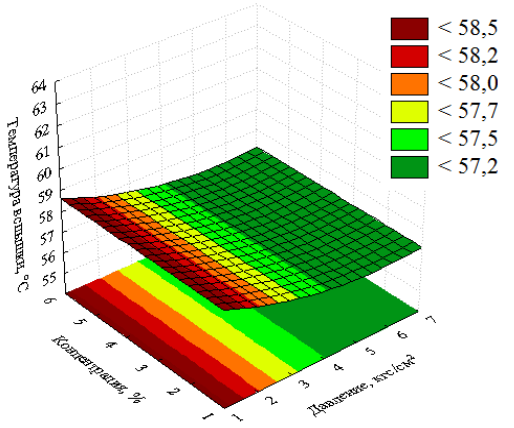
Рисунок 1 – Поверхности отклика плотности (Iа – Iв)и кинематической вязкости (IIа – IIв) обрабатываемого топливав зависимости от исследуемых факторов:
Iа, IIа –от времени обработки и концентрации реагента(давление 4,5 кгс/см^2)
Iб, IIб –от давления и времени обработки(концентрация реагента 3 %)
Iв, IIв –от давления и концентрации реагента(время обработки 15,5 мин)



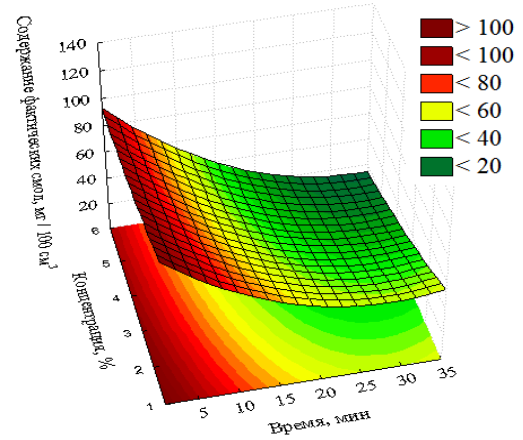
IIIа



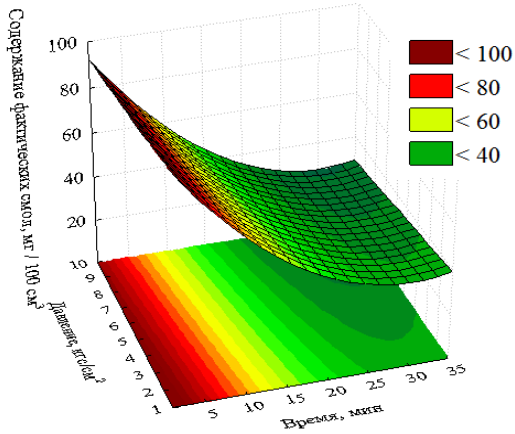
IIIб



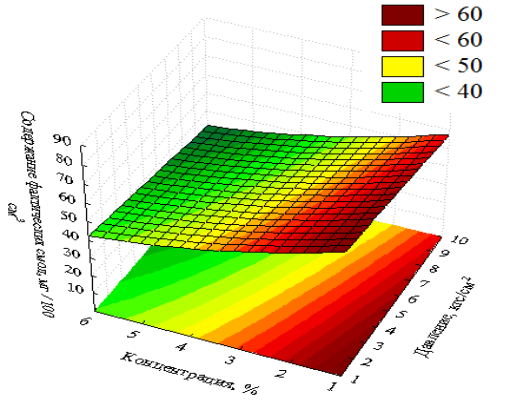
IIIв



IVа



IVб



IVв

Рисунок 2 – Поверхности отклика температуры вспышки (IIIа – IIIв)и содержания фактических смол (IVа – IVв)вобрабатываемом топливе в зависимости от исследуемых факторов:
IIIа, IVа –от времени обработки и концентрации реагента(давление 4,5 кгс/см^2)
IIIб, IVб –от давления и времени обработки(концентрация реагента 3 %)
IIIв, IVв –от давления и концентрации реагента(время обработки 15,5 мин)

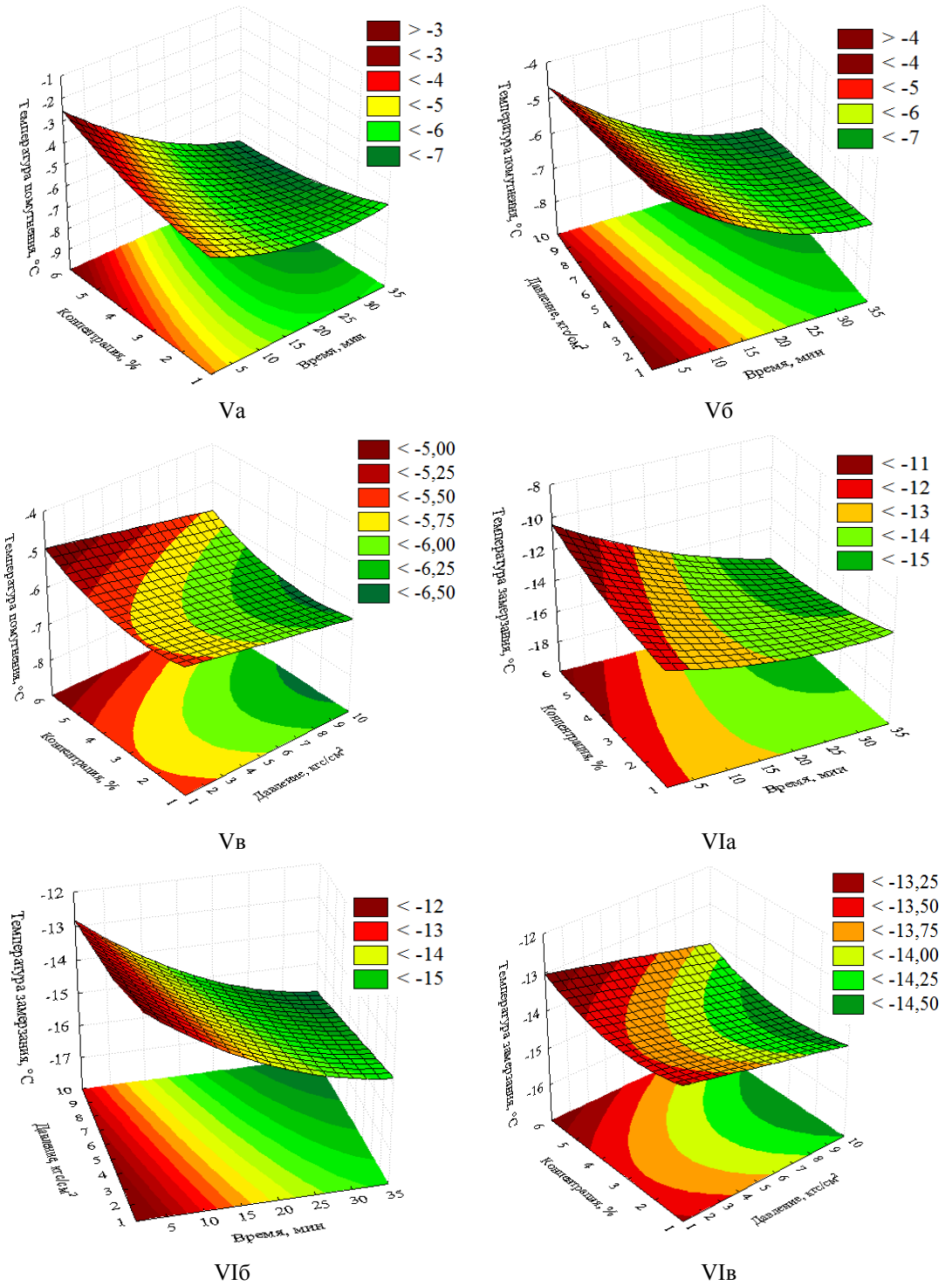


Рисунок 3 – Поверхности отклика температуры помутнения (Va – Vв)и температуры замерзания (VIa – VIв) обрабатываемого топливав зависимости от исследуемых факторов:
Va, VIa –от времени обработки и концентрации реагента(давление 4,5 кгс/см^2)
Vб, VIб –от давления и времени обработки(концентрация реагента 3 %)
Vв, VIв –от давления и концентрации реагента(время обработки 15,5 мин)

Выводы. На основании проведенных экспериментов определены параметры комплексной обработки нефтепродуктов на примере модельного дизельного топлива – концентрация реагента, время обработки и давление смеси на входе в смеситель-активатор.

Установлено, что с возрастанием времени обработки плотность топлива снижается максимум на 3 %, в то время как с возрастанием концентрации реагента – незначительно (на 0,5 %) увеличивается по сравнению с исходным значением.

При максимальном времени обработкии половине от максимального значения концентрации вязкость снизилась на 7 %, относительно исходного значения, в то время как при максимальной концентрации реагента и практически минимальных значениях времени обработки и давления вязкость увеличивается на 4 % по сравнению с исходным значением.

С увеличением времени обработки топлива и давления на входе в смеситель температура вспышки уменьшается. Максимальное снижение составило 6 °С (9 % от исходного значения), что может быть полезно для топлив утяжеленного фракционного состава с высоким значением этого показателя.

Содержание фактических смол уменьшилось практически на 80 %, что должно оказать значительное влияние на работу топливной аппаратуры улучшив процесс сгорания и термическую стабильность теплива, а также способствуя уменьшению закоксованности форсунок.

На низкотемпературные свойства оказывают влияние все факторы, в первую очередь – время обработки в сочетании с концентрацией реагента.Максимальная депрессия температуры помутнения после проведения обработки составила 3 °С, для температуры застывания – 3,5 °С.

Таким образом, по итогам проведенных исследований оптимальными значениями параметров обработки, влияющих на эксплуатационные свойства дизельных топлив, являются концентрация реагента 3 – 5 %, время обработки в статическом смесителе 15 – 30 минут при давлении 5 – 6 кгс/см^2.Это обеспечит снижение содержание смолистых соединений, общей и меркаптановой серы, уменьшение коксуемость 10 % остатка и облегчение фракционного состава, при незначительномснижении температуры вспышки, вязкости и плотности топлива.

Список литературы

1. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Вязинкин В.С., Белогорский В.В. Контроль качества моторных масел // Сельский механизатор – 2009. – №3. – С. 28–29.

2. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Манаенков К.А., Бектилевов А.Ю. Повышение смазывающих свойств топлива // Сельский механизатор – 2012. – № 4. – С. 34–35.

3. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива // Техника и оборудование для села – 2012. – № 6. – С. 10–11.

4. Ликсутина А.П., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Алибаев Б.Т. Контроль качества светлых нефтепродуктов на сельскохозяйственных предприятиях // Современные задачи инженерных наук сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ – 2017» – 2017. – С. 80–85.

5. Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю., Алибаев Б.Т. Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Наука в центральной России – 2016. – №4 (22). – С 15–26.

6. Маслов Г.Г., Дидманидзе О.Н., Цибулевский В.В. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: Учебн. пособие для сельскохозяйственных вузов – М.:УМЦ «Триада» – 2007. – 292 с.

7. Бусин И.В., Корнев А.Ю. Исследование влияния эффектов механоактивации на характеристики дизельного топлива // Наука в центральной России – 2019. – № 2 (38). – С 123-129.

8. Корнев А.Ю., Бусин И.В., Ликсутина А.П. Комплексное воздействие механообработки, вихревых потоков и химических реагентов на дизельное топливо // Наука в центральной России – 2019. – № 3 (39). – С 123-129.

9. Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Мещеряков А.Г. Способ очистки дизельного топлива. Патент РФ № 2645676. 2017

10. Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям М.: Колос. 1982. 208 с.

References

1. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Vyazinkin V.S., Belogorskij V.V. Kontrol' kachestva motornyh masel // Sel'skij mekhanizator – 2009. – №3. – S. 28–29.
2. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Manaenkov K.A., Bektilevov A.YU. Povyshenie smazyvayushchih svojstv topliva // Sel'skij mekhanizator – 2012. – № 4. – S. 34–35.
3. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Bektilevov A.YU. Povyshenie ekspluatacionnyh svojstv dizel'nogo topliva // Tekhnika i oborudovanie dlya sela – 2012. – № 6. – S. 10–11.
4. Liksutina A.P., Nagornov S.A., Busin I.V., Alibaev B.T. Kontrol' kachestva svetlyh nefteproduktov na sel'skohozyajstvennyh predpriyatiyah // Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk sbornik nauchnyh trudov VI-ogo Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo Simpoziuma «Sovremennye energo- i resursosberegayushchie tekhnologii SETT – 2017» – 2017. – S. 80–85.
5. Kornev A.YU., Bektilevov A.YU., Alibaev B.T. Prichiny snizheniya kachestva svetlyh nefteproduktov, ispol'zuemyh v sel'skom hozyajstve // Nauka v central'noj Rossii – 2016. – №4 (22). – S 15–26.
6. Maslov G.G., Didmanidze O.N., Cibulevskij V.V. Optimizaciya parametrov i rezhimov raboty mashin metodami planirovaniya eksperimenta: Uchebn. posobie dlya sel'skohozyajstvennyh vuzov – M.:UMC «Triada» – 2007. – 292 s.
7. Busin I.V., Kornev A.YU. Issledovanie vliyaniya effektov mekhanoaktivacii na harakteristiki dizel'nogo topliva // Nauka v central'noj Rossii – 2019. – № 2 (38). – S 123-129.
8. Kornev A.YU., Busin I.V., Liksutina A.P. Kompleksnoe vozdejstvie mekhanoobrabotki, vihrevyh potokov i himicheskih reagentov na dizel'noe toplivo // Nauka v central'noj Rossii – 2019. – № 3 (39). – S 123-129.
9. Alibaev B.T., Kornev A.YU., Nagornov S.A., Busin I.V., Meshcheryakov A.G. Sposob ochistki dizel'nogo topliva. Patent RF № 2645676. 2017
10. Itinskaya N.I., Kuznecov N.A. Spravochnik po toplivu, maslam i tekhnicheskim zhidkostyam M.: Kolos. 1982. 208 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Бусин Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Ликсутина Анна Павловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Busin Igor – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Liksutina Anna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 03.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 06.08.2019

УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-88-97

УДАЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ

[1]***Остриков Валерий Васильевич***
[1]***Сазонов Сергей Николаевич***
[1]***Вязинкин Виктор Сергеевич***
[1]***Забродская Алла Владимировна***
[1]***Жерновников Дмитрий Николаевич***
[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»*

Реферат. *Одним из эффективных способов продления сроков службы двигателей тракторов и увеличения их межремонтного ресурса является периодическая промывка системы смазки от загрязнений. В сельскохозяйственном производстве при проведении технического обслуживания тракторов эта операция практически не проводится. В ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывается технологический процесс промывки системы смазки с использованием отработанных моторных масел и моющих добавок. Установлено, что внесение в отработанное моторное масло М-10Г$_2$К моноэтаноламина 2% масс и изопропанола 2% масс с последующим осаждением загрязнений в поле гравитационных сил в течение 7 - 8 часов позволяет получить удовлетворительного качества основу для промывочных масел. Содержание нерастворимого осадка в отработанном масле, смол снижается с 0,9% до 0,01%, цвет масла изменяется с 9 до 5 баллов в единицах ЦНТ. На следующем этапе в очищенное отработанное моторное масло вносится диметилсульфоксид, изопропилат калия и дизельное топливо 3% масс каждой из добавок. Моделирование процесса образования и удаления загрязнений показало принципиальную возможность использования данного состава для очистки системы смазки от смолистых отложений. Установлено снижение количества отложений под действием экспериментального состава промывочного масла с 7 г на пластиках до 1 г. В результате стендовых испытаний состава промывочного масла в двигателе Д-240 определено увеличение содержания нерастворимого осадка в масле с 0,01% до 0,16%, что косвенно характеризует достаточно высокие моющие свойства экспериментального состава промывочного масла. Компрессия в цилиндрах двигателя увеличилась на 8…10%, расход топлива снизился на 4%. В целом по результатам исследований, в первом приближении, можно утверждать о состоятельности гипотезы использования отработанных моторных масел с добавками для промывки системы смазки двигателей тракторов.*

Ключевые слова*: промывочное масло, система смазки, загрязнения, двигатель, отработанное масло, очистка.*

REMOVAL OF POLLUTION FROM THE LUBRICATION SYSTEM OF TRACTOR ENGINES

[1]***Ostrikov Valery***
[1]***Sazonov Sergey***
[1]***Vyazinkin Viktor***
[1]***Zabrodskaya Alla***
[1]***Zhernovnikov Dmitriy***
[1]*FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"*

Abstract. *One of the effective ways to extend the life of tractor engines and increase their service life between repairs is to periodically flush the lubrication system from pollution. This operation is practically not carried out in agricultural production during the maintenance of tractors. The technological process of washing the lubrication system using used motor oils and detergents is being developed at the Federal State Budget Scientific Institution VNIITiN. It was found that the introduction of monoethanolamine 2% of the mass and isopropanol 2% of the mass to the used M-10G2K engine oil, followed by the deposition of contaminants in the field of gravitational forces for 7-8 hours, makes it possible to obtain a satisfactory quality base for flushing oils.The content of insoluble sediment in the waste oil, the resin is reduced from 0.9% to 0.01%, the color of the oil changes from 9 to 5 points in units of CNT. At the next stage, dimethyl sulfoxide, potassium isopropylate and diesel fuel, 3% by weight of*

each of the additives, are added to the purified used motor oil. Simulation of the process of formation and removal of contaminants has shown the fundamental possibility of using this composition for cleaning the lubrication system from resinous deposits. A decrease in the amount of deposits under the influence of the experimental composition of flushing oil from 7 g on plastics to 1 g was established. As a result of bench tests of the composition of flushing oil in the D-240 engine, an increase in the content of insoluble sediment in oil from 0.01% to 0.16% was determined, which indirectly characterized by fairly high detergency properties of the experimental composition of flushing oil. Compression in engine cylinders increased by 8 ... 10%, fuel consumption decreased by 4%. In general, according to the results of research, in a first approximation, it can be argued about the consistency of the hypothesis of the use of used motor oils with additives for flushing the lubrication system of tractor engines.

Keywords: *flushing oil, lubrication system, pollution, engine, used oil, cleaning.*

Введение. В процессе работы дизельных двигателей внутреннего сгорания на дне картера, в масляных каналах, на деталях цилиндро-поршневой группы могут образовываться смолистые отложения, снижающие эффективность работы тракторных двигателей. Данные факты обусловлены, прежде всего, техническим состоянием двигателей, высокими нагрузками, свойствами моторного масла и качеством используемого дизельного топлива.

По мере срабатывания присадок в масле под маслосъемными и компрессионными кольцами образуются смолистые отложения, способные снизить их подвижность, тем самым ухудшить эксплуатационные показатели двигателя.

Одной из наиболее эффективных мер, снижающих загрязненность деталей двигателя, является их промывка специальными маслами [1, 2, 3].

Промывочные масла, как правило, состоят из базовой основы и присадок [4, 5].

В научно-технической литературе и в других информационных источниках представлен достаточно большой перечень составов промывочных масел и технологий промывки двигателей от загрязнений [6, 7, 8].

В практике очистки двигателей от твердых и мазеподобных отложений существуют противоречивые подходы, основанные на признании необходимости промывки ДВС от загрязнений, с одной стороны, и неэффективности и даже возникновении ситуации аварийного выхода из строя деталей двигателей, с другой стороны [9, 10].

Необходимо признать, что промывка систем смазки двигателей тракторов не нашла широкого применения и распространения в сельскохозяйственном производстве. Одна из важнейших причин отказа от данных операций технического обслуживания является относительно высокая цена на промывочное масло при требуемых значительных объемах масла для промывки дизельных двигателей тракторов и комбайнов.

Оценка загрязненности двигателей тракторов в зависимости от влияния различных факторов в условиях реальной эксплуатации показала, что чаще всего загрязнения, смолы образуются по причине неудовлетворительного технического состояния двигателя (высокий износ деталей ЦПГ, перебои в работе топливной аппаратуры) и низкого качества используемого моторного масла (рисунок 1).

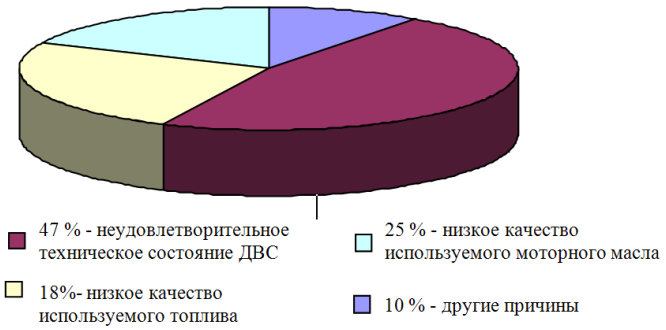


Рисунок 1 – Загрязненность деталей двигателей в зависимости от установленных причин образования загрязнений

Были выбраны 20 тракторов марок МТЗ для анализа технического состояния и загрязненности. Оценивали такие показатели как компрессия в цилиндрах, расхода топлива, мощностные характеристики двигателя. После разборки пяти двигателей рассматривалась подвижность поршневых колец, загрязненность деталей, проводился анализ используемого моторного масла, оценка физико-химических показателей используемого дизельного топлива.

На основании комплексного анализа специалистами инженерных служб ремонтно – технического предприятия совместно со специалистами ФГБНУ ВНИИТиН делалось заключение о степени загрязненности двигателя и причин образования загрязнений. При этом очень сложно однозначно утверждать, что причиной высокой загрязненности двигателя является один фактор. Как правило, просматривалась определенная взаимосвязь факторов.

Анализируя изменения образования отложений в канавках поршневых колец поршня двигателя Д-240, работавшем 250 часов на масле М-10$Г_{2К}$ с неудовлетворительными характеристиками, в сравнении с маслом, отвечающим требованиям ГОСТ, установлена зависимость роста образования отложений от наработки (рисунок 2).

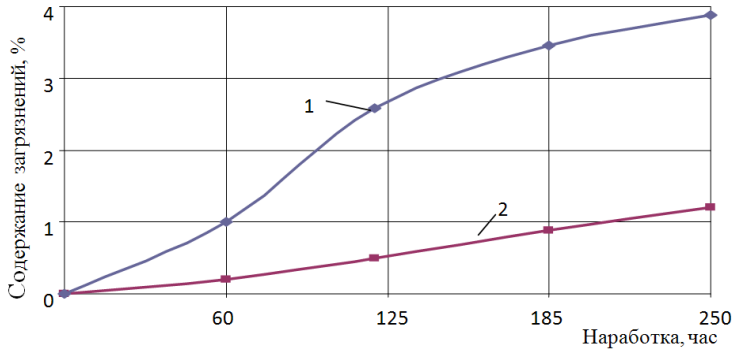


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности образования отложений в каналах поршневых колец от наработки: 1 - масло М-10$Г_{2К}$, имеющее отклонения от требований ГОСТ; 2 -масло М-10$Г_{2К}$, соответствующее требованиям ГОСТ

Установлено значительное влияние свойств и качеств исходных масел на величину образования отложений. Отложения представляли собой мазеподобную структуру относительно легко удаляемую.

Целью исследования является повышение эксплуатационных характеристик двигателей тракторов и снижение затрат на техническое обслуживание машин за счет разработки и использования технологического процесса очистки деталей двигателя от загрязнений промывочным маслом на основе отработанного моторного масла.

Новизна исследования – обоснован способ получения основы промывочного масла, установлены зависимости изменения свойств отработанного моторного масла в процессе их очистки и обогащения присадками. Определены рациональные характеристики состава промывочного масла на основе отработанного моторного масла.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в ФГБНУ ВНИИТиН. В отработанном моторном масле после слива из картера двигателя трактора определялись вязкость, температура вспышки, щелочное и кислотное число, содержание нерастворимого осадка. Проводилась очистка масла от смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов физико-химическими методами. При этом в масло вносилось 2 % масс моноэтаноламина и 2 % масс изопропанола. Смесь перемешивалась и нагревалась в реакторе до температуры 130 °С. Далее образовавшаяся суспензия отстаивалась в течение 8 часов с постепенным понижением температуры до 40 °С. В

отстоявшееся масло вносятся присадки в концентрации 1…5 % масс для повышения моющих свойств масла. Перемешивание осуществляется шестеренчатым насосом в течение 15 минут. Полученный состав масла анализируется на содержание щелочного и кислотного числа, определяется вязкость кинематическая при 100°С, температура вспышки и цвет масла в баллах ед. ЦНТ. Далее масло заправляется в двигатель Д-240, проработавший предварительно в стендовых условиях более 200 часов. Двигатель запускается и работает в течение 30 минут при максимальных нагрузках. После остановки масло из картера сливается. Проводится анализ элементарного состава масла до и после испытания. Определяется содержание Al, Fe, Cr, Cu и т.д. Также проводится сравнительный анализ содержания нерастворимого осадка и изменения цвета масла. На основании всего комплекса исследований оцениваются моющие свойства экспериментального состава промывочного масла.

Результаты и обсуждения. Отработанные моторные масла по сравнению с базовыми маслами, используемыми в составах промывочных масел, имеют ряд преимуществ. Отработанное масло содержит порядка 20-30 % не сработавшихся моющее-диспергирующих, противоизносных присадок, имеет удовлетворительную вязкость. Исходя из этого, можно полагать, что время промывки системы смазки может быть увеличено, тем самым увеличена эффективность очистки, температурный режим работы в двигателе.

При этом, отработанное моторное масло имеет в своем составе значительное количество загрязнений, смол, асфальтенов, продуктов окисления масла и сгорания топлива, что делает его не пригодным к использованию в качестве основы промывочного масла. Использование физических способов очистки не позволяет удалить из масла растворимые примеси. Применение известных физико-химических способов очистки увеличивает затраты на очистку, так как предполагает использование сложного технологического оборудования, не доступного основной мессе сельскохозяйственных предприятий.

На основании ранее разработанных ФГБНУ ВНИИТиН способов очистки отработанных моторных масел [11] проведены исследования по упрощению технологического процесса очистки с получением очищающего продукта, отвечающего требованиям, предъявляемым к базовым маслам.

В таблице 1 представлены физико-химические характеристики исходного отработанного моторного масла М-10$Г_{2К}$, используемого при разработке нового технологического процесса очистки.

Отработанное моторное масло помещалось в теплоизолирующую емкость с электронагревательными элементами. Масло нагревалось до 100 °С и далее в него вносился моноэтаноламин – 2 % масс и изопропанол – 2 % масс. После чего температура масла повышалась до 130 °С и дальнейший нагрев прекращался.

Таблица 1 - Физико-химические характеристики отработанного моторного масла М-10$Г_{2К}$

№ п/п	Показатели	Значение
1.	Вязкость кинематическая, мм²/с, при 100°С	10,6
2.	Щелочное число, мг КОН/г	2,5
3.	Кислотное число, мг КОН/г	1,6
4.	Температура вспышки, °С	198
5.	Содержание нерастворимого осадка, %	0,9
6.	Цвет, балл ед. ЦНТ	9,0

На рисунке 3 представлена зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от времени его отстаивания.

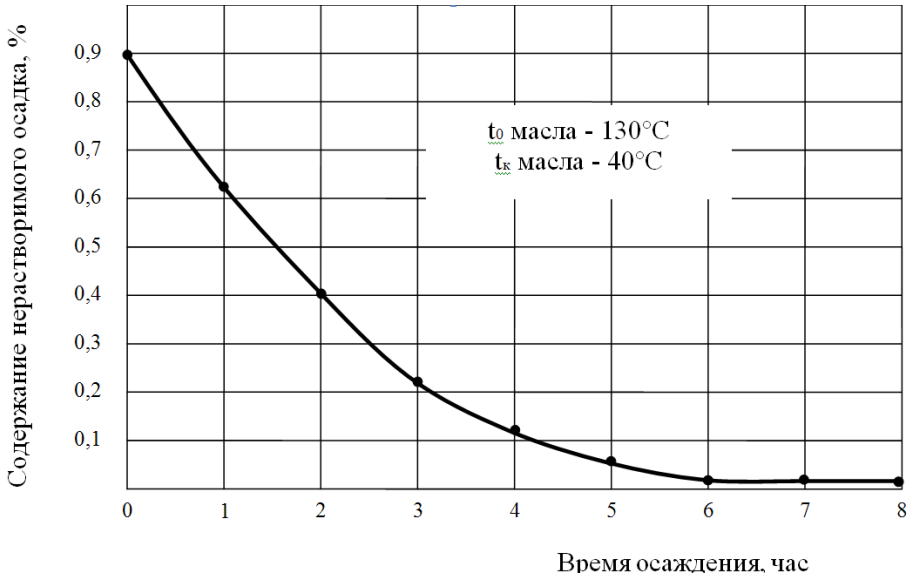


Рисунок 3 - Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от времени процесса осаждения.

В таблице 2 представлены физико-химические характеристики моторного масла после завершения процесса отстаивания в емкости.

Таблица 2 – Физико-химические характеристики моторного масла после осаждения загрязнений (отстаивание 8 часов).

№ п/п	Показатели	Значение
1.	Вязкость кинематическая, мм²/с, при 100°С	10,0
2.	Щелочное число, мг КОН/г	3,1
3.	Кислотное число, мг КОН/г	0,6
4.	Температура вспышки, °С	201
5.	Содержание нерастворимого осадка, %	0,01
6.	Цвет, балл ед. ЦНТ	5,0

Анализируя зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле (рисунок 3) следует отметить, что уже после 6 часов осаждения скоагулировавших загрязнений их концентрация снизилась более чем в 10 раз. Вязкость масла и температура вспышки (таблица 2) практически не изменились и находились на уровне значений характерных для моторных масел используемых в двигателях сельскохозяйственной техники.

Щелочное число увеличилось за счет присутствия в масле моноэтаноламина, что следует расценивать как положительный факт, косвенно свидетельствующий о повышении моющих свойств масла.

Цвет масла изменился с черного у отработанного до светло-коричневого у очищенного. Значение 5 в баллах единицах ЦНТ у масла после очистки соответствует некоторым видам товарных моторных масел, но выше чем у большинства промывочных масел.

В целом по результатам экспериментальных исследований, направленных на получение основы промывочных масел из отработанных минеральных моторных масел можно сделать вывод, что очищенное по упрощенной технологии отработанное масло в первом приближении соответствует требованиям, предъявляемым к маслам для промывки системы смазки от загрязнений.

На следующем этапе разработки состава промывочного масла в очищенное отработанное моторное масло вносились специальные добавки в процентном соотношении 3…9 % масс, повышающие моющие свойства масла. В качестве компонентов добавок использовались диметилсульфоксид и изопропилат калия. Для повышения эффективности растворения смол, лаковых отложений в масло также добавлялось дизельное топливо 1…5 % масс.

Для оценки эффективности растворения смол моделировалось образование отложений в ДВС. В стакан диаметром 60 мм и высотой 10 мм помещалось отработанное моторное масло М-10$Г_{2К}$ слитое из картера двигателя. Стакан устанавливался в муфельную печь, где в течение 1 часа при температуре 200 °С проводился нагрев масла. Образовавшуюся после нагрева и выгорания масла пленку рассматривали как мазеподобные отложения и загрязнения системы смазки.

Далее в стакан заправлялось масло с различным компонентным составом добавок. Емкость закрывалась и проводилось встряхивание в течение 15…60 минут. После чего масло сливалось, проводился процесс сушки, взвешивания и визуальной оценки промываемой поверхности стакана.

На рисунке 4 показаны выборочные значения изменения количества отложений на пластинах от времени промывки (встряхивания).

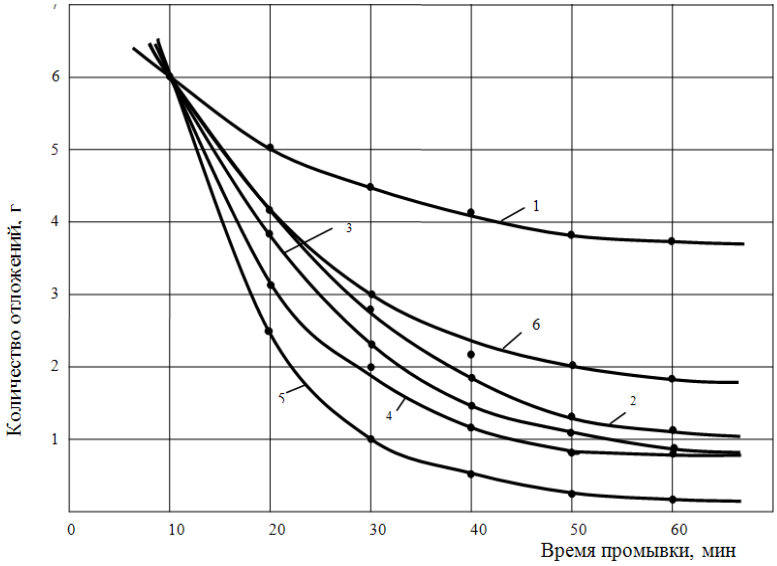


Рисунок 4 - Зависимость изменения количества отложений от времени промывки загрязненной поверхности

Анализируя полученные результаты исследований следует отметить, что самой низкой моющей способностью из рассмотренных составов обладает очищенное моторное масло без добавок 1, самой высокой – чистое дизельное топливо 5. Однако дизельное топливо не следует рассматривать в качестве моющего средства, а только в качестве добавок. При этом товарное промывочное масло 6 имело относительно не высокие показатели промывки. В частности, содержание загрязнений снизилось с 7 до 2 г после одного часа промывки. Экспериментальные составы 2, 3, 4 на основе очищенного отработанного моторного масла позволили снизить содержание загрязнений на поверхности стаканов с 7 до 1 г.

Следует отметить, что данные исследования позволяют получить только общую информацию о моющей способности составов, так как полученные результаты имеют большую погрешность в определениях.

Вместе с тем, полученные значения корреспондируются с результатами визуальной оценки чистоты поверхностей стаканов до и после проведения экспериментов по удалению смолистых отложений.

Результаты лабораторных исследований только с определенной степенью достоверности подтверждают моющие свойства промывочных масел. В условиях реальной эксплуатации дизельных двигателей отложения и загрязнения системы смазки, как правило, имеют несколько другую структуру, состав, твердость и т.д.

В связи с чем, проведены исследования по определению моющих свойств экспериментального состава и эффективности удаления загрязнений на полноразмерном двигателе Д-240. Двигатель работал более 200 часов. Оценка состояния загрязненности деталей и агрегатов проводилась путем частичной разборки и фотосъемки. Техническое состояние оценивалось на основе определения компрессии в цилиндрах, расхода топлива и давления масла в системе смазки.

Для проведения испытаний готовилось промывочное масло путем очистки отработанного моторного масла М-10$Г_{2К}$ вышерассмотренным способом с последующим внесением диметилсульфоксида, изопропилата калия и дизельного топлива. Рациональной концентрацией внесения каждой из добавок принято значение по 3 % масс каждого составляющего компонента.

Эффективность удаления загрязнений из системы смазки определялась на основании периодического анализа физико-химических характеристик промывочного масла.

На рисунке 5 представлена зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от времени работы двигателя.

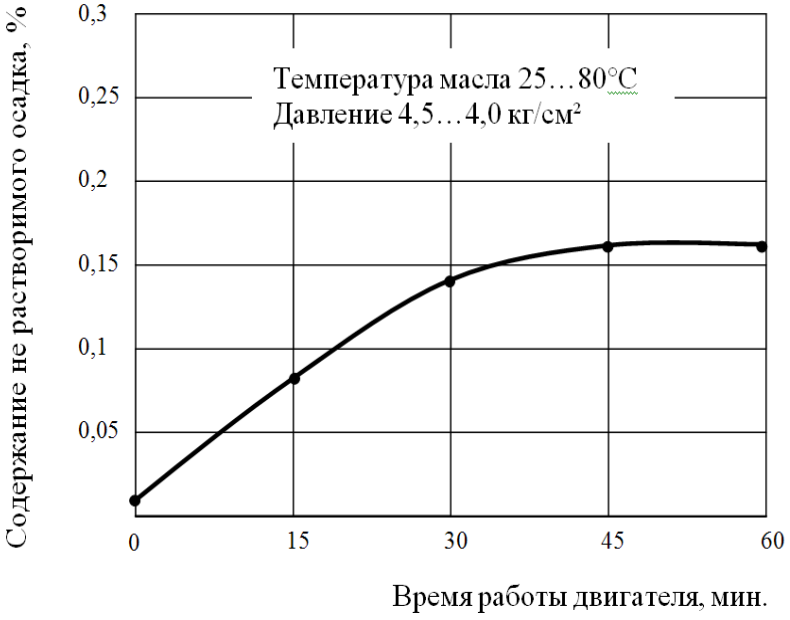


Рисунок 5 - Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в экспериментальном промывочном масле от времени работы двигателя

Интенсивное накопление загрязнений, смол в масле отмечено в первые 30 минут работы двигателя, далее процесс стабилизируется. То есть рациональным временем промывки, в первом приближении, следует считать 30-40 минут. Увеличение времени промывки системы смазки по сравнению с принятым и рекомендованным для известных промывочных масел следует объяснить свойствами основы экспериментального состава, полученной из отработанного моторного масла.

Анализируя изменение элементного состава промывочного масла до и после проведения операции промывки системы смазки (таблица 3) установлено, что разработанный состав позволяет удалять не только смолы, но и продукты износа.

Таблица 3 – Изменение элементного состава промывочного масла

Элемент	проба промывочного масла	концентрация	
		мг/л	p.p.m.
Fe	Исходная проба	26,04	28,64
	После промывки	58,97	64,87
Al	Исходная проба	1.09	1,19
	После промывки	3,21	3,52
Cr	Исходная проба	2,57	2,83
	После промывки	4,19	4,60
Cu	Исходная проба	1,10	1,20
	После промывки	3,81	4,19

Определение компрессии в цилиндрах двигателя после завершения операции промывки показало увеличение данного показателя на 8…10 % по сравнению с первоначальным состоянием. Расход топлива снизился на 4%.

Выводы. На основании результатов исследования установлено, что использование отработанных моторных масел в качестве основы промывочных масел является обоснованным решением. Отработанное моторное масло по сравнению с базовыми маслами, используемыми для приготовления промывочных масел, обладает более высокими моющими, противоизносными свойствами. Удаление из отработанных моторных масел смол, продуктов окисления позволяет их рекомендовать в качестве основы промывочного масла.

Внесение в очищенное от загрязнений отработанное моторное масло диметилсульфоксида, изопропилата калия и дизельного топлива позволяет повысить моющие свойства очищенного масла.

В результате испытания экспериментального состава промывочного масла в системе смазки двигателя Д-240 установлено повышение компрессии и снижение расхода топлива.

Список литературы

1. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Афанасьев Д.И., Забродская А.В., Афоничев Д.Н. Исследования по разработке состава приработочного масла для послеремонтной обкатки двигателей тракторов // Вестник Воронежского ГАУ. 2017. № 1(52). С. 136-144.

2. Остриков В.В., Петрашев А.И., Сазонов С.Н., Забродская А.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие. / Москва – Вологда: Инфра – Инженерия, 2019. 244 с.

3. Картошкин А.П. Исследование нагароотложений на деталях цилиндропоршневой группы при эксплуатации дизелей сельскохозяйственных тракторов. Л.:ЛСХИ, 1984. 97 с.

4. Николаенко А.В., Картошкин А.П., Проскурин А.И. Количественные характеристики ухудшения работы тракторного дизеля при нагарообразованиях в цилиндрах // Двигателестроение. 1984. № 8. С. 45-49.

5. Непогодьев А.В., Ворожихина В.И., Рязанов Л.С. и др. Высокотемпературное динамическое окисление масла в поршневом двигателе // Двигателестроение. 1990. № 3. С. 51-54.

6. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Коган Б.М., Пичугин Е.В. Исследование абразивных свойств нагара двигателей. М.: Трение и износ, 1983. Т. 4. № 2. 439 с.

7. Adkins P. The Burning of Emulsified Fuel in Medium Speed Diesel Engines // Fairplay International Shipping Weekly. 1982. Vol. 281. № 5132. P. 27-29.

8. Elf bringt Diesel-Wasser-Gemisch auf den Deutschen Markt // Komrnun-alwirtschaft. 1999. № 7. P. 59 - 60.

9. Николаенко А.В., Хватов В.Н. Повышение эффективности использования тракторных дизелей в сельском хозяйстве. Л.: Агропромиздат,. 1986. 411 с.

10. Колпаков В.Е. Метод ускоренных испытаний на нагарообразование и профилактика нагароотложений в выпускных клапанах газораспределительного механизма дизелей сельскохозяйственных тракторов: автореф. дис…. канд. техн. наук. – Л. 1986. 16 с.

11. Патент № 2614244. Способ очистки отработанных минеральных моторных масел / Остриков В. В., Афанасьев Д.И., Кругов В.Ф., Сазонов С.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН, заявл. 30.05.2016; опубл. 24.03.2017; Бюл. 9.

References

1. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Afanas'ev D.I., Zabrodskaya A.V., Afonichev D.N. Issledovaniya po razrabotke sostava prirabotochnogo masla dlya posleremontnoj obkatki dvigatelej traktorov //Vestnik Voronezhskogo GAU. 2017. № 1(52). S. 136-144.

2. Ostrikov V.V., Petrashev A.I., Sazonov S.N., Zabrodskaya A.V. Toplivo, smazochnye materialy i tekhnicheskie zhidkosti: uchebnoe posobie. / Moskva – Vologda: Infra – Inzheneriya, 2019. 244 s.

3. Kartoshkin A.P. Issledovanie nagarootlozhenij na detalyah cilindroporshnevoj gruppy pri ekspluatacii dizelej sel'skohozyajstvennyh traktorov. L.: LSKHI, 1984. 97 s.

4. Nikolaenko A.V., Kartoshkin A.P., Proskurin A.I. Kolichestvennye harakteristiki uhudsheniya raboty traktornogo dizelya pri nagaroobrazovaniyah v cilindrah // Dvigatelestroenie. 1984. № 8. S. 45-49.

5. Nepogod'ev A.V.. Vorozhihina V.I., Ryazanov L.S. i dr. Vysokotemperaturnoe dinamicheskoe okislenie masla v porshnevom dvigatele // Dvigatelestroenie. 1990. № 3. S. 51-54.

6. Grigor'ev M.A., Bunakov B.M., Kogan B.M., Pichugin E.V. Issledovanie abrazivnyh svojstv nagara dvigatelej. M.: Trenie i iznos, 1983. T. 4. № 2. 439 s.

7. Adkins P. The Burning of Emulsified Fuel in Medium Speed Diesel Engines // Fairplay International Shipping Weekly. 1982. Vol. 281. № 5132. R. 27-29.

8. Elf bringt Diesel-Wasser-Gemisch auf den Deutschen Markt // Komrnun-alwirtschaft. 1999. № 7. R. 59 - 60.

9. Nikolaenko A.V., Hvatov V.N. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya traktornyh dizelej v sel'skom hozyajstve. L.: Agropromizdat,. 1986. 411 s.

10. Kolpakov V.E. Metod uskorennyh ispytanij na nagaroobrazovanie i profilaktika nagarootlozhenij v vypusknyh klapanah gazoraspredelitel'nogo mekhanizma dizelej sel'skohozyajstvennyh traktorov: avtoref. dis…. kand. tekhn. nauk. – L. 1986. 16 s.

11. Patent № 2614244. Sposob ochistki otrabotannyh mineral'nyh motornyh masel / Ostrikov V. V., Afanas'ev D.I., Krugov V.F., Sazonov S.N.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN, zayavl. 30.05.2016; opubl. 24.03.2017; Byul.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Сазонов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: snsazon@mail.ru.

Вязинкин Виктор Сергеевич – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Забродская Алла Владимировна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Жерновников Дмитрий Николаевич – инженер Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery– Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Sazonov Sergey – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Engineering and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: snsazon@mail.ru.

Vyazinkin Victor – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Engineering and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Zabrodskaya Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Engineering and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Zhernovnikov Dmitry – engineer of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Engineering and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 27.06.2019 Принята к публикации (Accepted): 30.07.2019

УДК62-533.65
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-97-108

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО УГЛЕРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В НАГРЕВАТЕЛЯХ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МОТОРНОГО МАСЛА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

[1]Ягубов Виктор Сахибович
[1]Щегольков Александр Викторович
[1]Нагдаев Владимир Константинович
[1]Ткачев Алексей Григорьевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Использование электронагревателей для улучшения температурного состояния отдельных элементов автотранспорта позволяет улучшить пуск и снизить токсичность выхлопных газов. Изучали возможность применения углеродных нанотрубок (УНТ) в бинарном наполнителе нагревательных элементов для тепловой подготовки узлов автотранспортной техники. В качестве основы нагревательного элемента, использовали кремнийорганический компаунд (КОК) «Силагерм 8030, электропроводящих наполнителей - смесь УНТ с электроугольным графитом ЭУ-1. Разработана методика изготовления нагревателей. Установлены оптимальные концентрации бинарного наполнителя. Изучены электрофизические параметры изготовленных образцов нагревателей. С помощью тепловизионной съемки установили, что работоспособность исследуемых нагревателей не зависит от их формы*. В *ходе исследований выявлено, что при изменении температуры окружающей среды от минус 64 до +20 °С электрическое сопротивление нагревателя изменяется от 99 до 59 Ом. Это свидетельствует о положительном температурном коэффициенте сопротивления и о том, что разработанные нагреватели обладают эффектом саморегулирования температуры. Обоснованы режимные параметры электронагревателей на основе полимеров, модифицированных углеродными нанотрубками, работающих от источника переменного тока под напряжением 110 В. Саморегулируемый нагреватель, подключенный к такому источнику переменного тока, позволяет нагреть моторное масло с -20 °С до +15 °С за 22 мин.*

Ключевые слова: *наномодифицированный кремнийорганический компаунд, углеродные нанотрубки (УНТ), электронагрев, саморегулирование, двигатель внутреннего сгорания, электроугольный графит.*

APPLICATION OF NANOSTRUCTURAL CARBON FILLER IN HEATERS FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF MOTOR OIL IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES UNDER THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES

[1]Yagubov Victor
[1]Shchegolkov Alexander

[1]***Nagdaev Vladimir***
[1]***Tkachev Alexey***
[1]*FSBEI HE "Tambov state technical university"*

Abstract. *The use of electric heaters to improve the temperature state of individual elements of vehicles can improve start-up and reduce toxicity of exhaust gases.The possibility of using carbon nanotubes (CNTs) in the binary filler of heating elements for the thermal preparation of automotive engineering nodes was studied.Organosilicon compound (COC) "Silagerm 8030 was used as the basis of the heating element, - A mixture of CNTs with electro-carbon graphite EU-1 was used as electrically conductive fillers. The method of manufacturing heaters was developed. The optimal concentration of the binary filler was established. The electrophysical parameters of the fabricated heater samples were studied. It was established using thermal imaging that the performance of the studied heaters does not depend on their shape. It was revealed during the research that when the ambient temperature changes from minus 64 to + 20 ° C, the electric resistance of the heater changes from 99 to 59 Ohms. This indicates a positive temperature coefficient of resistance and that the developed heaters have the effect of temperature self-regulation. The operating parameters of electric heaters based on polymers modified by carbon nanotubes operating from an alternating current source under voltage 110 V are justified. A self-regulating heater connected to such an alternating current source allows the engine oil to be heated from -20 ° C to +15 ° C in 22 minutes.*

Key words*: nanomodified organosilicon compound, carbon nanotubes (CNTs), electric heating, self-regulation, internal combustion engine, electro-carbon graphite.*

Введение. Современная доктрина развития парка автотранспортной техники в РФ связана с ростом её стоимости[1] и численности [3]. При этом доля низкодоходных слоев населения России с каждым годом возрастает [2], что приводит к тенденции развития, как рациональной, так и необоснованной экономии на техническом обслуживании транспортных средств. Рост автотранспортной техники на дорогах России приводит к обострению экологических проблем, которая связана с токсичностью выхлопных газов [4]. Снижение токсичности автотранспорта сводится к поиску технических решений, которые позволяют снизить объемы опасных выбросов в окружающую среду при повседневной эксплуатации автомобилей [5-7].

Самые опасные и токсичные выхлопные газы выделяются при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС)в условиях отрицательных температур, особенно при начальном пуске ДВС «на холодную» [8,9]. В связи с этим разработка устройств, для тепловой предпусковой подготовки узлов автотранспортной техники, является актуальной задачей.

На сегодняшний день существует огромное количество различных устройств, которые способны прогревать узлы ДВС, питаясь как от внешних источников электрического тока, так и от бортовой сети автомобиля. Следовательно, данные устройства разделяются на два типа: автономные и неавтономные.

Автономные подогреватели имеют сложную конструкцию. Принцип работы автономных подогревателей основан на сгорании топлива, в процессе которого нагревается теплообменник с охлаждающей ДВС жидкостью.

Известны автономные подогреватели от немецкой фирмы «Webasto», которые способны обеспечить от 4 до 30 кВт тепловой мощности и способны работать на различном виде топлива: дизель, бензин и метан. После того, как в 1975 году фирма «Webasto» заключила договор с советским правительством и продала лицензию на производство жидкостного подогревателя для грузовых автомобилей модели «DBW 2010» [10], появилась компания на базе Ржевского завода автотракторного электрооборудования «Элтра-Термо». Предпусковые автономные подогреватели от фирмы «Элтра-Термо» способны вырабатывать от 5 до 30 кВт тепловой мощности [11]. Фирма «Адверс», выпускает автономные подогреватели «Теплостар» смощностью4-15 кВт [12]. Отопительные системы «Hydronic» от немецкой компании «Eberspacher» имеют номинальную тепловую мощность, находящуюся в диапазоне для легковых автомобилей: 4-5 кВт, для грузовых: 10-35 кВт [13].Известны автономные предпусковые жидкостные подогреватели «ПЖД» выпускаемые заводом «ШААЗ» (Россия, Шадринск) [14]. Данный вид подогревателей осуществляет прогрев жидкости системы охлаждения автотранспортной техники перед пуском

двигателя при отрицательных температурах, обеспечивая тепловую мощность от 7 до 63 кВт. Такой мощности подогревателей достаточно для того, чтобы устанавливать их на грузовые автомобили (ЗИЛ, ГАЗ, КамАЗ, МАЗ, Урал, КАВЗ, БелАЗ, НефАЗ), на автотракторной и другой сельскохозяйственной технике.

Наряду с автономными, предпусковыми подогревателями существуют также и неавтономные. Работоспособность таких типов нагревателей обеспечивается электропитанием от внешнего источника переменного электрического тока с номинальным напряжением 220 В. В основном, эти устройства представляют собой нагревательные ТЭНы, которые можно монтировать в картер, блок цилиндров и др. части ДВС. Известны нагревательные элементы «Старт МИНИ», которые можно устанавливать в блок цилиндров ДВС таких марок автомобилей как «Toyota», «Hyundai» и др. Номинальная мощность составляет 0,6 кВт [15]. Известны так же устройства различной конструкции от фирмы «DEFA», мощность которых находится в пределах от 0,3 до 1,5 кВт [16]. Известны схожие по конструкции предпусковые подогревательные ТЭНы «Calix RE 167», «Calix RE 163» и «Calix RE 153» производимые ООО «Вебер» (Россия, Санкт-Петербург) [17]. Их мощность составляет 550 Вт. Устанавливаются на автомобили марок «Fiat», «Ford», «Iveco», «Mitsubishi» и др. Основным недостатком неавтономных подогревателей является потребность в источнике переменного тока с напряжением 220 В.

Известны также гибкие нагревательные пластины, которые представляют собой металлический нагревательный элемент, который залит силиконом и упакован в изоляцию. Яркими представителями фирм, выпускающих такие нагреватели, являются «Keenovo»и «Hotstart». Нагревательные пластины «Keenovo» производят с разной мощностью от 100 до 1350 Вт. Питающее напряжение может быть осуществлено как от бортовой сети автотранспортного средства с номинальным напряжением 12-24 В., так и от сети переменного тока с напряжением 220 В. При подаче на них электрического напряжения они поддерживают температуру на своей поверхности от 90 до 180°С [18].

Нагревательные пластины от фирмы «Hotstart» имеют схожий вид и технологическую конструкцию с вышеописанными нагревателями. Нагреватели модели «Hotpads AF40024VDC», рассчитанные на работу под напряжением постоянного электрического тока 24 В. имеют мощность 400 Вт [19]. У фирмы «Keenovo» максимальная мощность нагревательных пластин, питающихся от бортовой сети грузового автомобиля, составляет 250 Вт.

Недостатком гибких нагревательных пластин является присутствие специальных дополнительных средств автоматического регулирования. Они снижают надежность и увеличивают стоимость нагревательных пластин.

Важным направлением современного материаловедения является создание новых полимеров, модифицированных углеродными нанотрубками (УНТ), которые под действием электрического тока, обладают эффектом саморегулирования температуры при их тепловыделении. Одним из направлений применения таких материалов являются антиобледенительные системы[20,21].

В работе [22] представлен гибкий нагреватель, в качестве электропроводящей фазы в котором использовали УНТ. Авторы статьи [23] провели исследования электропроводящих саморегулируемых материалов, которые представляли собой полимер-наполненные системы [24], модифицированные 14-25 масс.% электропроводящего технического наноуглерода. Следовательно, внедрение углеродных наноматериалов в состав полимеров может быть началом фундаментальных исследований материалов, которые в свою очередь найдут свое применение в основе систем электронагрева, не нуждающихся в дополнительных устройствах регулирования электрофизических параметров.

Цель исследования – обосновать применение УНТ в качестве одной из составляющих бинарного наполнителя, используемого в качестве активной греющей дисперсной фазы в основе нагревательных элементов для тепловой подготовки узлов автотранспортной техники.

Задачи исследования – разработать методику изготовления эластомера, модифицированного бинарным наполнителем; изготовить лабораторные образцы нагревателей для неавтономного режима подогрева; доказать присутствие эффекта саморегулирования электрофизических параметров для разработанных наномодифицированных эластомеров; произвести исследования значений затраченного времени на нагрев моторного масла, используемого в автотранспортной

технике при использовании лабораторных образцов нагревателей, монтированных на картер ДВС и масляный фильтр.

Материалы и методы исследования. В качестве основы нагревательного элемента, использовали кремнийорганический компаунд (КОК) «Силагерм 8030», состоящий из двух компонент Аи В, которые необходимо смешивать в соотношении 1А:1В (ООО «ПО «Технология Пласт», Москва, Россия)). В качестве электропроводящих наполнителей, инициирующих нагрев и эффект саморегулирования температуры, использовали смесь углеродных нанотрубок (УНТ) «Таунит» (ООО «НаноТехЦентр», Тамбов, Россия) с электроугольным графитом ЭУ-1 (ЭУГ)("РОСГРАФИТ", Свердловская область, Россия).Для удаления, образовавшихся во время хранения, агрегатов УНТ их перемалывали с помощью многофункциональной мельницы WF-20B (Китай) в течение 1 мин. при скорости вращения лопастей 25000 об/мин. Для предотвращения попадания в КОК влаги УНТ сушили в вакуумном термошкафе «ВТШ-К52-25» (Москва, Россия) при температуре 110 ^{0}С и давлении 10^{-1} МПа в течении 5 ч. Распределение температурного поля по образцам электронагревателей исследовали с помощью бесконтактного метода измерения температуры, который реализован в тепловизоре «Testo 871–1» (Шварцвальд, Германия).

Технологический процесс изготовления нагревательного элемента состоял из двух этапов. На первом этапе приготавливали наномодифицированный КОК (НКОК). Для изготовления 5 г. НКОК в чистую тару объёмом 10 мл добавляли 0,7 г. УНТ и 0,6 г. ЭУГ и перемешивали оба компонента до получения однородного бинарного наполнителя в мельнице в течение 5 мин. Затем бинарный наполнитель смешивали с 3,7 г. КОК при частоте вращения лопастей 1000 об/мин в течение 5 мин. с помощью лопастной мешалки. Полученный НКОК помешали в вакуумный термошкаф и вакуумировали при температуре 25 °С в течение 5 мин.

На втором этапе производили формовку НКОК по методике, представленной на рисунке 1. Методика заключалась в формовании НКОК между двумя электродами, изготовленными из алюминиевой фольги толщиной 100 мкм (ООО «Уральская фольга»,Михайловск, Россия). Для достижения равномерной толщины нагревательного элемента при формовке использовали два стекла, размеры которых зависели от размеров изготавливаемого нагревателя и 2 мм ограничители толщины. Таким образом получали заготовки для образцов нагревателей на основе НКОК, которые после формовки подвергали полимеризации при температуре 90 °С в течение 17 ч.

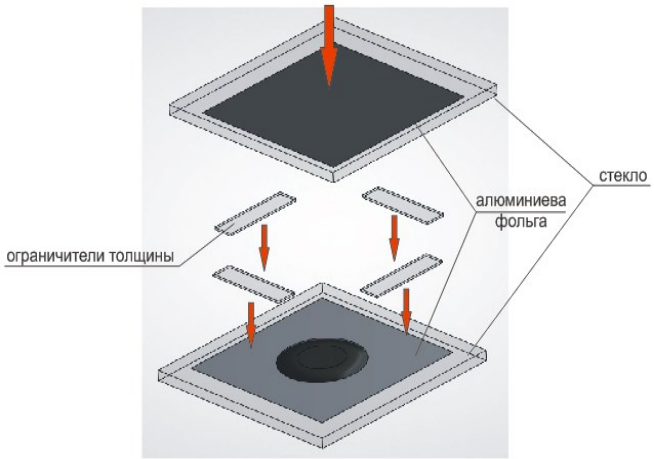


Рисунок 1 – Методика формования НКОК.

После полимеризации заготовки нагревателей извлекали из форм и обрезали до необходимых размеров (рисунок 2). Для подвода электрического напряжения к образцам нагревателей припаивали провода с поперечным сечением 2 мм. припоем «ПОС 61» и флюсом для низкотемпературной пайки алюминия. Для безопасности исследований, образцы нагревателей изолировали 3 слоями самоклеящейся пленки «ORACAL 640» («ООО ПЛАСТТОРГ», Россия, г. Тамбов).

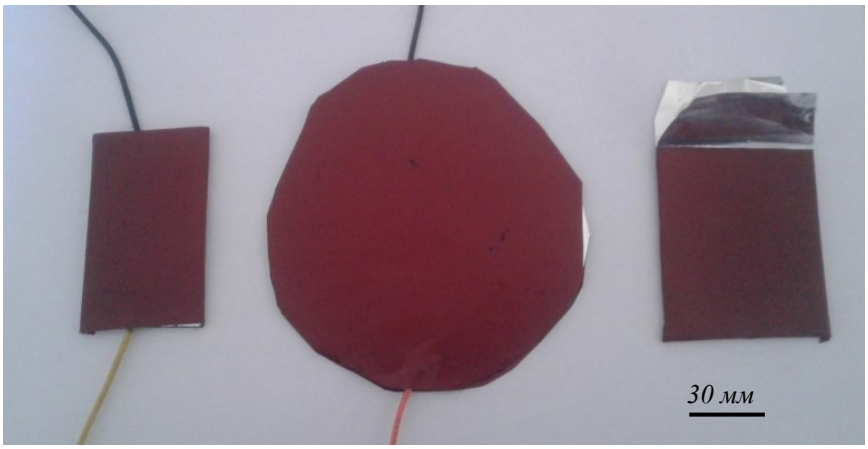


Рисунок 2 – Образцы нагревателей с различной формой.

Методика исследования электрофизических параметров образцов нагревателей. Исследования электрофизических параметров нагревателей и эффекта саморегулирования производили на разработанном измерительном стенде [25]. В качестве источника переменного тока использовали лабораторный автотрансформатор «Ресанта ЛАТР TDGC2-3» (Москва, Россия). В качестве измерительных приборов использовали мультиметры «АМ- 1095» (ООО ТД "Прибор-Энерго", Екатеринбург, Россия) и «WH5000» (Чжанчжоу, Китай), которые обеспечивали синхронизацию с персональным компьютером (ПК) с помощью USB и COM интерфейсов. Это позволило производить запись измеряемых параметров.

Для доказательства эффекта саморегулирования образец нагревателя помещали в камеру тепла-холода «КТХ-1000» («НПФ Технология», Санкт-Петербург, Россия) и подключали к источнику переменного тока с напряжением 220 В. Для отслеживания изменения величины электрического тока, последовательно в схему ,в режиме амперметра подключали мультиметр «АМ-1095». Благодаря связи «АМ-1095» с персональным компьютером, с помощью COM–интерфейса, произвели запись экспериментальных данных изменения значений силы тока от окружающей образец нагревателя температуры. В камере устанавливали режим: нагрев с -64 °С до +20 °С.

Полученные значения силы тока пересчитывали в электрическое сопротивление согласно закону Ома, формула 1.

$$R = \frac{U}{I}, \tag{1}$$

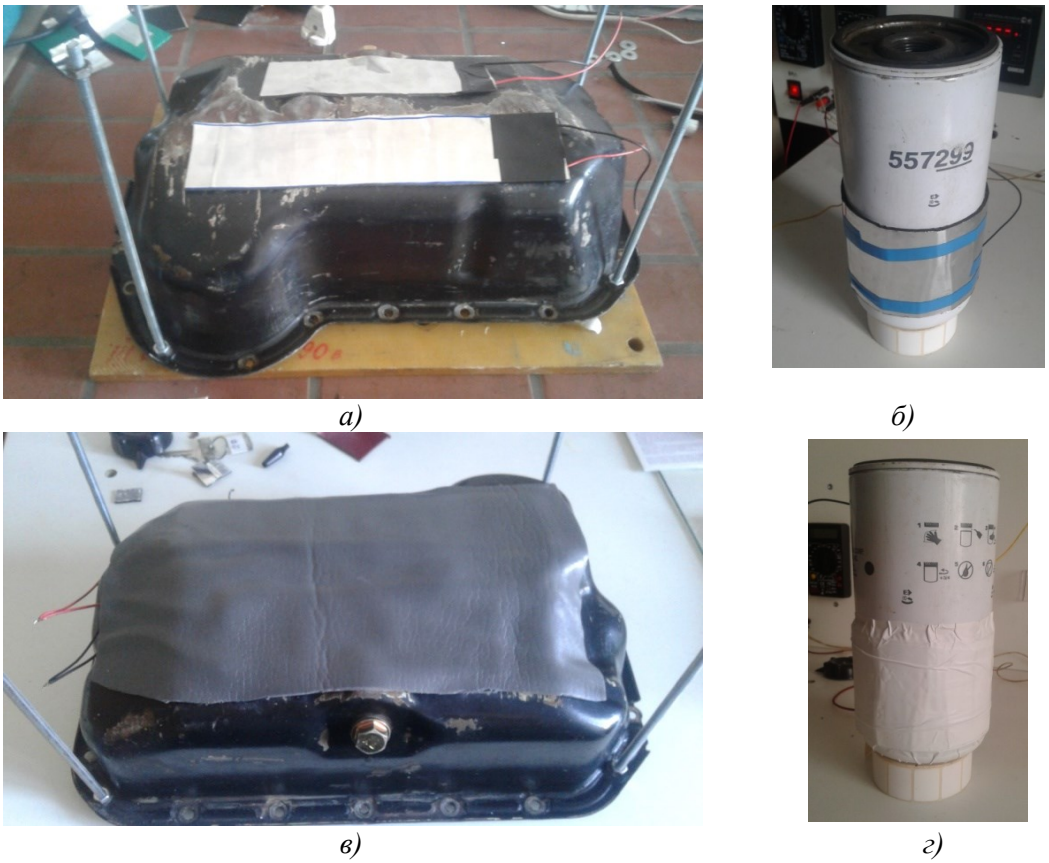
где R – значение электрического сопротивления, Ом; U – напряжение переменного тока, питающее образец нагревателя, В; I – значение электрического тока, А.

На основании рассчитанных значений построили графическую зависимость изменения значений электрического сопротивления от температуры, в программном обеспечении «Origin 2018».Произвели обработку экспериментальных расчетных данных по методу наименьших квадратов (линейная регрессия) с использованием уравнения 2 [26]

$$Y = A + B \times x. \tag{2}$$

Методика исследования затрачиваемого времени на разогрев узлов автотранспортной техники при отрицательных температурах. Для данного исследования использовали картер ДВС марки RP, устанавливаемых на автомобили WVGolf, Jetta, PassatB3 и SeatToledo; и масляный фильтр«WIX», устанавливаемый на тракторную технику марки «JohnDeere».

На внешнюю нижнюю часть картера крепили два образца электронагревателяс помощью двустороннего скотча «STOKVIS» (Германия), рисунок 3а. Наружную сторону нагревателей теплоизолировали с помощью вспененного полиуретана с клеевым слоем «СПЛЕН» толщиной 5 мм (ООО «Стандартпласт», Москва, Россия), рисунок 3в. Аналогично осуществляли крепление образца электронагревателя на корпус масляного фильтра, рисунок 3б, 3г.

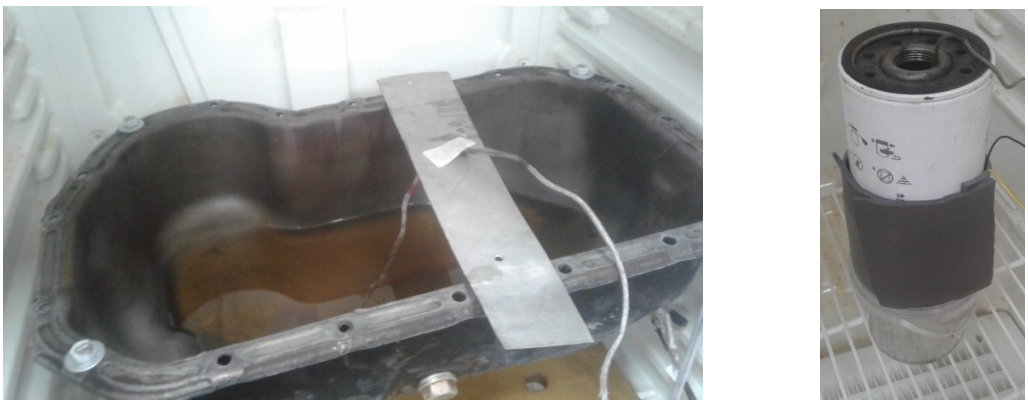


а) *б)*

в) *г)*

Рисунок 3 –Картер и маслянный фильтр с лабораторными образцами нагревателей.

Исследование времени нагрева 1 л. моторного масла «SAE 10W-40 APISM/CF» («MANNOL», Гамбург, Германия) при различной начальной температуре, залитого в картер и масляный фильтр. Детали помещали в морозильную камеру «КМ-0,13» (ООО «МАЯК», Йошкар-Ола, Россия) и охлаждали до -1, -10, -15 и -20 °С, рисунок 4. Температуру нагрева моторного масла контролировали с помощью термопары ХК, подключенной к мультиметру «WH5000».



а) б)

(а – испытания с картером ДВС, б – испытания с масляным фильтром)

Рисунок 4 – Испытания нагревателей в морозильной камере

Результаты и их обсуждения. Проведенные исследования показали, что работоспособность нагревателей не зависит от их формы, что подтверждено тепловизионной съемкой на рисунке 5. Так же установлено, что нагреватели демонстрируют тепловыделения с равномерным температурным полем.

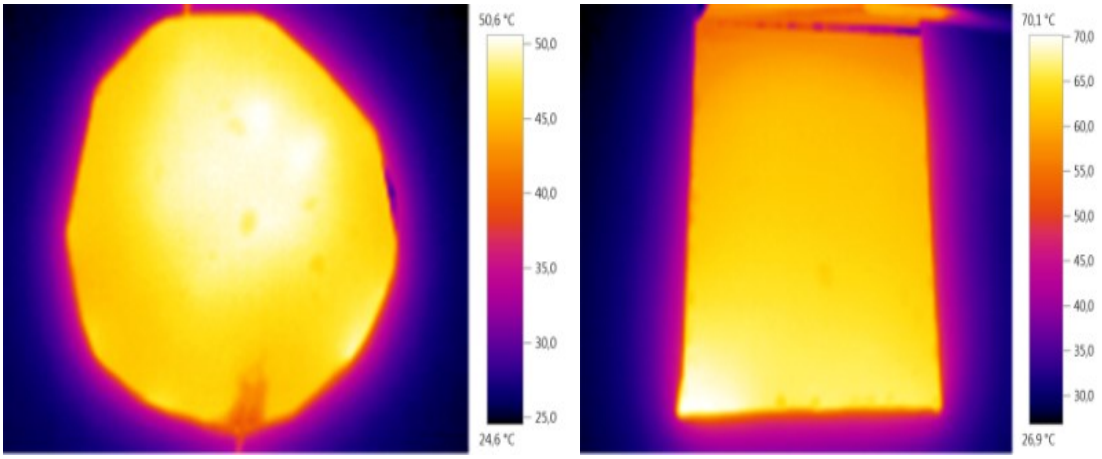


Рисунок 5 – Фото тепловизионного исследования нагревателей различной формы на основе наномодифицированного полимера при питании от источника переменного тока

В ходе исследований выявлено, что при изменение температуры окружающей среды с минус 64 до + 20 °С сопровождается ростом значений электрического сопротивления нагревателя с 99 до 59 Ом, рисунок 6. Этот эффект подтверждает, что материал обладает положительным температурным коэффициентом сопротивления. Соответственно, разработанные нагреватели обладают эффектом саморегулирования температуры. Погрешность при построении аппроксимирующей прямой для коэффициентов А иВсоставляет 0,21 и 0,005, соответственно.

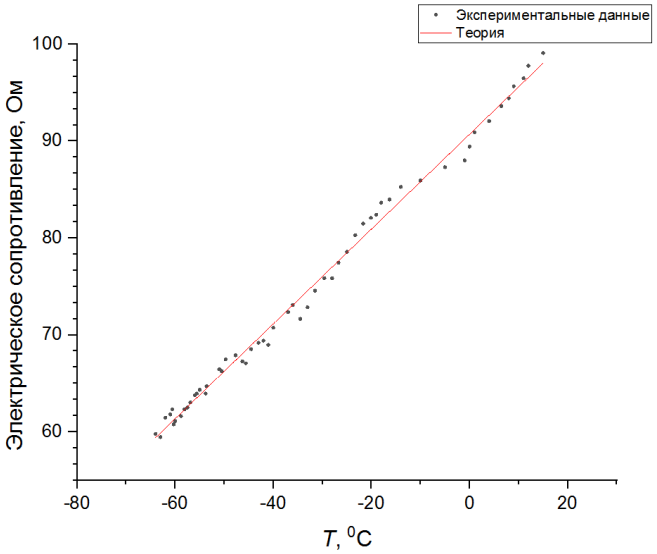


Рисунок 6 – Эффект саморегулирования образца нагревателя.

Аппроксимация экспериментальных данных имеет вид:

$$R(t) = 90{,}71 + 0{,}49t\,. \qquad (3)$$

Исследования, проведенные с использованием морозильной камеры, позволили оценить время, затраченное на нагрев моторного масла в картереза счет тепловыделений саморегулируемого нагревателя, рисунок 7. Саморегулируемый нагреватель, подключенный к источнику переменного тока под напряжение110 В, позволил нагреть моторное масло с –20 °С до +15 °С за 22 мин.

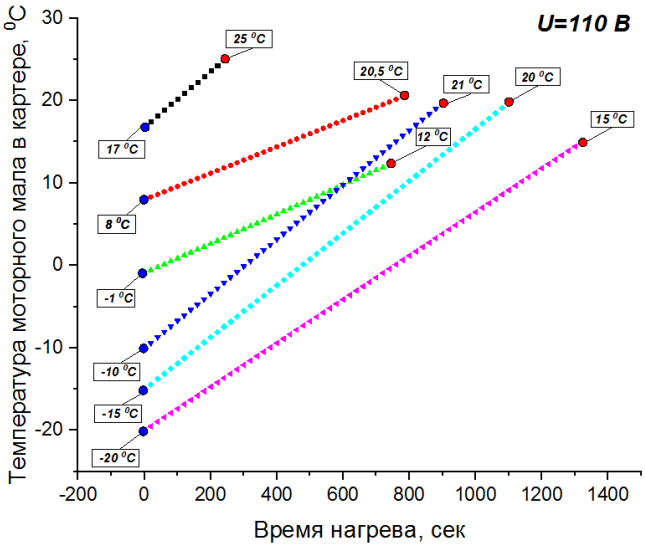


Рисунок 7 – Время нагрева моторного масла при положительных и отрицательных температурах саморегулируемыми нагревателями

Для моторного масла в фильтре - динамика разогрева имеет вид, представленный на рисунке 8. Саморегулируемый нагреватель, подключенный к источнику переменного тока под напряжение 75 В. позволил нагреть моторное масло с -20 °С до +14 °С за 18,3 мин.

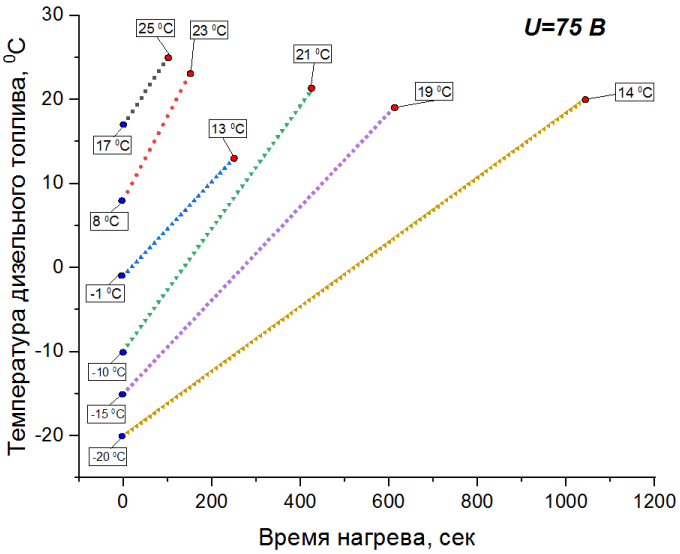
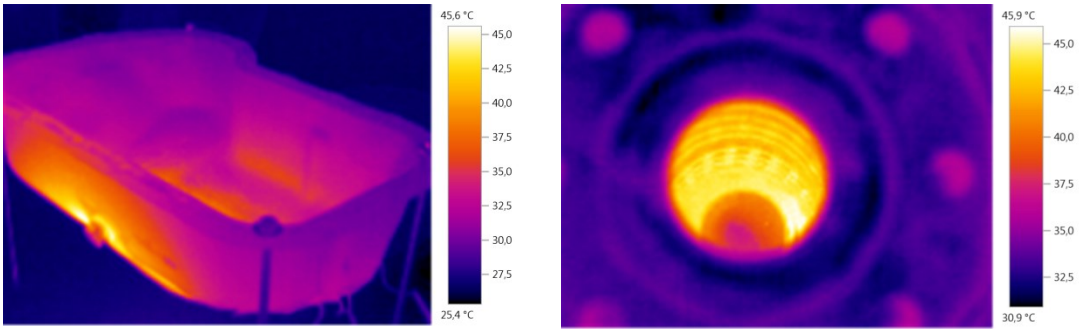


Рисунок 8 – Время нагрева моторного масла при положительных и отрицательных температурах саморегулируемыми нагревателями

Технология изготовления электронагревателей позволяет получать образцы наномодифицированных нагревателей, которые рассчитаны на питание от сети переменного тока с напряжением до 220 В.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод, что нагреватель обладает эффектом саморегулирования температуры и при тестировании в условиях температуры окружающей среды +25 °С происходит более низкое тепловыделение от нагревателей.

Исследования распределения температуры по обогреваемым объектам представлены на рисунке 8.



а) *б)*

(а – термограмма картера ДВС, б – термограмма масляного фильтра)

Рисунок 8 – Термограммы узлов автотранспортной техники подогреваемой саморегулируемыми нагревателями

Особенности работы нагревателей под напряжением 110 и 220 В. позволяют снизить токовую нагрузку на питающие нагреватель проводники. Применение умножителей напряжения или портативных инвертеров (с 12 или 24 В до 110 и 220 В) решает вопрос стационарного питания от АКБ и генератора автотранспортной техники. При этом создается возможность электропитания без преобразователей от внешней электрической сети, что актуально при длительных стоянках и хранении техники в специализированных ангарах.

Выводы. 1. Разработана методика изготовления эластомера, в результате чего были установлены оптимальные концентрации бинарного наполнителя.

2. Проведены работы по изготовлению лабораторных образцов нагревателей для неавтономного режима подогрева узлов автотранспортной техники.

3. Установлен эффект саморегулирования, вследствие изменения электрофизических параметров от воздействия различных температурных режимов для разработанных наномодифицированных эластомеров.

4. Произведены исследования значений затраченного времени нагрева рабочих жидкостей, используемых в автотранспортной технике при использовании лабораторных образцов нагревателей, монтированных на картер ДВС и масляный фильтр.

Список литературы

1. Кондратьев А.В. и др. Показатели и стандарты транспортного обслуживания населения //Фундаментальная наука и технологии-перспективные разработки. – 2018. – С. 68-73.

2. Савченко В. А. Современное состояние и динамика развития отрасли машиностроения России // Проблемы науки. – 2018. – №. 5 – Т. 29 – С. 78-80.

3. Продажи автомобилей в России выросли на четверть // Autonews. URL: https://www.autonews.ru/news/5a9e7da49a79478090f0b997.

4. Годжаев З.А., Аврамов Д.В., Мартынов Н.В., Белоусов Б.Н., Добромиров В.Н. Экологическая безопасность транспортно-технологических средств. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019;13(2):40-47. https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-2-40-47

5. Смоленская Н.М., Смоленский В.В. Токсичность отработавших газов в бензиновых двигателях при работе на сжатом природном газе и бензине // Машиностроение. – 2019. – Т. 18. – №. 4. – С. 57-65.

6. Кожанов В.Н., Петелин А.А., Гриценко А.В., Шепелев В.Д. Снижение токсичности отработавших газов дизельного двигателя путем отключения части его цилиндров // Машиностроение. – 2018. – Т. 18. – №. 2. – С. 34-44.

7. Божко А.В., Поливаев О.И., Ларионов А.Н., Остриков, В.В. Снижение токсичности отработавших газов за счет рециркуляции // Наука, образование и инновации в современном мире. – 2018. – С. 103-106.

8. Суфиянов Р. Ш. Исследование химического состава выхлопных газов бензиновых двигателей внутреннего сгорания //Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21. – №. 12. – С. 98-101.

9. Овчинникова О.Е., Архипова А.В. Актуальность проблемы экологической безопасности автотранспорта // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте. – 2018. – С. 7-11.

10. О предпусковых подогревателях // Предпусковые жидкостные подогреватели и автономные воздушные отопители URL: http://www.autoterm.ru/forum/viewtopic.php?t=777 (дата обращения: 07.02.2019).

11. Прамотроник единство тепла и холода URL: http://pramotronic.ru/about/ (дата обращения: 9.02.2019).

12. Предпусковые подогреватели // Воздушные отопители и жидкостные подогреватели URL: http://autoterm.ru/ (дата обращения: 9.02.2019).

13. Жидкостные отопители Eberspächer Hydronic // Группа компаний Eberspächer URL: https://www.eberspaecher.ru/produkcija/sistemy-otoplenija-dlja-transporta/assortiment/zhidkostnye-otopiteli.html (дата обращения: 9.02.2019).

14. Подогреватели жидкостные предпусковые // АО «ШААЗ» URL: http://www.shaaz.biz/catalogue/3/pos/191 (дата обращения: 9.02.2019).

15. Подогреватель двигателя СТАРТ МИНИ, 220В., 0.6 кВт. для автомобилей Toyota, Hyundai // АВТОНАХОДКА.РУ URL: http://www.autonahodka.ru/catalog/a0022685/ (дата обращения: 20.02.2019).

16. DEFA // Предпусковой подогреватель двигателя URL: http://www.defa.com.ru/podogrevateli/ (дата обращения: 21.06.2019).

17. Подбор предпускового подогревателя двигателя Calix (Каликс) для автомобиля// Calix. URL: http://www.calix.com.ru/ (дата обращения: 21.02.2019)

18. Силиконовые нагревающие элементы // Гибкие греющие пластины Keenovo URL: https://keenovo.ru/products/category/silicone-rubber-heaters (дата обращения: 22.02.2019).

19. Hotstarthotpads гибкие нагревающие пластины // Hotstart URL: http://www.hotstart.su/oil-pads/ (дата обращения: 22.02.2019).]

20. Zhao, Z., Chen, H., Liu, X., Liu, H., & Zhang, D. (2018). Development of high-efficient synthetic electric heating coating for anti-icing/de-icing. Surface and Coatings Technology, 349, 340-346.

21. Redondo, O., Prolongo, S. G., Campo, M., Sbarufatti, C., & Giglio, M. (2018). Anti-icing and de-icing coatings based Joule's heating of graphene nanoplatelets. Composites Science and Technology, 164, 65-73.

22. Janas, D. и Koziol, K. K. (2013). Rapid electrothermal response of high-temperature carbon nanotube film heaters. Carbon, 59, 457-463.

23. Марков А.В., Чижов А.С. Электропроводящие саморегулирующиеся материалы на основе полиэтиленовых композиций с СВМПЭ и техническим углеродом. Тонкие химические технологии. 2019;14(2):60-69. https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-2-60-69

24. Марков А.В., Кулезнев В.Н. Формирование фазовой структуры и ее влияние на свойства ориентированных пленок из смесей полипропилена и полиэтилена // Высоко-молек. соед. Сер. А. 2008. Т. 50. № 4. С. 651–658.

25. Ягубов В.С. Саморегулируемые электрические нагреватели на основе полимеров, модифицированных углеродными нанотрубками, для двигателей внутреннего сгорания // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития.– 2018 – №10 – С. 89-93.

26. Исакова О.П., Тарасевич Ю.Ю. Обработка и визуализация данных физических экспериментов с помощью пакета Origin. Учебно-методическое пособие. – Астрахань, 2007.

References

1. Kondrat'ev A.V. i dr. Pokazateli i standarty transportnogo obsluzhivaniya naseleniya //Fundamental'naya nauka i tekhnologii-perspektivnye razrabotki. – 2018. – S. 68-73.

2. Savchenko V. A. Sovremennoe sostoyanie i dinamika razvitiya otrasli mashinostroeniya Rossii // Problemy nauki. – 2018. – №. 5 – T. 29 – S. 78-80.

3. Prodazhi avtomobilej v Rossii vyrosli na chetvert' // Autonews. URL: https://www.autonews.ru/news/5a9e7da49a79478090f0b997.

4. Godzhaev Z.A., Avramov D.V., Martynov N.V., Belousov B.N., Dobromirov V.N. Ekologicheskaya bezopasnost' transportno-tekhnologicheskih sredstv. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2019;13(2):40-47. https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-2-40-47

5. Smolenskaya N.M., Smolenskij V.V. Toksichnost' otrabotavshih gazov v benzinovyh dvigatelyah pri rabote na szhatom prirodnom gaze i benzine // Mashinostroenie. – 2019. – T. 18. – №. 4. – S. 57-65.

6. Kozhanov V.N., Petelin A.A., Gricenko A.V., SHepelev V.D. Snizhenie toksichnosti otrabotavshih gazov dizel'nogo dvigatelya putem otklyucheniya chasti ego cilindrov // Mashinostroenie. – 2018. – T. 18. – №. 2. – S. 34-44.

7. Bozhko A.V., Polivaev O.I., Larionov A.N., Ostrikov, V.V. Snizhenie toksichnosti otrabotavshih gazov za schet recirkulyacii // Nauka, obrazovanie i innovacii v sovremennom mire. – 2018. – S. 103-106.

8. Sufiyanov R. SH. Issledovanie himicheskogo sostava vyhlopnyh gazov benzinovyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya //Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. – 2018. – T. 21. – №. 12. – S. 98-101.

9. Ovchinnikova O.E., Arhipova A.V. Aktual'nost' problemy ekologicheskoj bezopasnosti avtotransporta // Innovacii tekhnicheskih reshenij v mashinostroenii i transporte. – 2018. – S. 7-11.

10. O predpuskovyh podogrevatelyah // Predpuskovye zhidkostnye podogrevateli i avtonomnye vozdushnye otopiteli URL: http://www.autoterm.ru/forum/viewtopic.php?t=777 (data obrashcheniya: 07.02.2019).

11. Pramotronik edinstvo tepla i holoda URL: http://pramotronic.ru/about/ (data obrashcheniya: 9.02.2019).

12. Predpuskovye podogrevateli // Vozdushnye otopiteli i zhidkostnye podogrevateli URL: http://autoterm.ru/ (data obrashcheniya: 9.02.2019).

13. ZHidkostnye otopiteli Eberspächer Hydronic // Gruppa kompanij Eberspächer URL: https://www.eberspaecher.ru/produkcija/sistemy-otoplenija-dlja-transporta/assortiment/zhidkostnye-otopiteli.html (data obrashcheniya: 9.02.2019).

14. Podogrevateli zhidkostnye predpuskovye // AO «SHAAZ» URL: http://www.shaaz.biz/catalogue/3/pos/191 (data obrashcheniya: 9.02.2019).

15. Podogrevatel' dvigatelya CTART MINI, 220V., 0.6 kVt. dlya avtomobilej Toyota, Hyundai // AVTONAHODKA.RU URL: http://www.autonahodka.ru/catalog/a0022685/ (data obrashcheniya: 20.02.2019).

16. DEFA // Predpuskovoj podogrevatel' dvigatelya URL: http://www.defa.com.ru/podogrevateli/ (data obrashcheniya: 21.06.2019).

17. Podbor predpuskovogo podogrevatelya dvigatelya Calix (Kaliks) dlya avtomobilya// Calix. URL: http://www.calix.com.ru/ (data obrashcheniya: 21.02.2019)

18. Silikonovye nagrevayushchie elementy // Gibkie greyushchie plastiny Keenovo URL: https://keenovo.ru/products/category/silicone-rubber-heaters (data obrashcheniya: 22.02.2019).

19. Hotstarthotpads gibkie nagrevayushchie plastiny // Hotstart URL: http://www.hotstart.su/oil-pads/ (data obrashcheniya: 22.02.2019).]

20. Zhao, Z., Chen, H., Liu, X., Liu, H., & Zhang, D. (2018). Development of high-efficient synthetic electric heating coating for anti-icing/de-icing. Surface and Coatings Technology, 349, 340-346.

21. Redondo, O., Prolongo, S. G., Campo, M., Sbarufatti, C., & Giglio, M. (2018). Anti-icing and de-icing coatings based Joule's heating of graphene nanoplatelets. Composites Science and Technology, 164, 65-73.

22. Janas, D. i Koziol, K. K. (2013). Rapid electrothermal response of high-temperature carbon nanotube film heaters. Carbon, 59, 457-463.

23. Markov A.V., CHizhov A.S. Elektroprovodyashchie samoreguliruyushchiesya materialy na osnove polietilenovyh kompozicij s SVMPE i tekhnicheskim uglerodom. Tonkie himicheskie tekhnologii. 2019;14(2):60-69. https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-2-60-69

24. Markov A.V., Kuleznev V.N. Formirovanie fazovoj struktury i ee vliyanie na svojstva orientirovannyh plenok iz smesej polipropilena i polietilena // Vysoko-molek. coed. Ser. A. 2008. T. 50. № 4. S. 651–658.

25. YAgubov V.S. Samoreguliruemye elektricheskie nagrevateli na osnove polimerov, modificirovannyh uglerodnymi nanotrubkami, dlya dvigatelej vnutrennego sgoraniya // Problemy tekhnogennoj bezopasnosti i ustojchivogo razvitiya.– 2018 – №10 – S. 89-93.

26. Isakova O.P., Tarasevich YU.YU. Obrabotka i vizualizaciya dannyh fizicheskih eksperimentov s pomoshch'yu paketa Origin. Uchebno-metodicheskoe posobie. – Astrahan', 2007.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ягубов Виктор Сахибович – аспирант, инженер Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: vitya-y@mail.ru.

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: energynano@yandex.ru.

Нагдаев Владимир Константинович – кандидат химических наук Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: v.nagdaev1950@yandex.ru.

Ткачев Алексей Григорьевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nanotam@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Yagubov Viktor – Postgraduate Student, Engineer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: vitya-y@mail.ru.

Shchegolkov Alexander– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: energynano@yandex.ru.

Nagdaev Vladimir– candidate of chemical sciences of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: v.nagdaev1950@yandex.ru.

Tkachev Alexey – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: nanotam@yandex.ru.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках научного проекта по договору № 13748ГУ/2018.

Поступила в редакцию (Received): 25.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 26.08.2019

УДК 631.3-049.7:620.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-108-114

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

[1]Балабанов Виктор Иванович
[1]Лехтер Валентина Владимировна
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. *Анализ литературных данных показывает, что применение металоплакирующих пластичных смазочных материалов в деталях и узлах сельскохозяйственной техники и оборудования достаточно эффективно в целях повышения задиростойкости, износостойкости и частичного восстановления микродефектов трущихся поверхностей. Проводили триботехнические исследования смазочных материалов (СМ) на модернизированной машине трения Timken-Mashine с использованием реальных узлов подшипников качения: внутренней обоймы и роликов диаметром 8 мм подшипника качения тип 7202 ГОСТ 520, изготовленных из стали ШХ-15 ГОСТ 801–78. Изучали известные металлоплакирующие пластичные СМ (AVTOсмазка, Метапол, ШРУС МС, Вымпел, Металл Плюс) и разработанную авторами новую смазку «Металл Плюс», содержащую соединения пластичных металлов: меди, олова и никеля. В качестве базового варианта использовали смазку Литол 24. Определено, что при использовании исследуемых СМ износ опытных образцов снижается по сравнению с базовым вариантом в среднем от 2 до 16 раз. Применение разработанной авторами смазки «Металл Плюс» обеспечивает восстановление веса образцов в среднем на 0,1 мг за счет образования на поверхностях трения композиционного медно-оловянисто-никелевого покрытия, толщиной около 1,0 мкм, а также диффузионной зоны глубиной до 12,5 мкм. Содержание элементов меди, олова и никеля в смазке после проведения испытаний снизилось по сравнению с исходным состоянием на 8 – 15 %. В целом полученные результаты подтверждают повышение износостойкости образцов и их частичное восстановление.*

Ключевые слова: *металлоплакирущий пластичный смазочный материал, машина трения, триботехнические испытания, восстановление поверхностей трения*

TRIBOTECHNICAL RESEARCHES OF METALLO-CLADING PLASTIC GREASES

[1]***Balabanov Victor***
[1]***Lekhter Valentina***
[1]*FSBEI HE "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev"*

Abstract. *The analysis of literature data shows that the use of metal-clad plastic lubricants in parts and units of agricultural machinery and equipment is quite effective in order to increase the scoring resistance, wear resistance and partial restoration of microdefects of rubbing surfaces. Tribological studies of lubricants (SM) were carried out on a modernized Timken-Mashine friction machine using real rolling bearing assemblies: an internal cage and rollers with a diameter of 8 mm of a rolling bearing of type 7202 GOST 520, made of steel ШХ-15 GOST 801–78. The well-known metal-clad plastic SM (AVTO grease, Metapol, SHRUS MS, Vympel, Metal Plus) and the new Metal Plus grease developed by the authors, containing compounds of plastic metals: copper, tin and nickel, were studied. Litol 24 grease was used as a base case. It is determined that when using the studied SM, the wear of the prototypes is reduced in comparison with the base case on average from 2 to 16 times. The use of the Metal Plus lubricant developed by the authors ensures the recovery of the weight of the samples by an average of 0.1 mg due to the formation on the friction surfaces of a composite copper-tin-nickel coating with a thickness of about 1.0 μm, as well as a diffusion zone up to 12.5 μm deep. The result is an increase in the wear resistance of the samples and their partial recovery.*

Keywords: *metal-clad plastic lubricant, friction machine, tribotechnical tests, restoration of friction surfaces.*

Введение. В сельскохозяйственном производстве используется достаточно много техники, имеющей высокую степень износа. При этом в силу субъективных и объективных причин такая техника продолжает эксплуатироваться. Продлить срок службы изношенных деталей машин возможно их восстановлением и ремонтом.

В последнее десятилетие все большую актуальность приобретают безразборные методы ремонта и поддержания машин в работоспособном состоянии. Для реализации безразборных процессов ремонта применяются специальные ремонтно – восстановительные составы, добавляемые в смазочное масло и пластичные смазки [1 – 5].

Достаточно перспективным направлением продления сроков службы узлов трения является использование инновационных металлоплакирующих масел и смазок, среди которых наибольший интерес представляют металлоплакирующие пластичные смазки, работающие в условиях жестких нагрузок и высоких температур [6 – 10].

Зарубежные фирмы представляют большой набор пластичных смазок, предназначенных для восстановления трущихся поверхностей деталей. Среди них следует выделить смазку *Lubri Grease* на литиевой основе с включением свинцово-серебряно-медного сплава; медьсодержащую пластичную смазку *«Copper Compound»* компания *NV. Marly SA* (Бельгия); пластичную смазку *«Nickel Anti – Seize Lubricant»* с микрочастицами никеля. Среди российских разработок необходимо отметить смазку «ШРУС МС», производимую НПК «ВМПавто».

Анализ доступных литературных источников и патентов позволяет в первом приближении утверждать, что применение металлоплакирующих пластичных смазок в узлах трения сельскохозяйственной техники может способствовать продлению сроков службы машин, увеличению их межремонтного ресурса, снижению затрат на ремонт и эксплуатацию техники.

Материалы и методы. При проведении исследований и оценке важнейших эксплуатационных свойств металлоплакирующих смазок рассматривались образцы, представленные в таблице.

Таблица – Наименование, производители и нормативные документы, испытуемых металлоплакирующих пластичных смазок

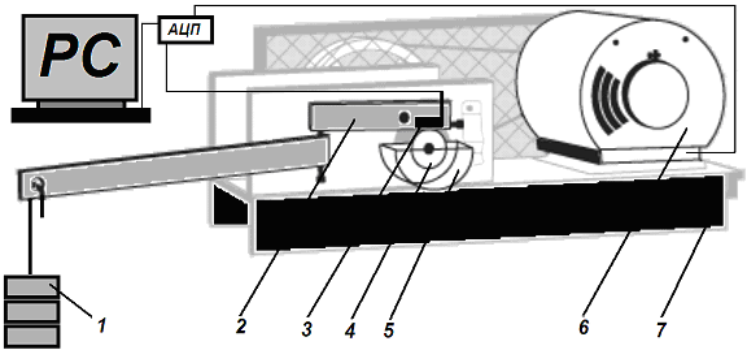
Наименование	Производитель	ТУ или ГОСТ
1. Литол 24	ООО «Эксперт-ойл»	ГОСТ 21150-87
2. AVTO смазка	НТЦ «РемАвто»	ТУ 02-58178995-3-92
3. Метапол	НПФ «Эллис»	ТУ 1-92-193-95
4. ШРУС МС	ООО «ВМПАВТО»	ТУ 0254-011-45540231-2004
5. Вымпел	Fine Metal Powders Co	ТУ 0254-026-12288799-2005
6. Металл Плюс	РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева	ТУ 4366.03.03049297-2011

Смазка Литол-24 является наиболее распространенной и применяемой в узлах трения современной сельскохозяйственной техники. Смазки позиций 2 – 5 представляет собой образцы металлоплакирующих пластичных смазок, предназначенных, по заявлениям разработчиков, для смазывания узлов трения и восстановления изношенных поверхностей деталей машин.

Смазка «Металл Плюс» разработана ведущими учеными РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и имеет в своем составе компоненты меди, олова и никеля.

Триботехнические испытания проводились на модернизированной машине трения Timken-Mashine. На рисунках 1, 2 представлены общий вид и схема модернизированной машины трения.

Рисунок 2 – Общий вид модернизированной машины трения Timken-Mashine



1 – грузы; 2 – нагрузочный механизм; 3 – верхний роликовый образец с термодатчиком; 4 – нижний кольцевой образец; 5 – кювета для смазочного материала; 6 – электродвигатель; 7 – станина; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; PC – персональный компьютер с программным обеспечением

Рисунок 2 – Схема модернизированной машины трения Timken-Mashine

Принцип работы машины трения основывается на реализации вращательного движения по схеме «кольцо-ролик». При проведении испытаний использовались подшипники качения 7202 из стали ШХ-15 (ГОСТ 801-78) с диаметром ролика 8. Все исследуемые образцы смазок сравнивались как между собой, так и со смазкой Литол 24.

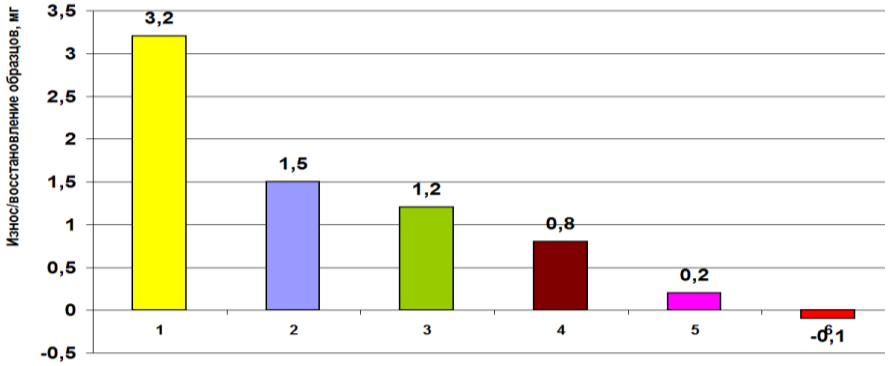
Триботехнические испытания проводились на следующих режимах. Удельное давление в зоне контакта p = 10 МПа, скорость скольжения v = 1,83 м/с, время одного испытания составляло t = 3600 с.

Для оценки эффекта восстановления деталей, образования защитных пленок, выравнивания микронеровностей под действием металлоплакирующих смазок использовался весовой метод, микрофотосъемка, анализ изменения содержания меди, олова, никеля методом атомно – абсорбционной спектроскопии на приборе МГА – 915 МД.

Результаты и их обсуждение. Триботехнические исследования показали, что применение металлоплакирующих пластичных смазок по сравнению с пластичной смазкой Литол 24 позволяет снизить износ образцов с 3,5 мг до 1,5 – 0,2 мг, то есть в 2 – 16 раз.

В результате исследований оценивались не только противоизносные свойства образцов смазок, но и рассматривалась возможность восстановления изношенных поверхностей трения. Одной из критериальных характеристик восстановления поверхностей трения является увеличение веса детали.

На рисуноке 3 представлены результаты исследований по определению способности смазок снижать износ и восстанавливать поверхность трения.



1– Литол 24, 2 – AVTO смазка; 3 – ШРУС МС; 4 – Метапол; 5 – Вымпел; 6 – Металл Плюс

Рисунок 3 – Износ – восстановление трущихся образцов после триботехнических испытаний

В результате анализа изменения структуры поверхностей трения образцов установлено, что при использовании смазки «Металл Плюс» на контактных поверхностях формируется пленка, состоящая из медно - оловянисто-никелевых включений. Толщина пленки составляет 0,9 – 1,0 мкм с диффузионной зоной 12,5 мкм.

На рисунке 4 представлен характер изменения компонентного состава поверхностей трения после применения смазки «Металл Плюс».

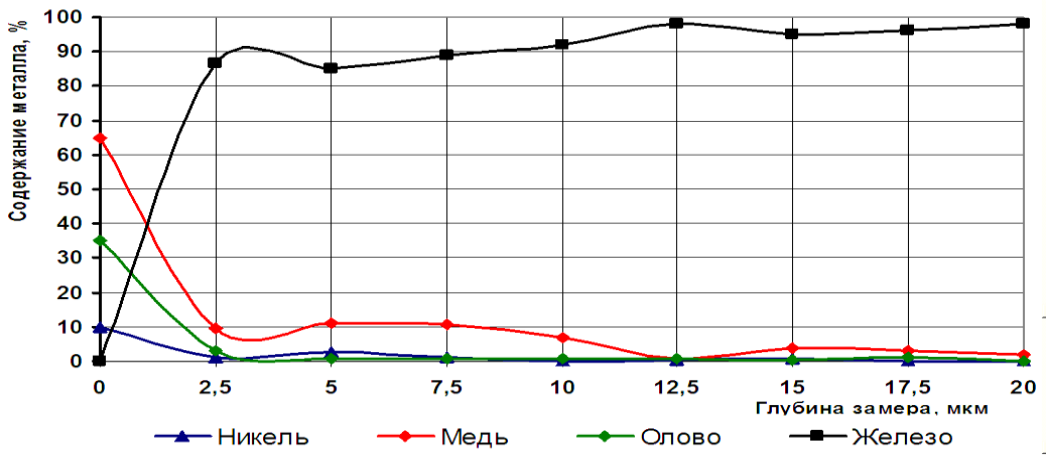


Рисунок 4 – Компонентный состав поверхностей трения образцов после применения металлоплакирующей пластичной смазки «Металл Плюс»

Атомно – абсорбционная спектрометрия изменения состава смазки до начала и после проведения испытаний показала на уменьшение содержания олова на 15 %, меди на 10 %, никеля на 8 % в металлоплакирующих смазках.

Полученные значения служат подтверждением эффекта перехода элементов олова, меди и никеля из смазки на поверхность трения и реализации процесса восстановления.

Выводы. Использование металлоплакирующих смазочных материалов позволяет снизить износ опытных образцов, по сравнению с базовой смазкой Литол 24 в среднем с 3,5 мг до 1,5 – 0,2 мг (от 2,1 до 16 раз).

В результате триботехнических испытаний образцов с применением разработанной металлоплакирующей пластичной смазки марки «Металл Плюс» зарегистрировано увеличение веса исследуемых образцов в среднем на 0,1 мг.

Физико-химические исследования трущихся образцов показали, что использование металлоплакирующей пластичной смазки «Металл Плюс» приводит к формированию на поверхностях трения композиционного медно-оловянисто-никелевого покрытия, толщиной до 1,0 мкм и диффузионную зону глубиной до 12,5 мкм. Снижение в составе смазки после ее применения содержания элементов меди, олова и никеля подтверждает факт восстановления микродефектов трущихся поверхностей.

Список литературы

1. Потапов Г.К., Балабанов В.И. Способ безразборного восстановления трущихся соединений / Патент РФ 2062821. Бюл. № 18, 1996. - 4 с.

2. Балабанов В.И. Повышение качества отремонтированных двигателей внутреннего сгорания путем реализации избирательного переноса при трении // Вестник машиностроения, 2001. № 8. С. 14–19.

3. Беклемышев В.И., Махонин И.И., Лепгов А.Ф., Филиппов В.К., Балабанов В.И. Влияние металлоорганических присадок RENOM на поверхности трения и показатели автомобильной техники // Вестник машиностроения. 2004. № 10. С. 51– 55.

4. Балабанов В.И., Беклемышев В.И., Махонин И.И., Филиппов В.К. Ремонтно-восстановительные препараты для техники // Сельский механизатор. М., № 11. 2005. С. 40–41.

5. Балабанов В.И Нанотехнологии и нанопрепараты для автотракторной техники / Применение нанотехнологий и наноматериалов в АПК: Сб. докладов. -М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2008. С. 77 -81

6. Нанотехнологические препараты автохимии для безразборного сервиса автомобиля /Балабанов В.И., Болгов В.Ю., Лехтер В.В. Нанотехнологии, экология, производство, № 2. 2009. С. 18-21.

7. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: Научн. аналитический обзор / В.Ф. Федоренко, М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов и др. М.: Росинформагротех, 2011. - 312 с.

8. Балабанов В.И., Болгов В.Ю. Автомобильные присадки и добавки. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011.

9. Патент 2432386. Металлоплакирующая восстановительная добавка к пластичным смазочным материалам. В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов, С.А. Ищенко, В.В. Лехтер. Бюл. № 30. от 27.10. 2011 г., заявка № 2009145822 от 11.12.2009 г.

10. Лехтер В.В. Восстановление работоспособности подшипников качения движителей сельскохозяйственной техники металлоплакирующей пластичной смазкой: автореф. дис. … канд. тех. наук. /Лехтер Валентина Владимировна, Москва, МГАУ, 2010. 16 с.

References

1. Potapov G.K., Balabanov V.I. Sposob bezrazbornogo vosstanovleniya trushchihsya soedinenij / Patent RF 2062821. Byul. № 18, 1996. - 4 s.

2. Balabanov V.I. Povyshenie kachestva otremontirovannyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya putem realizacii izbiratel'nogo perenosa pri trenii // Vestnik mashinostroeniya, 2001. № 8. S. 14–19.

3. Beklemyshev V.I., Mahonin I.I., Lepgov A.F., Filippov V.K., Balabanov V.I. Vliyanie metalloorganicheskih prisadok RENOM na poverhnosti treniya i pokazateli avtomobil'noj tekhniki // Vestnik mashinostroeniya. 2004. № 10. S. 51– 55.

4. Balabanov V.I., Beklemyshev V.I., Mahonin I.I., Filippov V.K. Remontno-vosstanovitel'nye preparaty dlya tekhniki // Sel'skij mekhanizator. M., № 11. 2005. S. 40–41.

5. Balabanov V.I Nanotekhnologii i nanopreparaty dlya avtotraktornoj tekhniki / Primenenie nanotekhnologij i nanomaterialov v APK: Sb. dokladov. - M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. S. 77-81.

6. Nanotekhnologicheskie preparaty avtohimii dlya bezrazbornogo servisa avtomobilya /Balabanov V.I., Bolgov V.YU., Lekhter V.V. Nanotekhnologii, ekologiya, proizvodstvo, № 2. 2009. S. 18-21.

7. Nanotekhnologii i nanomaterialy v agropromyshlennom komplekse: Nauchn. analiticheskij obzor / V.F. Fedorenko, M.N. Erohin, V.I. Balabanov i dr. M.: Rosinformagrotekh, 2011. - 312 s.

8. Balabanov V.I., Bolgov V.YU. Avtomobil'nye prisadki i dobavki. M.: Izd-vo RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2011.

9. Patent 2432386. Metalloplakiruyushchaya vosstanovitel'naya dobavka k plastichnym smazochnym materialam. V.I. Balabanov, V.YU. Bolgov, S.A. Ishchenko, V.V. Lekhter. Byul. № 30. ot 27.10. 2011 g., zayavka № 2009145822 ot 11.12.2009 g.

10. Lekhter V.V. Vosstanovlenie rabotosposobnosti podshipnikov kacheniya dvizhitelej sel'skohozyajstvennoj tekhniki metalloplakiruyushchej plastichnoj smazkoj: avtoref. dis. … kand. tekh. nauk. /Lekhter Valentina Vladimirovna, Moskva, MGAU, 2010. 16 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Балабанов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Лехтер Валентина Владимировна – кандидат технических наук Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Author credentials

Affiliations

Balabanov Victor – full doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev”, Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Lekhter Valentina – candidate of technical sciences of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev", Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Поступила в редакцию (Received): 22.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 19.08.2019

УДК 621.892: 620.197.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-114-122

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КОНСЕРВАЦИИ СЕЛЬХОЗМАШИН ВЯЗКОЙ МАСТИКОЙ С ПОДОГРЕВОМ

[1]***Петрашев Александр Иванович***
[1]***Клепиков Виктор Валерьевич***
[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»*

Реферат. *Известно, что применение консервационного оборудования для нанесения защитных покрытий из вязкой мастики сокращает время подготовки сельскохозяйственных машин к длительному хранению. Показано, что производительность консервационного оборудования и качество защитных покрытий из мастики находятся в обратной зависимости от ее вязкости, которую необходимо снижать путем нагрева. Предложены технические решения для мобильного оборудования по консервации машин вязкой мастикой в условиях открытых площадок хранения, предусматривающие подогрев мастики в локальной камере напорного бака и в шланге подачи к пистолету-распылителю за счет использования электроэнергии от низковольтного генератора 28 В. Исследовали нагрев мастики от 5 до 40 °С в локальной камере объемом 4,5 л от низковольтного ТЭН мощностью 450 Вт. Установили, что длительность нагрева мастики не превышала 20 мин, при этом ее динамическая вязкость снизилась до уровня 0,18 Па·с, достаточного для мелкодисперсного распыления. Определили параметры шланга подачи мастики длиной 10 м, диаметром 10 мм, снабженного нагревательной спиралью из стальной проволоки длиной 11 м, диаметром 1,2 мм, мощностью 245 Вт, при которых мастика разогревалась от 5 до 40 °С в течение 20 мин. Рекомендовали реализовать в составе мобильного консервационного оборудования эти технические решения. Это позволит сократить в 2 раза время ввода оборудования в рабочий при пониженной до 5 °С температуре.*

Ключевые слова*: защитная мастика, консервация, напорный бак, локальная камера нагрева, шланг подачи, нагревательная спираль.*

TECHNICAL SOLUTIONS CONSERVATION PROBLEM FOR AGRICULTURAL MACHINESBY VISCOUS MASTIC WITH HEATING

[1]***Petrashev Alexander***
[1]***Klepikov Viktor***
[1]*FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"*

Abstract. *It known that the use of conservation equipment for applying a protective coating of viscous mastic reduces the time of preparation of agricultural machines for long-term storage.It shown that the performance of conservation equipment and the quality of protective mastic coatings inversely related to its viscosity, which must reduce by heating.Technical solutions for mobile equipment for the preservation of machines with viscous mastic in conditions of open storage areas, providing for heating of mastic in the local chamber of the pressure tank and in the supply hose to the spray gun due to the use of electricity from a 28 V low-voltage generator suggested.Heating mastic from 5 to 40 ° C in a local chamber of 4.5 liters from a low-voltage heating element with a power of 450 W was investigated.It found that the duration of heating for mastics did not exceed 20 minutes, while its dynamic viscosity decreased to a level*

of 0.18 Pa · s, sufficient for fine spraying.The parameters of the mastic supply hose with a length of 10 m and a diameter of 10 mm, equipped with a heating wire made of steel wire with a length of 11 m, a diameter of 1.2 mm, and a power of 245 W, were determined at which the mastic was heated from 5 to 40 ° C for 20 minutes.These technical solutions recommended implementing as part of mobile conservation equipment. This will reduce by 2 times the time required to enter equipment at a temperature that lowered to 5 ° C.

Keywords: *protective mastic, conservation, pressure tank, local heating camera, supply hose, heatingspiral.*

Введение. Сельскохозяйственная техника, используемая в кооперативных и фермерских хозяйствах [1], по окончании полевых работ должна быть поставлена на длительное хранение. Применение консервационного оборудования для нанесения защитных покрытий из вязкой мастики позволяет существенно ускорить подготовку сельскохозяйственных машин к длительному хранению [2, 3]. Производительность оборудования и дисперсность пневматического распыления мастики находятся в обратной зависимости от ее вязкости, которая в условиях прохладной осенней погодыизлишне высока. Хорошее качество пневматического распыления ингибированной мазутной мастики обеспечивается при динамической вязкости ниже 0,2 Па·с (или условной вязкости – 75 с по вискозиметру ВЗ-4). Применение растворителя для разжижения мастики ухудшает защитные свойства наносимого покрытия. Для того чтобы уменьшить вязкость мастики без снижения защитных свойств покрытия, ее необходимо наносить подогретой до температуры 40-45 ^{o}C[4, 5].

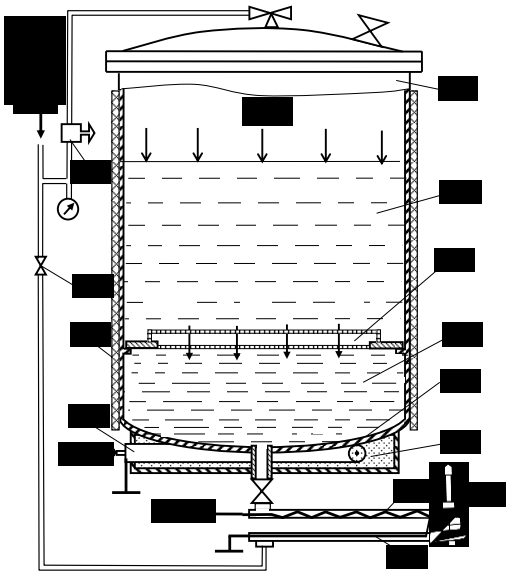
Консервацию рабочих органов сельскохозяйственной техники осуществляют путем пневматического распылениямастики с подачей из напорного бака вместимостью 20-25 л под давлением 0,1-0,25 МПа. При пневматическом способе нанесения мастику следует разогревать как в напорном баке, чтобы обеспечить ее истечение под давлением воздуха, так и в шланге подачи к пистолету-распылителю, чтобы не допустить ее охлаждения и загущения. Так как на открытых площадках хранения техники практически отсутствуют электрические коммуникации, то для нагревамастики возможноиспользовать энергию от мобильного источника, например, от низковольтного автотракторного генератора Г1000В[6]. Генератор, приводимый в действие от ВОМ трактора, вырабатывает электрическую энергию безопасного напряжения (28 В)небольшой мощности(до 1000 Вт), имеет встроенную систему управления, прост в обслуживании.При оснащении напорного баканизковольтным нагревателем мощностью 600 Вт иподключении его автотракторному генератору, длительность разогрева мастики от 5 до 40 ^{o}C в объеме всего бака (20 л) достигает 50 мин.Из-за столь длительного разогревапериод ввода консервационного оборудования в рабочий режим занимаетдо 10-12 % времени смены.

Цель исследования – обосновать технические решения, способные ускорить ввод в рабочий режим консервационного оборудования по нанесению вязкой мастики и обеспечить его работоспособность в условиях пониженной температуры (от 5 ^{o}C).

Результаты и их обсуждение. Для консервации сельскохозяйственной техники на открытых площадках хранения разработана система разогрева вязкой мастики с использованием электроэнергии низковольтного генератора[7]. Система включает два узларазогрева мастики: в локальной камере напорного бака – от низковольтного ТЭН и в обогреваемом шланге подачи – от проволочной спирали. Так как клемма «минус» генератора соединена с его «массой», то электропитание подогревателей мастики осуществляется по однопроводной схеме.На рисунке 1показана схема устройства для нанесения вязкой мастики с подогревом.

Напорный бак 1 снаружи теплоизолирован кожухом 11, внутри имеет проницаемую перегородку 3, разделяющую его на верхний отсек 2 и локальную камеру 4 нагрева мастики. Перегородка 3 выполнена из двух мелкоячеистых стальных сеток. Низковольтный ТЭН 10 размещен под дном 5 бака, залит твердым теплоотводящим материалом 6 – электротехническим периклазом (окисью магния). Теплопроводность периклаза – 42 Вт/(м·К) [8, с. 267] сопоставима с теплопроводностью стали – 45,4 Вт/(м·К) [9, с. 109], что позволяет теплоте от ТЭН равномернее распределяться по дну 5 бака. Низковольтный ТЭН имеет один изолированный контакт, посредством которого он подключен к клемме «плюс» генератора, второй контакт замкнут на оболочку ТЭН и соединен с «массой» устройства.

Внутри обогреваемого шланга 8 подачи мастики размещена проволочная спираль. Один конец спирали, со стороны напорного бака, подключен к клемме «плюс» генератора 28 В, другой конец – к корпусу пистолета-распылителя СО-71. Корпус пистолета-распылителя посредством гибкого медного провода, введенного внутрь воздушного шланга 9, соединен с «массой»устройства и с клеммой «минус» генератора.



1 – напорный бак; 2 – верхний отсек; 3 – проницаемая перегородка; 4 – локальная камера; 5 – дно бака; 6 – теплоотводящий материал; 7 – пистолет-распылитель СО-71; 8 – шланг подачи мастики; 9 – воздушный шланг; 10 – низковольтный ТЭН; 11 – кожух; 12 – воздушный кран; 13 – редукционный клапан

Рисунок 1 – Схема устройства для нанесения вязкой мастики с подогревом

Пистолет-распылитель 7 посредством шланга 8 подачи мастики сообщен с баком 1, посредством воздушного шланга 9 подсоединен к воздушной магистрали. Расход сжатого воздуха на распыление мастики регулируют с помощью крана 12. Давление воздуха в баке для выдачи мастики устанавливают с помощью редукционного клапана 13.

Рабочий процесс нагрева вязкого мастики в напорном баке осуществляется следующим образом. При включении в работу низковольтного ТЭН, контактируемый с ним твердый теплоотводящий материал нагревается и передает теплоту дну бака. От нагретого дна нагревается мастика в локальной камере. Перегородка препятствует конвективному теплообмену между нагретой (жидкой)мастикой в локальной камере и холодной(вязкой) мастикой в верхнем отсеке 2.

Электроэнергия генератора затрачивается:

– вначале,на предварительный разогрев мастики в локальной камере до рабочей температуры $T_р$, при которой еевязкость будет достаточна для истечения из бака и качественного (мелкодисперсного) распыления;

– затем,на поддержание в локальной камере рабочей температуры$T_р$мастики в процессе ее истечения из бака с расходом, соответствующим пропускной способности пистолета-распылителя;

– на подогрев мастики в шланге подачи с целью компенсации теплопотерь через оболочку шланга.

Мощность P, потребляемая ТЭН в режиме предварительного разогрева мастики:

$$P = \frac{V_к c_к (1 + k_б)\left(T_р - T_х\right)}{t_п (1 - k_п)\eta_п},$$

где $P_{нэ}$ – мощность низковольтного ТЭН, Вт; $V_к$ – объем мастики в локальной камере, м^3; $c_к$ – объемная теплоемкость мастики, Дж/(м$^3\cdot$ ^{o}С); $T_х$, $T_р$ – начальная и рабочая температура мастики в

локальной камере, °С; $k_б$ – коэффициент, учитывающий затраты энергии на прогрев бака и теплоотводящего материала; $k_п$ – коэффициент, учитывающий перенос тепловой энергии из локальной камеры в верхний отсек бака;$\eta_п$ – коэффициент, учитывающий теплопотери (рассеивание энергии) в режиме предварительного разогрева мастики; $t_п$ – длительность предварительного разогрева мастики в локальной камере, с.

Режим предварительного разогрева мастики оценивается интенсивностью изменения его температуры (интенсивностью$I_п$ предварительного разогрева):

$$I_п = \frac{T_р - T_х}{t_п} = \frac{P(1 - k_п)\eta_п}{V_к c_к(1 + k_б)}.$$

В рабочем режиме поток холодной мастики из верхнего отсека бака проходит через локальную камеру и нагревается. При этом мощность ТЭН должна обеспечить подогрев проходящей мастики до рабочей температуры $T_р$:

$$P = \frac{q_к c_к(T_р - T_х)}{\rho_к \eta_р},$$

где $q_к$ - расход мастики при нанесении пневматическим распылителем, кг/с; $\rho_к$ – плотностьмастики, кг/м^3;$\eta_р$ - коэффициент, учитывающий теплопотери в рабочем режиме; при качественной теплоизоляции резервуара: $\eta_р = \eta_п = 0{,}95$.

Рабочая температура $T_р$ косвенным образом характеризует вязкость мастики, ее технологическую способность к движению по шлангу на распыление с расходом не ниже требуемой величины $q_к$. Величина расхода $q_к$ (кг/с) защитной мастики лимитирована пропускной способностью пистолета-распылителя. В рабочем режиме интенсивность $I_р$ подогрева мастики:

$$I_р = \frac{q_к(T_р - T_х)}{V_к \rho_к} = \frac{P\eta_р}{V_к c_к}.$$

На интенсивность $I_п$ предварительного разогрева мастики существенное влияние оказывают объем $V_к$локальной камеры и коэффициент $k_б$, учитывающий затраты энергии на прогрев корпуса бака и теплоотводящего материала.

Для установления взаимосвязи между этими параметрами проведено экспериментальное исследование, в результате которого получена зависимость коэффициента $k_б$ от объема$V_к$ локальной камеры нагрева (рисунок 2).

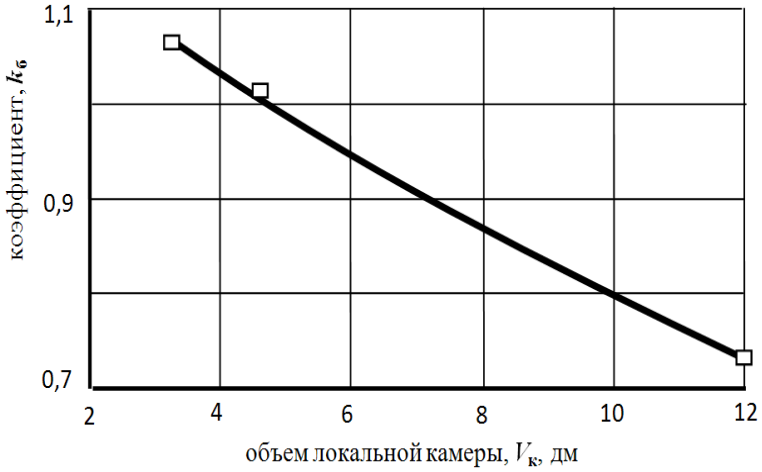


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента $k_б$от объема $V_к$локальной камеры

По величине коэффициента $k_б$ определяется доля $e_с$ полезных затрат энергии (%) на предварительный подогрев мастики в объеме локальной камеры:

$$e_с = \frac{100\ \%}{1 + k_б}.$$

При объеме камеры 3,5 л на предварительныйподогрев мастики полезно тратитсядо 48 %

тепловой энергии; при объеме 4,5 л – до53 % энергии низковольтного ТЭН.

Исследовано влияние разделительной перегородки на длительность разогрева мастики в локальной камере напорногобака. При этом в качестве разделительной перегородки использовали две мелкоячеистые стальные сетки, установленные расстоянии 6 и 12 мм друг от друга. В бак вместимостью 20 л загружали 16 л ингибированной мастики и включали нагрев, мощность ТЭН – 450 Вт. На рисунке 3 показаны результаты, отражающие динамику разогрева мастики в локальной камере объемом 4,5 л.

В локальной камере длительность предварительного разогрева вязкой мастики от 5 до 40 °С не превысила 20 мин, при этом интенсивность предварительного разогрева мастикисоставила 1,75 °С/мин. Интенсивность подогрева мастики в рабочем режиме в 1,72 раза выше – 3,0 °С/мин. После 20 мин работы низковольтного ТЭН динамическая вязкость мастики снизилась до 0,18 Па·с.

Рисунок 3- Динамика изменения температуры мастикив локальной камере и в верхнем отсеке

При этой вязкости мастика под давлением воздуха способнапоступать из напорного бака по обогреваемому шлангув пистолет-распылитель. Технологически необходимая длина обогреваемого шланга подачи мастики, при которой доступна консервация всей машины, составляет $L_ш$ = 10 м, диаметр $d_ш$проходного канала шланга для подачи мастики может быть 10 или 12 мм. Длина проволоки - $L_п$ для изготовления спирали должна быть больше длины шланга - $L_ш$, минимальная длина проволоки конструкционно ограничена: $L_{п.min}$ = 1,1$L_ш$. Для шланга длиной 10 м минимальная длина проволоки для спирали $L_{п.min}$= 11 м.

Электрическое сопротивление 1 погонного метра (1 п.м.) проволоки, используемой для изготовления спирали:

$$R_п = \frac{4\rho}{\pi d_п^2},$$

где $R_п$ – сопротивление 1 п.м. проволоки, Ом/м; ρ – удельное электрическое сопротивление проволоки, для нихромовой проволоки ρ = 1,1 Ом·мм^2/м[9, с. 153];$d_п$ – диаметр проволоки, мм.

Полное сопротивление R проволочной спирали для обогреваемого шланга подачи:

$$R = R_п L_п.$$

Мощность Pпроволочной спирали при работе от генератора:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2}{R_п L_п},$$

где U – напряжение генератора, U = 28 В.

В таблице 1 приведены результаты расчета сопротивления и мощности спиралей длинойпо 11,0 м, выполненных из нихромовых проволок диаметрами 1,0-2,5 мм, а также параметры спирали из стальной проволоки диаметром 1,2 мм, используемой для сварки в среде защитных газов.

Таблица 1 – Параметры спиралей для шлангового подогревателя

Материал спирали	Диаметр проволоки, $d_п$, мм	Электрическое сопротивление проволоки, $R_п$, Ом/м	Мощность спирали, P, Вт
Нихром	1,0	1,4	50,9
	1,2	0,97	73,5
	1,5	0,62	115,0
	2,0	0,35	203,6
	2,5	0,22	324,0
Сталь	1,2	0,29	245,8

Анализ данных показывает, что мощность нагрева свыше 240 Вт обеспечивают спирали из нихромовой проволоки диаметром 2,5 мм и из стальной сварочной проволоки диаметром 1,2 мм.

Температура нагрева проволочной спирали зависит от величины поверхностной мощности $\beta_п$ (Вт/см^2), приведенной к 1 см^2 площади поверхности спирали:

$$\beta_п = P/(10\pi L_п d_п).$$

Согласно выполненным расчетам, нагревательная спираль из проволокидлиной $L_п$ = 11,0 мпри диаметре $d_п$ = 1,2 ммимеет поверхностную мощность $\beta_п$ = 0,6 Вт/см^2, еслидиаметр $d_п$ = 2,5 мм,то поверхностная мощность –0,38 Вт/см^2. Расчеты показали, что значения поверхностной мощности нагрева спиралей из обеих проволок не превышают допустимую величину - 0,8 Вт/см^2, определенную по методике [10]для резинотекстильных изделий. Однако, спираль из стали в 4,3 раза легче и в меньшей степени перекрывает сечение шланга, чем спираль из нихрома. Поэтому применение в шланге стальной спирали предпочтительнее.

Для оценки влияния диаметра шланга на теплопотери через его оболочку, рассмотрены два типоразмера напорного масло-бензостойкого рукава. Рукав типоразмера МБС10х18,5-1,6 МПа имеет внутренний диаметр $d_{в1}$ = 10 мм, наружный – $d_{н1}$ = 18,5 мм. Рукав типоразмера МБС12х20-1,6 МПа имеет внутренний диаметр $d_{в2}$ = 12 мм, наружный – $d_{в2}$ = 20 мм.

Теплопотери$Q_ш$ (Вт) через оболочку шланга определяли по источнику [11]:

$$Q_ш = \frac{\pi L_ш (T_в - T_н)}{\frac{1}{\alpha_1 d_в} + \frac{\ln(d_н/d_в)}{2\lambda_ш} + \frac{1}{\alpha_2 d_н}},$$

где $\lambda_ш$ – коэффициент теплопроводности шланга, по данным [12]$\lambda_ш$ = 0,184 Вт/(м·°С); $T_в$ – температура мастики в шланге, °С; $T_н$ – температура окружающего воздуха, °С; $d_н$ – наружный диаметр шланга, м; α_1 – коэффициент теплоотдачи от нагретой мастики к шлангу, поданным [11]α_1 = 100 Вт/(м^2· °С); α_2 – коэффициент теплоотдачи от шланга к воздуху, α_2 = 15 Вт/(м^2· °С).

Для разностей температур ($\Delta T_{ох} = T_в - T_н$) от 10 до 50 °С проведены расчеты и построены графики теплопотерь через оболочки шлангов с внутренними диаметрами 10 и 12 мм (рисунок 4).

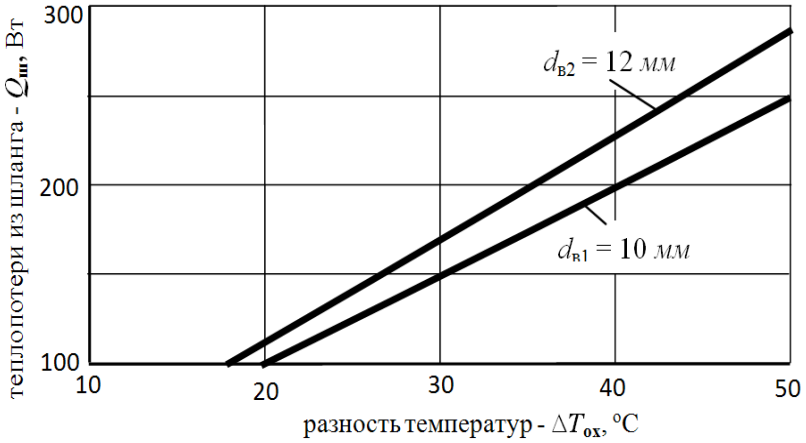


Рисунок 4 – Зависимость теплопотерь$Q_ш$ через оболочку шлангаот разности температур $\Delta T_{ох}$

Из рисунка 4 видно, что диаметр шланга влияет на тепловые потери от нагретой мастики в окружающий воздух. При температурах мастики – 40 °Си воздуха – 5 °С (разность температур $\Delta T_{ох}$ = 35 °С) теплопотеричерез оболочку шланга диаметром $d_{в2}$ =12 мм составят 200Вт, а через оболочку шланга $d_{в1}$ = 10 ммтеплопотери ниже –180 Вт. Запас мощности спирали 60Вт позволит компенсировать неучтенные теплопотери от обдувки шланга ветром или от его контакта с холодной поверхностью площадки хранения.

Работоспособность стальной сварочной проволоки исследовали в режиме нагрева. Ее навивали на лист текстолита и подключали к работающему генератору Г1000В.05 через вольтметр и амперметр постоянного тока. Установлено, что после подачи напряжения ток в проволоке понижался от 8,8 до 8,0 А и, соответственно, изменялась мощность нагрева – от 240 до 225 Вт в первые 10 с работы, а затем стабильно поддерживалась на уровне 225-228 Вт. При этом проволока нагрелась до 85-95 °С. Понижение мощности нагретой проволоки объясняется высоким температурным коэффициентом сопротивления стали, который в 30 раз больше, чем нихрома.

Для размещения 11 *м* проволоки внутри шланга сечением 10 *мм* и длиной 10 *м*, ее навивали на калиброванный пруток Ø6 *мм*, затем вытягивали на необходимую длину и вставляли в шланг. Шланг подсоединяли к напорному баку, заполняли его мастикой и подавали напряжение 28 В на спираль. Под давлением сжатого воздуха мастику в объеме 50-60 мл периодически выдавали из шланга в стакан, где измеряли ее температуру. При опытах температура воздуха не превышала +5°С. На рисунке 5 представлены опытные данные по нагреву мастики в шланге.

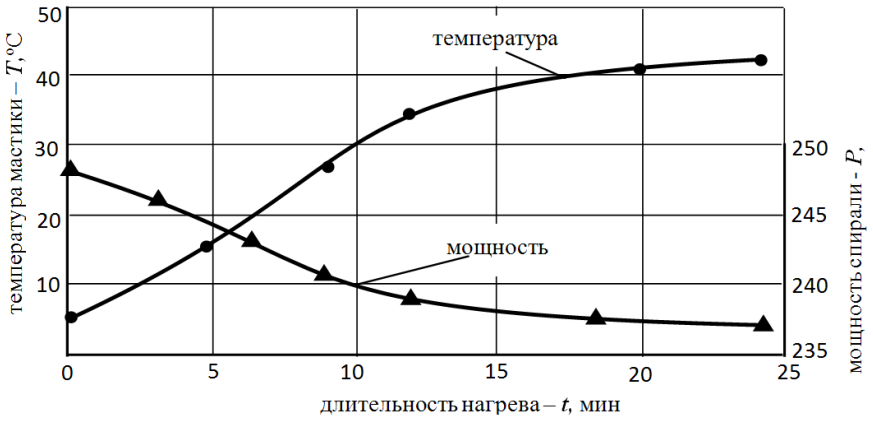


Рисунок 5 – Динамика изменения температуры *T* мастикии мощности *P* спирали

После подачи напряжения на спираль, мастикав шлангенагрелась от 5 до 40 °Св течение 18-20 мин, затем темп роста температуры замедлился. Одновременно с повышением температуры отмечено понижение с 248 до 237 Вт мощности, потребляемой нагревательной спиралью из-за увеличения сопротивления стальной проволоки. При температуре40 °С динамическая вязкость мастики (0,18 Па·с)достаточна для ее мелкодисперсного распыления и получения покрытия без дефектов.В случае более длительного нагрева мастики, ее температура в шланге может повысится не более чем до 45 °С из-за снижения потребляемой мощности и роста тепловых потерь в окружающую среду.

Заключение. Предложены технические решения для мобильного оборудования по консервации сельхозмашин вязкой мастикой в условиях открытых площадок хранения, предусматривающие подогрев мастики в локальной камере напорного бака и в шланге подачи к пистолету-распылителю за счет электроэнергии от автотракторного генератора 28 В.

Обоснованы параметры: напорного бака (объем – 20 л) слокальной камерой нагрева мастики (объем - 4,5 л, потребляемая мощность – 450 Вт), шланга подачи мастики (длина – 10 м, диаметр – 10 мм) с нагревательной спиралью (стальная проволока Ø1,2 мм длиной – 11,0 м, потребляемая мощность – 245 Вт), при которых мастика разогревается от 5 до 40 °С в течение 20 мин.

Реализация рассмотренных технических решений позволит сократить в 2 раза время ввода

оборудования в рабочий режим нанесения мастикии обеспечить его работоспособность при пониженной до 5 ^{o}С температуре.

Список литературы

1. Справочник фермера / Кузьмин В.Н., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П. и др. – М.: 2017. – 708 с.

2. 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.

3. Петрашев А.И. Оборудование для противокоррозионной защиты техники // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2010. - № 5. - С. 31-33.

4. Прохоренков В.Д., Вигдорович В.И., Князева Л.Г. Доступные противокоррозионные материалы для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии // Практика противокоррозионной защиты. - 2003. - № 3(29). - С. 51-54.

5. Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В.Технологические решения по консервации сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами // Труды ГОСНИТИ. - 2013. - Т. 112.- № 2. - С. 61-65.

6. Петрашев А.И., Прохоренков В.Д., Ивойлов А.А.Мобильный энергопривод оборудования для консервации сельхозмашин загущенными композициями // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – № 1. – С. 27-29.

7. Патент № 2460590 Российская Федерация МПК B05B 7/16.Устройство для нагрева защитной смазки при нанесении на сельхозмашины / Петрашев А.И., Князева Л.Г., Курочкин И.М., Петрашева М.А.: заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. - № 2011136490, заяв. 01.09.2011; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25. – 8с.: ил.

8. Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. акад. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1006 с.

9. Кошкин Н.И.,Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике: 10-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1986. – 256 с.

10. Никонов Н.В. Нагреватели. Методика и примеры расчета. ООО «Метотехника», 2012, 29 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.metotech.ru/articles/art_nagrev_1.pdf

11. Телегин А.С.,ШвыдкойВ.С., ЯрошенкоЮ.Г. Тепломассоперенос. – М.: Металлургия, 1995. – 400 с.

12. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной физики: Справочник. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.

References

1. Spravochnik fermera / Kuz'min V.N., Fedorenko V.F., Mishurov N.P. i dr. – M.: 2017. – 708 s.

2. Petrashev A.I. Pnevmaticheskaya ustanovka dlya nagreva i raspyleniya vyazkih krasok i mastik v usloviyah APK // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. - 2001. - № 4 (22). - S. 23-26.

3. Petrashev A.I. Oborudovanie dlya protivokorrozionnoj zashchity tekhniki // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. - 2010. - № 5. - S. 31-33.

4. Prohorenkov V.D., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G. Dostupnye protivokorrozionnye materialy dlya zashchity sel'skohozyajstvennoj tekhniki ot atmosfernoj korrozii // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. - 2003. - № 3(29). - S. 51-54.

5. Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V.Tekhnologicheskie resheniya po konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki otrabotannymi motornymi maslami // Trudy GOSNITI. - 2013. - T. 112.- № 2. - S. 61-65.

6. Petrashev A.I., Prohorenkov V.D., Ivojlov A.A. Mobil'nyj energoprivod oborudovaniya dlya konservacii sel'hozmashin zagushchennymi kompoziciyami // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2009. – № 1. – S. 27-29.

7. Patent № 2460590 Rossijskaya Federaciya MPK V05V 7/16.Ustrojstvo dlya nagreva zashchitnoj smazki pri nanesenii na sel'hozmashiny / Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Kurochkin I.M., Petrasheva M.A.: zayavitel' i patentoobladatel' GNU VNIITiN Rossel'hozakademii. - № 2011136490, zayav. 01.09.2011; opubl. 10.09.2012. Byul. № 25. – 8s.: il.

8. Tablicy fizicheskih velichin: Spravochnik / Pod red. akad. I.K. Kikoina. – M.: Atomizdat, 1976. – 1006 s.

9. Koshkin N.I., SHirkevich M.G. Spravochnik po elementarnoj fizike: 10-e izd., ispr. i dop. – M.: Nauka, 1986. – 256 s.

10. Nikonov N.V. Nagrevateli. Metodika i primery rascheta. OOO «Metotekhnika», 2012, 29 s. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa:http://www.metotech.ru/articles/art_nagrev_1.pdf

11. Telegin A.S.,SHvydkojV.S., YAroshenkoYU.G. Teplomassoperenos. – M.: Metallurgiya, 1995. – 400 s.

12. CHirkin V.S. Teplofizicheskie svojstva materialov yadernoj fiziki: Spravochnik. – M.: Atomizdat, 1968. – 484 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Петрашев Александр Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: vitin-10.pet@mail.ru.

Клепиков Виктор Валерьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов,e-mail: viktrikt@mail.ru

Author credentials

Affiliations

Petrashev Alexander – Doctor of Technical Sciences, Head of Research of State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru.

Klepikov Victor – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viktrikt@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 01.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 30.07.2019

Статьи, поступающиевредакцию, 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 30.08.2019.Заказ № 36.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 12.81 усл. печ. л. Тираж 100 экз.