ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2020 № 5(47)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

Владимиру Ивановичу Доровских 70 лет!

Доровских В.И. работает в ФГБНУ ВНИИТиН с небольшими перерывами со дня его основания, пройдя путь от инженера, заместителя директора ОПКБ с ЭП, научного сотрудника, заведующего сектором в составе лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве до ведущего научного сотрудника и заведующего лабораторией управления качеством технологических процессов в животноводстве. Начинал он свою трудовую деятельность в филиале ВИЭСХ, и сегодня является хранителем и продолжателем самой первой темы, которой занимались сотрудники института – «Использование техники и управление качеством технологических процессов в животноводстве».

Владимир Иванович успешно решает задачи с акцентом на практическое внедрение разработок (семейные молочные фермы, доильные установки с новыми счетчиками молока и схемой технологического процесса, доильные залы в приспособленных помещениях, летние лагеря в автономном и совмещенном вариантах, массажники вымени, реконструкция молочных блоков и др.). Все годы работы он поддерживает тесные связи с руководителями сельскохозяйственного производства самого высокого уровня и заслужил почет и уважение с их стороны. Совокупность внедренных разработок позволили существенно увеличить продуктивность дойных коров, что было высоко оценено учеными Российской академии сельскохозяйственных наук.

Дорогой Владимир Иванович!

Коллектив ФГБНУ ВНИИТиН сердечно поздравляет Вас со славным юбилеем! Ваша творческая биография полна событиями и делами, которые характеризуют Вас как талантливого руководителя, пытливого исследователя и как человека, в котором сконцентрированы лучшие мужские качества. Ваша неиссякаемая энергия, способность видеть дальше других и увлекать своими идеями является незаменимой в нашей совместной деятельности. В ФГБНУ ВНИИТиН Вы являетесь активным членом команды. На различных этапах Вашей трудовой биографии сформировались и были востребованы Ваш жизненный и профессиональный опыт, лидерские качества и стремление к решению важных стратегических задач. В этот торжественный день желаем Вам, дорогой Владимир Иванович, здоровья, успехов в Вашем благородном труде, благополучия Вашей семье и Вашим близким!

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**

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

№ 5 (47), 2020 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.

№ 5 (47). Дата выхода в свет 31.10.2020. 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», 2020

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 5 (47), 2020 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 – ведущий научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

ЕРОХИН Геннадий Николаевич – заведующий лабораторией 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 – заведующий лабораторией 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

БАЛАБАНОВ Виктор Иванович – заведующий кафедрой «Мелиоративных и строительных машин» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», 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 – заведующий лабораторией 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 – главный научный сотрудник лаборатории использования альтернативных источников энергии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

© «Наука в центральной России», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Гринь А.М.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ 5
Башкирев А.П., Шварц А.А., Пашин Е.А.
ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЕКЛОВИЧНЫХ СЕЯЛОК 12
Башкирев А.П., Шварц А.А., Пашин Е.А.
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЕКЛОВИЧНОЙ СЕЯЛКИ 18
Тишанинов Н.П.
АВТОРЕГУЛИРУЕМОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ТРИЕРА ... 24
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайиин Х.Д.Д.
ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА КОМПОНЕНТОВ ЗЕРНОСМЕСИ 31
Иванов Н.М., Криков А.М., Федоров А.Г., Бердникова Р.Г.
ВЫПОЛНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАКТОРОВ И ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 41
Джураев Д, Тоиров И.Ж., Бадалов С.М.
РАЗРАБОТКА ПРИЦЕПНОГО ШТАНГОВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ SHPJG – 20 ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ ХЛОПЧАТНИКА 52
Бондаренко И.И., Сергеев К.Л., Родионов Ю.В., Никитин Д.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАБОТЫ ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ ГИДРОПОДЖИМНЫХ МУФТ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС» 59
Доровских Д.В., Глазков Ю.Е.
УТОЧНЕНИЕ РЕЖИМОВ УПРОЩЕННОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ 66
Симонов Г.А., Никифоров В.Е., Иванова Д.А., Филиппова О.Б.
РОБОТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОЕНИЯ КОРОВ ПОВЫШАЕТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА 74
Агафонов А.К., Ломовских А.Е., Родионов Ю.В., Берестевич Г.В., Свиридов А.А., Армянинов И.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 82
Королев В.Н., Левина Е.Ю., Нагорнов С.А., Корнев А.Ю.
О МЕХАНИЗМЕ МАССОПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА ЧЕРЕЗ ГРАНИЦУ РАЗДЕЛА ФАЗ В СИСТЕМЕ «ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ» ПРИ РЕАКЦИИ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ 95
Романцова С.В., Гладышева И.В., Вервекина Н.В., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П., Романцова А.А.
РАСЧЁТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ... 105
Романцова С.В., Якунина И.В., Галкин П.А., Милосердов А.М.
СПОСОБ СИНТЕЗА БИОГАЗА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В КАЧЕСТВЕ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА 111

CONTENTS

Ozherelev V., Nikitin V., Grin A.
IMPROVING THE DESIGN OF DISC HARROWS 5
Bashkirev A., Shvartz A., Pashin E.
PECULIARITIES OF FUNCTIONING OF SUGAR BEET PLANTERS 12
Bashkirev A., Shvartz A., Pashin E.
RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF BEET SEEDER 18
Tishaninov N.
AUTO-ADJUSTABLE SPEED CONTROL TRIER'S WORKS 24
Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K., Alshinayin H.J.J.
STUDIES OF THE ANGLE OF NATURAL SLOPE OF GRAIN MIX COMPONENTS 31
Ivanov N., Krikov A., Fedorov A., Berdnikova R.
THE PERFORMING MAINTENANCE OPERATIONS FOR TRACTORS AND TRUCKS USING A COMPREHENSIVE INFORMATION SUPPORT SYSTEM 42
Djuraev D., Toirov I., Badalov S.
DEVELOPMENT OF A TRAILED STEM SPRAYER SHPJG – 20 FOR CHEMICAL TREATMENT OF COTTON PLANT 52
Bondarenko I., Sergeev K., Rodionov Y., Nikitin D.
THRESHOLD VALUES DETERMINATION OF FRICTION OPERATIONS OF HYDRAULIC CLUTCH FRICTION DISCS FOR GEARBOX COUPLINGS OF THE TRACTOR «BELARUS» 59
Dorovskikh D., Glazkov Y.
CLARIFICATION OF SIMPLIFIED TEST CYCLE MODES FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES 66
Simonov G., Nikivorov V., Ivanova D., Filippova O.
ROBOTIC TECHNOLOGY MILKING THE COWSINCREASES THE EFFICIENCY OF MILK PRODUCTION 74
Agafonov A., Lomovsky A., Rodionov Y., Berestevich G., Sviridov A., Armyaninov I.
STUDY OF THE INFLUENCE OF ANTI-FRICTION LUBRICANT ON THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES 82
Korolev V., Levina E., Nagornov S., Kornev A.
ON THE MECHANISM OF MASS TRANSFER OF MATTER ACROSS THE PHASE INTERFACE IN THE “LIQUID-LIQUID” SYSTEM DURING THE TRANSESTERIFICATION REACTION 96
Romantsova S., Gladysheva I., Vervekina N., Nagornov S., Liksutina A., Romantsova A.
CALCULATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIODIESEL FUEL 105
Romantsova S., Yakunina I., Galkin P., Miloserdov A.
METHOD FOR SYNTHESIS OF BIOGAS, USED AS GAS ENGINE FUEL 112

УДК 634.7: 631.31
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-5-11

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ

[1]Ожерельев Виктор Николаевич
[1]Никитин Виктор Васильевич
[1]Гринь Александр Михайлович
[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

Реферат. *Дан ретроспективный анализ изменения подходов к классификации и конструкции дисковых почвообрабатывающих орудий. Отмечено широкое применение мульчировщиков и дискаторов, которые технологически могут быть идентифицированы в качестве аналогов дискового лущильника и дисковой бороны, но с точки зрения конструктивного исполнения имеют существенные отличия. Их диски скомпонованы в поперечные ряды, для мульчировщика характерны два, а для дискатора – четыре ряда, при этом каждый диск смонтирован на индивидуальной ступице, что препятствует забиванию дисков почвой и исключении наматывания на них сорняков. Проведено сравнение основных параметров традиционной дисковой бороны и дискатора такой же ширины захвата. Отмечено, что увеличение давления на диск обеспечивает дискатору большую величину заглубления рабочих органов, но при этом цена дискатора в 2-3 раза превышает цену дисковой бороны батарейного типа сопоставимой ширины захвата. Представлено решение проблемы поперечного выноса почвы в кусты и прикустовую зону. Предложено увеличить боковой вынос задней батареи и снабдить крайний правый диск передней батареи отбойным щитком, установленным под оптимальными углами в плане и в поперечном сечении. Модернизированная дисковая борона использовалась в крестьянском хозяйстве «Ягодное» (Брянская область) для обработки междурядий малины и смородины площадью 5 га в течение десяти лет. При этом удавалось поддерживать выровненным поперечный профиль поверхности междурядий и не допускать появления характерных для использования серийных дисковых борон почвенных валов вдоль основания кустов. Это способствовало созданию агрофона, приемлемого для эффективного использования ягодоуборочных комбайнов.*

Ключевые слова: *почва, почвообрабатывающая машина, дисковая борона, дискатор, междурядная обработка.*

IMPROVING THE DESIGN OF DISC HARROWS

[1]Ozherelev Viktor
[1]Nikitin Victor
[1]Grin Alexander
[1]FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University"

Abstract. *A retrospective analysis of changes in approaches to the classification and design of disk tillage tools is given. The widespread use of mulchers and discators is noted, which technologically can be identified as analogues of a disc cultivator and disc harrow, but from the point of view of design, they have significant differences. Their discs are arranged in transverse rows, for a mulcher there are two, and for a discator - four rows, while each disc is mounted on an individual hub, which prevents the discs from clogging with soil and excludes the winding of weeds on them. The main parameters of a traditional disc harrow and a disc harrow of the same working width were compared. It is noted that an increase in the pressure on the disc provides the discator with a greater depth of the working bodies, but at the same time the price of the discator is 2-3 times higher than the price of a battery-type disc harrow of a comparable working width. The solution to the problem of lateral soil removal into bushes and bust zone is presented. It is proposed to increase the lateral extension of the rear battery and to equip the extreme right disk of the front battery with a baffle plate installed at optimal angles in plan and cross-section. The*

modernized disc harrow was used in the Yagodnoye peasant farm (Bryansk region) for processing raspberry and currant rows of 5 hectares for ten years. At the same time, it was possible to maintain a leveled cross-sectional profile of the row-spacing surface and prevent the appearance of soil shafts characteristic of the use of serial disc harrows along the base of the bushes. This contributed to the creation of an agricultural background suitable for the efficient use of berry harvesters.

Keywords: *soil, tillage machine, disc harrow, discator, inter-row cultivation.*

Введение. Обработка почвы, в особенности поверхностная, подчинена одновременному решению целого ряда задач технологического плана. Причем их сочетание и последовательность выполнения зависят от почвенно-климатических условий и места обработки в технологической цепочке и севообороте. Что касается выбора наиболее подходящих орудий, то здесь определяющую роль начинают играть экономические мотивы. Конечно, в первую очередь приходится заботиться о качестве технологического процесса, не забывая при этом об его затратности и производительности, поскольку именно оптимальные сроки выполнения обработки часто оказывают в растениеводстве решающее влияние на конечный результат возделывания сельскохозяйственных культур – урожайность и себестоимость.

В связи с институциональной трансформацией отечественного сельского хозяйства и его технологическим совершенствованием заметно изменились подходы к формированию парка почвообрабатывающих орудий. В частности, увеличилась доля обработок, осуществляемых дисковыми орудиями, агрегатирующимися с более мощными тракторами. При этом существенно изменилась конструкция самих дисковых орудий, в результате чего возник, по сути, их новый класс – дискаторы, особенности конструкции и применения которых пока недостаточно проанализированы и слабо отражены в публикациях [1]. Кроме того, существенно изменился подход к использованию дисковых орудий для обработки почвы в междурядьях многолетних насаждений (ягодные кустарники, виноградники, интенсивные сады). Между тем, в этом направлении появились технические решения, существенно улучшившие качественные показатели процессов [2, 3].

Результаты и их обсуждение. *Трансформация подхода к классификации дисковых орудий.* Всплеск второй волны отечественных исследований, касающихся устройства и оптимизации параметров почвообрабатывающих орудий можно с полным основанием отнести на 1960-е годы (если первой волной считать творческую деятельность В.П. Горячкина и его соратников). Отчасти этому способствовала общественно-политическая ситуация, отчасти стимулировали потребности неотложного технического перевооружения сельского хозяйства. В результате к концу десятилетия, в целом, сложилась концепция формирования приемлемой на тот период системы машин. Более того, была разработана система стандартов, регламентирующих основные параметры соответствующих машин.

Что касается дисковых орудий, то в 1969 году начали действовать ГОСТ 7245-69, регламентирующий основные параметры лущильников и ГОСТ 10267-69 касающийся важнейших показателей, характерных для дисковых борон [4]. В частности, устанавливались масса, приходящаяся на один метр ширины захвата и на один диск, углы атаки и максимальная глубина обработки. Так, для навесных дисковых борон, агрегатируемых с тракторами класса 9 – 14 кН масса, приходящаяся на один диск, не должно было превышать 25 кг, тогда как при агрегатировании с тракторами класса 30 – 60 кН ее предельная величина возрастала до 50 кг. Для прицепных борон стандартом допускалось иметь 40 – 60 кг массы на один диск. Таким образом, дисковые орудия были разделены на классы: по технологическому назначению (лущильники и дисковые бороны), а по массе, приходящейся на один диск - на легкие и тяжелые бороны. Отнесение к тому или иному классу соответствующим образом отражалось на конструкции и параметрах. Так, если у лущильника диски скомпонованы «в один след», то у дисковых борон взаимодействие рабочих органов с почвой осуществляется «в два следа».

Разработка новых технологий привела к появлению более совершенных дисковых орудий, вследствие чего существенно изменилась технологическая дифференциация дисковых борон и лущильников с точки зрения их назначения. Согласно получающей в последние годы все большее признание концепции минимальной обработки почвы (в отличие от традиционной (интенсивной) технологии), считается допустимым проводить основную обработку почвы на глубину всего 8 – 12 см с одновременным подрезанием, измельчением пожнивных остатков и перемешиванием их с

почвой. С такой технологической функцией уже, не могут справиться культиваторные лапы подрезающего типа. Особенно если речь идет о полях, высвобождающихся после уборки кукурузы и подсолнечника.

В наибольшей степени новым технологическим требованиям отвечают дисковые рабочие органы, которые, перекатываясь по поверхности поля, легко преодолевают даже мощные препятствия в виде стеблей и корневой системы кукурузы, надежно измельчают практически любые пожнивные остатки, обеспечивая одновременно с этим качественное рыхление почвы. В отличие от традиционных паровых культиваторов и, особенно, от плоскорезов, дисковые орудия позволяют осуществлять обработку почвы практически любого состояния и на предельно малую глубину. Вследствие этого за последние десятилетия на рынке появились дисковые почвообрабатывающие орудия нового типа – дискаторы и мульчировщики. Конструктивно они отличаются от традиционных лущильников и борон батарейного типа тем, что у них каждый рабочий орган имеет индивидуальное крепление к раме и кроме регулируемого угла атаки (в плане) диски могут иметь наклон по отношению к поверхности почвы, аналогично рабочим органам дисковых плугов. При этом все исходные агротехнические требования к мульчировщикам находятся в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к дисковым лущильникам, а для дискаторов технологическими аналогами являются традиционные (батарейные) дисковые бороны. Поэтому по своему назначению дисковые почвообрабатывающие орудия целесообразно, как и прежде, подразделять на два технологических класса - на лущильники (мульчировщики) и бороны (дискаторы) [5].

Существует мнение, что дисковые бороны целесообразно делить на три класса, отличающиеся нагрузкой на диск или весом, приходящимся на метр ширины захвата. При этом к группе легких дискаторов, выполняющих технологическую функцию лущильников (мульчировщиков), предложено отнести орудия с диаметром дисков 450–510 мм и нагрузкой, приходящейся на каждый из них,60–90 кг при массе 500–800 кг на метр ширины захвата. В большинстве случаев индивидуальные стойки дисков таких орудий либо выполнены пружинными – Гелиодор (LEMKEN), Дисколайт (АГРОХИММАШ), либо крепятся на резиновых (пластиковых) втулках – CATROS (AMAZONE), OPTIMER (KUHN), CARRIER (VADERSTAD), DISKOMIX (GREGORIE BESSON). Обычно диски таких мульчировщиков сгруппированы в два поперечных ряда, а сзади рама опирается на каток спирального типа. При глубине обработки до 10 см машины обеспечивают высокую производительность.

Группа тяжелых борон (дискаторов) снабжается дисками диаметром 570 – 620 мм при вертикальной нагрузке на каждый из них 80 – 130 кг. В конструкции этой группыдисковых орудий резиновые втулки для амортизации не применяются ввиду неприемлемо высокой для них нагрузки, а применяются либо пружинные двуспиральные стойки UFO (GASPARDO), либо подпружиненные стойки «Рубин» (LEMKEN). Ряд фирм сохраняет классическую компоновку тяжелых дисковых борон, при которой диски сгруппированы в батареи (размещены на общей оси) – DISCOVER (KUHN), 1435 (SUNFLOWER). При этом сами батареи могут крепиться к основной раме орудия посредствомплоских пружин – DISCOPAK (GREGOIRE BESSON). Увеличение нагрузки, приходящейся на один диск, позволяет увеличить глубину обработки до 15 см [6].

В качестве третьей размерной группы авторы классификации рассматривают дисковые плуги, называя их сверхтяжелыми дисковыми боронами, что противоречит технологической сущности указанных орудий. Диаметр дисков в этой группе достигает 610 – 810 мм при нагрузке на каждый из них превышающей 140 кг (масса более 1300 кг на метр ширины захвата).

В завершение анализа подходов к классификации дисковых орудий следует отметить, что в настоящее время на рынке и в эксплуатации присутствуют все перечисленные типы машин – начиная от дискового лущильника традиционной конструкции. Более того, попытка втиснуть все это разнообразие всего в два класса приводит к тому, что теряются многие конструктивно-технологические нюансы, оказывающие существенное влияние на качество и себестоимость обработки почвы.

Сопоставление некоторых параметров дисковых орудий. Целесообразно задаться вопросом, является ли дискатор альтернативой дисковой бороне? Скорее всего, так вопрос ставить не корректно, поскольку эти орудия следует отнести к разным классам, как по технологическому назначению, так и по особенностям конструкции. Это следует из сопоставления, например, тяжелой дисковой бороны БДТ-7 и дискатора БДМ-7х4 (таблица 1).

Таблица 1 – Сопоставление технических характеристик дисковых орудий

Показатели	Борона	Дискатор
1. Марка	БДТ-7	БДМ-7х4
2. Ширина захвата, м	7	7,2
3. Масса, кг	3800 – 4280	8400
4. Число дисков, шт.	65	72
5. Нагрузка на диск, кг	66	116
6. Число подшипников качения (без учета колес и катков), шт.	16	144
7. Диаметр дисков, мм	650	560
8. Расстояние между дисками, мм	220	400
9. Угол атаки, град.	до 24	до 30
10. Глубина обработки, м	до 0,12	до 0,16
11. Стоимость, тыс. руб.	от 465*	1650*
12. Агрегатирование (класс тяги трактора)	до 5	6

*- предложение в Брянске по состоянию на сентябрь 2020 [7].

Действительно, если борона БДТ-7 осуществляет поверхностную обработку, то удвоение нагрузки на диск позволяет дискатору приблизиться технологически к орудиям для основной обработки почвы. При этом поперечное размещение рядов дисков обеспечивает работоспособность машины практически в любых почвенных условиях и степени засоренности поля [8]. Однако, в технике за совершенствование одного из параметров, как правило, приходится платить высокую цену, то есть, заведомо идти на компромисс по другим вопросам.

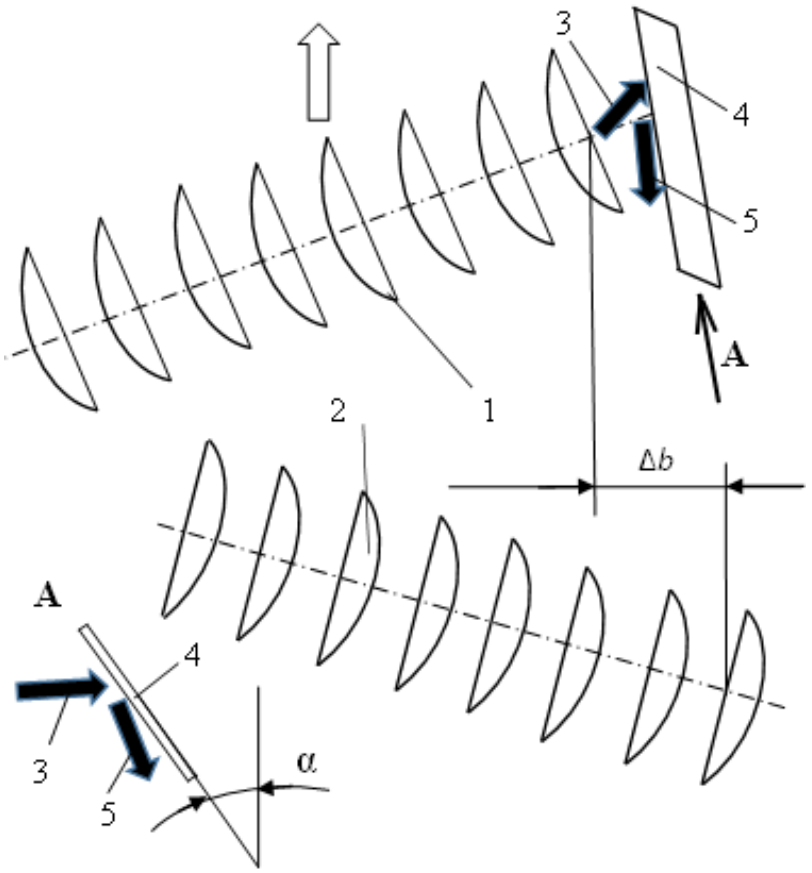
Что касается дискатора, то больше платить приходится в самом прямом смысле (таблица 1). Отчасти это обусловлено необходимостью снабжать каждый из дисков индивидуальной стойкой, ступицей и двумя подшипниками качения. Для упрощения конструкции стойки отечественных дискаторов серии БДМ закреплены на раме жестко и не имеют возможности индивидуально отклоняться вверх при встрече с неразрушимым препятствием. Возможен только поворот стойки вокруг ее вертикальной оси при изменении угла атаки дисков. Вследствие этого, в Брянском ГАУ при обработке в 2020 году участка раскорчеванного сада наезд дисков на неизбежные в таких случаях нераскорчеванные древесные остатки (пни) приводил к их неоднократной поломке. Это объясняется тем, что значительная часть веса орудия оказывается приложенной всего к одному диску. В отличие от дисковой бороны, такое становится возможным потому, что расстояние между дисками в поперечном ряду равно 400 мм. То есть, изначально большее давление и невозможность распределения опоры хотя бы на два соседних диска делают поломку весьма вероятной.

Возвращаясь к высокой цене орудия следует упомянуть о подшипниках. В ступицах дисков используют, как правило, конические роликовые подшипники типа 7508 (7509). Цена такого подшипника варьируется от 138 (Китай) до 617 рублей за штуку. То есть, при комплектовании дискатора БДМ 7х4 около 80 тыс. рублей составляют затраты на приобретение одних только подшипников. Кроме того, необходимо изготовить 72 ступицы и столько же технологически достаточно сложных стоек с цапфами, снабженными посадочными местами под подшипники. В попытке уменьшить себестоимость изготовления дискатора некоторые отечественные производители пошли на замену крепления диска к ступице болтами с потайной головкой, снабженной посадочным местом квадратного сечения, на более простой вариант в виде нарезки в головке болта шлица под отвертку. После работы орудия в течение хотя бы одного сезона свинтить гайки с таких болтов (например, для замены диска) становится практически невозможно. Большинство из них приходится срезать.

Резервы улучшения конструкции дискаторов пока не исчерпаны. Так, снабжение дисков спиралевидными стойками позволило заметно уменьшить буксование трактора и удельный расход топлива и, соответственно, увеличить скорость движения и производительность агрегата [9]. При этом, однако, следует иметь в виду, что в представленном в публикации [9] опыте участвовали дискаторы с четырехрядным и двухрядным расположением дисков. В связи с этим, не вполне

ясно, что стало основной причиной фиксации лучших показателей – конструкция стоек, пространственное расположение дисков или варьирование величины удельного давления на каждый из них (либо весь комплекс конструктивных различий в совокупности).

Совершенствование дисковых орудий для работы в междурядьях многолетних насаждений. Дисковые орудия традиционно используются при уходе за садами, виноградниками и ягодниками [10, 11]. Накапливается опыт использования для этой цели и дискаторов [3]. Работоспособность таких орудий в условиях междурядной обработки не вызывает сомнения, о чем свидетельствует, в частности, французский опыт. Проблема выбора компоновочного решения связана с ценой орудия. Как было показано выше, дискатор в несколько раз дороже дисковой бороны традиционной компоновки (рисунок). В условиях небольшого фермерского хозяйства ягодоводческой специализации последнее обстоятельство может стать доминирующим при принятии решения о приобретении той или иной машины.



1 – батарея дисков передняя; 2 – батарея дисков задняя; 3 – лента отбрасываемой диском почвы; 4 – щиток отбойный; 5 – почва после контакта с отбойным щитком

Рисунок – Схема модернизации дисковой бороны:

Главной проблемой, связанной с обработкой почвы в ягодниках, стал ее вынос крайними дисками за пределы междурядья и формирование почвенных валов вдоль оснований кустов. На начальном этапе исследований (рисунок) была принята концепция возврата почвы, отброшенной крайним правым диском передней батареи 1, в направление середины междурядья, посредством ее захвата крайним правым диском задней батареи 2. Для этого до соответствующей величины Δb был увеличен вынос последней вправо по отношению к передней батарее 1.

Практическое использование модернизированной таким образом бороны показало, что при повышенной влажности почвы дальность ее отброса резко увеличивается за счет того, что она формирует стабильную ленту значительной длины (превышающей Δb) прежде чем последняя разрушается на отдельные фрагменты и падает на поверхность междурядья. В результате глубокого изучения механизма перераспределения почвы по ширине междурядья был сформулирован алгоритм решения проблемы и найдено его техническое воплощение [2, 12, 13]. Оно заключается в снабжении крайнего правого диска передней батареи 1 бороны отбойным щитком 4, установленным под оптимальными углами наклона в продольном и поперечном (угол α) направлениях. Величина указанных углов была установлена в результате математического моделирования процесса движения и схода почвы с диска [12].

При формировании отбрасываемой ленты почвы 3 она достигает поверхности щитка 4 и взаимодействует с ней под углом, меньшим угла трения почвы по металлу. Вследствие этого происходит поперечное отклонение ленты 3 и ее излом по направлению наименьшего сопротивления. После этого фрагментированная почва 5 падает в пределах ширины захвата дисков задней батареи 2. Вследствие этого заброс почвы внутрь ряда ягодных растений и образование почвенных валов вдоль оснований кустов исключаются [14].

Заключение. Модернизированная дисковая борона использовалась в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» (Брянская область) для обработки междурядий малины и смородины на протяжении всего срока эксплуатации плантации площадью 5 га от момента ее посадки и до ликвидации, то есть в течение десяти лет. При этом удавалось поддерживать выровненным поперечный профиль поверхности междурядий и не допускать появления характерных для использования серийных дисковых борон почвенных валов вдоль основания кустов. Это способствует созданию агрофона, приемлемого для эффективного использования ягодоуборочных комбайнов.

Список литературы

1. Дискатор – незаменимое орудие труда для сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: http://mastertraktor.ru/selxoztexnika/pochvoobrabotka/diskator.html (дата обращения 04.09.2020).

2. Патент РФ № 2344586, МПК[7] A01B 5/00, A01B 7/00. Приспособление к дисковому почвообрабатывающему орудию / Ожерельев В.Н., Никитин В.В. – Опубл. 27.01.2009. – Бюл. №3.

3. Петров В.С. и др.; ред.: Э.В. Макарова. Дискаторы для обработки почвы в многолетних насаждениях (монография) – Краснодар: Изд-во СКЗНИИСиВ, 2011. – 21 с.

4. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин – Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ие), 1977. – 528 с.

5. Сохт К.А., Трубилин Е.И., Коновалов В.И. Дисковые бороны и лущильники. Проектирование технологических параметров: учебное пособие – Краснодар: Изд-во Кубанского ГАУ, 2014. – 165 с.

6. Классификация дисковых борон (дискаторов) [Электронный ресурс]. URL: https://agristo.ru/Article/ar_klassif_disk_boron.html (дата обращения 04.09.2020).

7. Дисковые Бороны БДМ дискаторы в Брянске [Электронный ресурс] URL: https://bryansk.tiu.ru/Diskovye-borony-bdm-diskatory.html (дата обращения 04.09.2020).

8. Припоров Е.В., Глобенко Д.С. Сравнительный анализ дисковых орудий // Теория и практика современной аграрной науки: Сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирский государственный аграрный университет. – Новосибирск: Изд-во ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – С.83 – 86.

9. Припоров Е.В., Юдт В.Ю. Анализ дисковых орудий с четырехрядным расположением сферических дисков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 118 (04). – С. 1413 – 1427.

10. Аниферов Ф.Е., Ерошенко Л.И., Теплинский И.З. Машины для садоводства. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 304 с.

11. Бартенев В.Д., Хабаров С.Н. Комплексная механизация возделывания насаждений ягодников и облепихи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 7 (81). – С. 96 – 98.

12. Никитин В.В. Улучшение качества обработки междурядий ягодных кустарников в условиях суглинистых почв повышенной влажности путем совершенствования конструктивно-режимных параметров дисковой бороны: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 – Брянск, 2009. – 165 с.

13. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Управление перераспределением почвы по ширине междурядья малины. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 4. – С. 13 – 15.

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

References

1. Diskator – nezamenimoe orudie truda dlja sel'skogo hozjajstva [Jelektronnyj resurs]. URL: http://mastertraktor.ru/selxoztexnika/pochvoobrabotka/diskator.html (data obrashhenija 04.09.2020).

2. Patent RF № 2344586, MPK7 A01B 5/00, A01B 7/00. Prisposoblenie k diskovomu pochvoobrabatyvajushhemu orudiju / Ozherel'ev V.N., Nikitin V.V. – Opubl. 27.01.2009. – Bjul. №3.

3. Petrov V.S. i dr.; red.: Je.V. Makarova. Diskatory dlja obrabotki pochvy v mnogoletnih nasazhdenijah (monografija) – Krasnodar: Izd-vo SKZNIISiV, 2011. – 21 s.

4. Lur'e A.B., Grombchevskij A.A. Raschet i konstruirovanie sel'skohozjajstvennyh mashin – L.: «Mashinostroenie» (Leningr. otd-ie), 1977. – 528 s.

5. Soht K.A., Trubilin E.I., Konovalov V.I. Diskovye borony i lushhil'niki. Proektirovanie tehnologicheskih parametrov: uchebnoe posobie – Krasnodar: Izd-vo Kubanskogo GAU, 2014. – 165 s.

6. Klassifikacija diskovyh boron (diskatorov) [Jelektronnyj resurs]. URL: https://agristo.ru/Article/ar_klassif_disk_boron.html (data obrashhenija 04.09.2020).

7. Diskovye Borony BDM diskatory v Brjanske [Jelektronnyj resurs] URL: https://bryansk.tiu.ru/Diskovye-borony-bdm-diskatory.html (data obrashhenija 04.09.2020).

8. Priporov E.V., Globenko D.S. Sravnitel'nyj analiz diskovyh orudij // Teorija i praktika sovremennoj agrarnoj nauki: Sbornik III nacional'noj (vserossijskoj) nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – Novosibirsk: Izd-vo IC NGAU «Zolotoj kolos», 2020. – S.83 – 86.

9. Priporov E.V., Judt V.Ju. Analiz diskovyh orudij s chetyrehrjadnym raspolozheniem sfericheskih diskov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 118 (04). – S. 1413 – 1427.

10. Aniferov F.E., Eroshenko L.I., Teplinskij I.Z. Mashiny dlja sadovodstva. – L.: Agropromizdat. Leningr. otd-nie, 1990. – 304 s.

11. Bartenev V.D., Habarov S.N. Kompleksnaja mehanizacija vozdelyvanija nasazhdenij jagodnikov i oblepihi // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 7 (81). – S. 96 – 98.

12. Nikitin V.V. Uluchshenie kachestva obrabotki mezhdurjadij jagodnyh kustarnikov v uslovijah suglinistyh pochv povyshennoj vlazhnosti putem sovershenstvovanija konstruktivno-rezhimnyh parametrov diskovoj borony: dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.01 – Brjansk, 2009. – 165 s.

13. Ozherel'ev V.N., Nikitin V.V. Upravlenie pereraspredeleniem pochvy po shirine mezhdurjad'ja maliny. // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2011. – № 4. – S. 13 – 15.

14. Ozherel'ev V.N. Tehnologicheskie processy i sredstva mehanizacii proizvodstva jagod maliny: diss. … dokt. s.-h. nauk: 05.20.01 – Brjansk, 2001. – 312 s.

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. Брянск, e-mail: vicoz@bk.ru.

Никитин Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, г. Брянск, e-mail:viktor.nike@yandex.ru.

Гринь Александр Михайлович – кандидат экономических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, г. Брянск, e-mail: grin-970@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Ozherelyev Victor – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Agrarian University”, Russia, Bryansk, e-mail: vicoz@bk.ru.

Nikitin Victor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Agrarian University”, Russia, Bryansk, e-mail: viktor.nike@yandex.ru.

Grin Alexander – Candidate of economic sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Agrarian University”, Russia, Bryansk, e-mail: grin-970@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 18.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2020

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-12-18

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЕКЛОВИЧНЫХ СЕЯЛОК

[1]Башкирев Анатолий Петрович
[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Пашин Евгений Алексеевич
[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Реферат. *Пунктирный посев семян сахарной свеклы осуществляется свекловичными сеялками, применение к которым специальных приспособлений, позволяет расширить список высеваемых культур. Изучали особенности функционирования свекловичных сеялок СТП–12 «Ритм», СПЧ-6, и ССТ-12, ССТ-8, СТВ-12 «Полесье», их конструктивные особенности, технологический процесс посева семян. Исследования проводились в Курской области, с использованием общепринятых методических рекомендаций. Выявили условия, требуемые для проведения посевных работ: среднесуточная температура на глубине 100 мм около 5 – 6 °С; погрешность по нормам высева семян до 5 %, пневматическими сеялками – не более 1 %; допустимые отклонения по глубине посева ± 10 мм; равномерность посева семян по длине рядка – 60 – 70 %. Установили, что для качественного посева необходимо соблюдение значений оптимальной глубины посадки, прямолинейности высеваемых рядков, проведение работ по посеву семян непосредственно во влажный слой почвы, применение посевного материала определенной фракции, соответствующей установленному на сеялку диску, их шлифование и дражирование, использование наиболее подходящих сортов или гибридов. Анализ характеристик свекловичных сеялок позволил установить параметры регулировки рабочих органов. Изучение технических характеристик сеялок позволило выявить, что максимальная ширина захвата наблюдается у СТП 12 «Ритм», а наибольшая производительность характерна для СТВ-12 «Полесье». Для получения качественных результатов при сборе урожая, необходимо использовать семенной материал с высокой всхожестью, соблюдать рекомендации по проведению посевных работ в конкретных условиях с учетом агротехнических требований.*

Ключевые слова: *пунктирный посев, свекловичная сеялка, регулировка, семена, урожай.*

PECULIARITIES OF FUNCTIONING OF SUGAR BEET PLANTERS

[1]Bashkirev Anatoly
[1]Schwartz Anatoly
[1]Pashin Evgeniy
[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract. *Dotted sowing of sugar beet seeds is carried out with beet seeders, the use of special devices to which, allows you to expand the list of sown crops. The peculiarities of functioning of the beet seeders STP–12 "Ritm", SPCh-6, ISST-12, SST-8, STV-12 "Polesie", their design features, the technological process of sowing seeds were studied. The research was carried out in the Kursk region, using generally accepted guidelines. The conditions required for sowing were identified: the average daily temperature at a depth of 100 mm is about 5–6 °C; error in seeding rates up to 5 %, pneumatic seeders - no more than 1 %; permissible deviations in sowing depth - ± 10 mm; uniformity of sowing seeds along the length of the row – 60 – 70 %. It was found that for high-quality sowing, it is necessary to observe the values of the optimal planting depth, the straightness of the sown rows, carry out work on sowing seeds directly into the moist soil layer, the use of seed of a certain fraction corresponding to the disk installed on the seeder, their grinding and pelleting, the use of the most suitable varieties or hybrids. Analysis of the characteristics of sugar beet seeders made it possible to set the parameters for adjusting the working bodies. The study of the technical characteristics of seeders made it possible to reveal that the maximum working width is observed in STP 12 "Ritm", and the highest productivity is characteristic of STV-12 "Polesie". To obtain high-quality results when harvesting, it is necessary to use seed material*

with high germination, to follow the recommendations for sowing in specific conditions, taking into account agrotechnical requirements.

Keywords: *dotted seeding, beet seeder, adjustment, the seeds, the harvest.*

Введение. Свекловичная сеялка позволяет осуществлять точный пунктирный посев. Ее рабочий процесс реализован следующим образом. В рабочем режиме сеялки, семена, которые находятся в специальном бункере, перемещаются к ячейкам, расположенным на высевающем диске, установленном с учетом используемой фракции семян [1, 2]. Диск переносит их к ролику, который отодвигает лишние семена с его поверхности, таким образом, чтобы в каждую ячейку попадало только одно семя. Затем, вращаясь, он переносит их в нижнюю часть к выталкивателю клиновидного типа, который сбрасывает семена в борозду, образованную сошником сеялки [3].

Для посева применяются модели пневматического и механического типа. К пневматическим сеялкам относят отечественную СТП–12 «Ритм–1МТ», белорусскую СТВ–12 «Полесье» и СПЧ–6, к механическим – серии ССТ 12 и др. Свекловичные сеялки способны обеспечить высокое качество посева, используя в качестве семенного материала дражированные и недражированные семена [4, 5, 6].

СТВС–12М – пневматического типа. Она применяется для точного высева, на высоких скоростях движения во время проведения работ [7].

Наиболее распространенными свекловичными сеялками являются модели серии ССТ–8. Их рабочая ширина междурядий составляет 600 мм. Они используются в зонах с повышенным увлажнением. ССТ–12 имеет ширину междурядий 450 или 700 мм. Она построена на раме односекционного типа, которая имеет опору на приводные колеса. На ней расположены аппараты для внесения удобрений с тукопроводами, и другие рабочие органы сеялки [8, 9].

2СТСН–6А, построена из двух СТСН–6А, предусматривающих работу на шести рядах. Каждая из них имеет свои рамы, опирающиеся на колеса. К ним закреплены секции обеспечивающие посев, механизмы для внесения удобрений, с тукопроводами и маркеры.

Секции для осуществления посева включают: бункер, в котором располагаются семена, высевающий аппарат, сошники, механизм привода, прикатывающее устройство, устройство регулировки хода сошника по глубине, загортач и шлейф.

Применяется посевной материал двух типов фракций: диаметром 3,5–4,5 мм и 4,5–5,5 мм. Подготовка семян производится на семенных заводах, где производят калибровку, сортировку, шлифовку и дражирование. Так же при их подготовке необходимо провести процедуры протравливания против болезней, обогащения полезными питательными веществами [10].

Дражирование представляет собой покрытие семян питательной оболочкой, которая придает им шаровидную форму, а так же защищает семена от внешних воздействий.

Процесс дражирования делится на этапы подготовки семян к данной процедуре, подготовку компонентов, и сам процесс покрытия семян защитной питательной оболочкой. Затем производится калибрование, семена просушивают, после чего их расфасовывают.

Сахарная свекла может быть разделена на три группы по процентному содержанию сахаристости сорта. Первая группа – это урожайные сорта, их сахаристость может достигать 16 %. Они обладают высокой урожайностью, но самым низким показателем сахаристости из всех сортов, из–за чего их используют как корм для скота. Ко второй группе относят урожайно–сахаристые сорта. Содержание сахара у таких сортов составляет 18 % и они имеют средние показатели урожайности. Группа с самым высоким процентом сахаристости, значение которого достигает 21 % имеет самый низкий коэффициент урожайности из представленных, в результате чего такую свеклу практически не используют в качестве корма [11, 12].

Материалы и методы. Для проведения исследований особенностей функционирования свекловичных сеялок, следует рассмотреть требования к условиям проведения посевных работ.

Необходимо соблюдение ряда условий, среди которых, своевременность проведения работ по посеву семян сахарной свеклы, которые должны быть произведены в сжатые сроки, установленные для высеваемой культуры или условий работы в конкретной местности. Среднесуточная температура на глубине 100 мм при посеве сахарной свеклы должна быть около 5–6 °С.

При проведении сельскохозяйственных работ механическими сеялками допускается погрешность между заданной и полученной в результате работ нормой высева семян до 5 %, пневматическими – не более 1 %. Значения допустимых отклонений по глубине посева допускается на ±10 мм.

Процентное значение равномерности посева семян по длине рядка составляет 60–70 %. Ширина основных междурядий не должна отклоняться более чем на ±10 мм, стыковых – ±50 мм. Осевая линия ряда на протяжении 50 м должна иметь отклонение не более 50 мм.

Важное значение в разработке посевной и посадочной техники имеет локальная унификация высевающих аппаратов. Свекловичные сеялки проектировались с учетом необходимости проведения различных работ, с использованием минимальных временных и денежных затрат. На таких агрегатах может быть предусмотрено внесение минеральных удобрений, во время посева семян. Они могут производить посев различных культур, подходящих для фракций поддерживаемых высевающими дисками.

Сеялки серий ССТ–8 и ССТ–12 имеют аналогичные конструкции. Отличия заключаются в количестве установленных посевных секций и аппаратов для внесения удобрений. Ширина междурядий может быть установлена на несколько предусмотренных их конструктивом значений. При необходимости, сеялка может быть переоборудована, например из 12–рядной в 8–рядную.

3СТСН–6А и 2СТСН–6А, составлены из трех и двух СТСН–6А соответственно. Такое комплектование свекловичной сеялки позволяет расширить возможности проведения работ, в зависимости от поставленных задач и имеющихся условий.

Результаты и их обсуждение. В результате сравнительного исследования нами установлены параметры регулировки, рассмотрены характеристики свекловичных сеялок. Представленные модели различаются рядом характеристик, могут иметь возможность переоборудования, комплектоваться дополнительными специальными механизмами, имеют особенности настройки и регулировки, различия в значениях рабочей скорости и глубины заделки семян. На скорость выполнения работ также влияет рабочая ширина захвата и, соответственно, показатель производительности.

На рисунке 1 представлены значения рабочей ширины захвата для рассматриваемых моделей свекловичных сеялок.

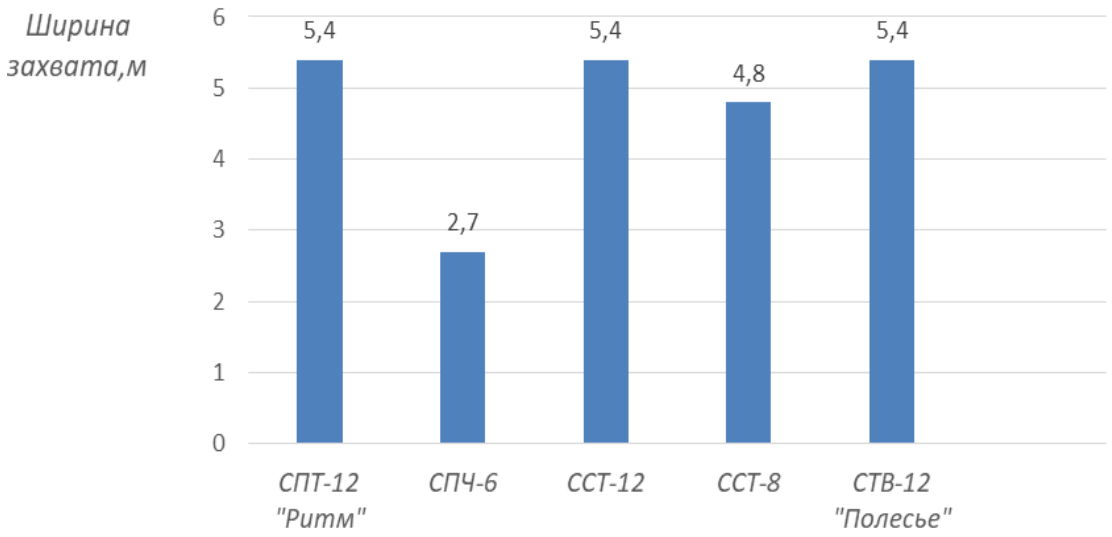


Рисунок 1 – Рабочая ширина захвата для исследуемых моделей сеялок

При ширине междурядья 45см и 12 рабочих рябков посева сеяки имеют одинаковую ширину захвата- 5,4 м. Производительность исследуемых моделей проиллюстрирована на рисунке 2.

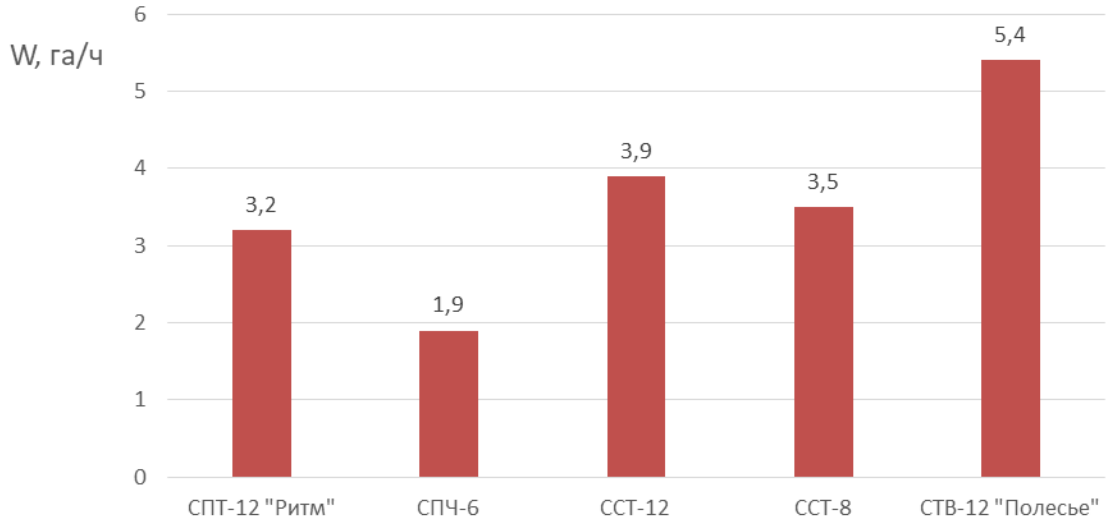


Рисунок 2 – Значение часовой производительности
для исследуемых моделей свекловичных сеялок

Анализ показывает, что наиболее приемлема для условий Курской области по производительности сеялка СТВ-12 «Полесье». Значения параметра глубины посева для свекловичных сеялок моделей СТП–12 «Ритм–1МТ», СПЧ–6,ССТ–12, ССТ–8 и СТВ–12 «Полесье» рассмотрены на рисунке 3.

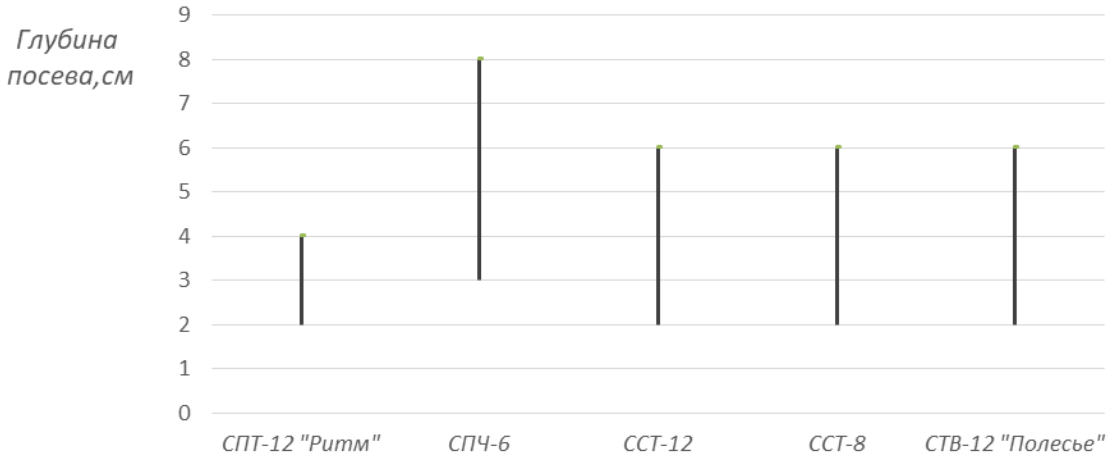


Рисунок 3 – Значения параметра глубины посева для свекловичных сеялок

Современные сеялки точного высева в условиях Курской области настраиваются на глубину посева 2,5…3см, что позволяет получить дружные всходы за 5-7 дней и в итоге получить запланированный урожай корнеплодов.

СТП–12 «Ритм–1МТ» – свекловичная сеялка, имеющая 12–рядную конструкцию. Применяется для точного высева калиброванных семян свеклы, кукурузы и подсолнечника. Она распределяет семенной материал на одиночные семена для пунктирного посева.

Пневматическая сеялка СПЧ–6 предназначена для точного высева семян пропашных культур: свеклы, кукурузы, подсолнечника и др. При дооснащении специальными механизмами, возможно внесение, во время посева, гранулированных минеральных удобрений.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика технических параметров сеялок СТП–12 «Ритм–1МТ» и СПЧ–6.

Таблица 1 – Технические характеристики сеялок СТП–12 «Ритм–1МТ» и СПЧ–6

Показатели	СТП–12 «Ритм–1МТ»	СПЧ–6
Рабочая скорость, км/ч	6–9	5–10
Количество высеваемых рыдов, шт.	12	6
Норма высева семян, шт на 1 п.м	5–10	5–10
Рабочая ширина захвата, м	5,4	2,7
Ширина междурядья, см	45	70, 60, 50, 45
Производительность, га/ч	3,2	1,9–4,2
Глубина заделки семян, см	2–4	3–8

Сеялки серии ССТ–12 предназначены для посева пунктирным способом семян сахарной свеклы, гречки, сои, проса и др. с одновременным внесением удобрений.

Сеялка ССТ 8 аналогична сеялке ССТ–12, но предназначена для работы в зонах повышенного увлажнения, может быть переоборудована в 12–рядную.

СТВ–12 «Полесье» – пневматическая свекловичная сеялка белорусского производства. Имеет 12–рядную рабочую секцию. Она способна реализовать посев с высоким качеством, за счет отсутствия повреждений семян и высокой точности.

Технические характеристики сеялок ССТ–8 и СТВ–12 «Полесье» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики свекловичных сеялок серий ССТ–12В, ССТ–8 и СТВ–12 «Полесье»

Показатели	ССТ–12В	ССТ–8	СТВ–12 «Полесье»
Рабочая скорость, км/ч	3,6–7,2	3,6–7,2	До 15
Количество высеваемых рядов,шт.	12	8	12
Норма высева семян, шт на 1 п.м	6–18	6–18	5,2–14,8
Рабочая ширина захвата, м	5,4	4,8	5,4
Расстояние между рядами, см	45	60	45
Часовая производительность, га/ч	3,9	3,5	5,4
Глубина заделки семян, см	2–6	2–6	2–6

Заключение. Таким образом, при проведении посевных работ необходимо соблюдение значений оптимальной глубины посева сахарной свеклы, прямолинейности высеваемых рядков, посев непосредственно во влажный слой почвы, применение семян сахарной свеклы определенной фракции, соответствующей установленному на сеялку диску, их обработка, то есть: шлифование и дражирование, использование наиболее подходящих сортов или гибридов. Соблюдение ряда условий и требований к посеву свекловичными сеялками, позволит избежать прерывистости и изреженности всходов и получить урожай высокого качества.

Список литературы

1. Кухмазов К.З., Зябиров А.И., Цибизов Е.К. Результаты исследований экспериментального сошника свекловичной сеялки // Нива Поволжья. – 2017. – № 4 (45). – С. 164–169.

2. Шварц А.А., Шварц С.А. Повышение эффективности аппаратов точного высева мелкосеменных культур // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 9. – С. 104–110.

3. Бартенев И.И. Средства механизации для интенсивного семеноводства сахарной свеклы // Сельский механизатор. – 2018. – №6. – С. 14–15.

4. Сеялки для тракторов. Виды и технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: https://traktoramtz.com/navesnoe–oborudovanie/seyalki.html (дата обращения 15.04.2020).

5. Святова О.В. Стратегия развития отечественного свекловичного семеноводства. Основа экономической независимости свеклосахарного подкомплекса АПК РФ // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1. – С. 36–43.

6. Описание свекловичной сеялки [Электронный ресурс]. URL: http://tractor–server.ru/sveklovichnaya–seyalka/ (дата обращения 22.04.2020).

7. Свекловичные сеялки [Электронный ресурс]. URL: https://sinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_2/713–selskohozaistvennie_mashini_2004/149.htm (дата обращения 18.04.2020).

8. Бутяйкин В.В., Борисов В.И., Истихин С.В. Повышение эффективности свекловодства // Сельский механизатор. – 2018. – №1. – С. 16–18.

9. Сеялки для посева пропашных культур [Электронный ресурс]. URL: https://helpiks.org/7–60934.html (дата обращения 22.04.2020).

10. Воропаев А.В. Экономическая эффективность применения импортной техники на посеве сахарной свеклы // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 3 – С. 32–37.

11. Сеялки зерновые. Виды, характеристики, популярные модели [Электронный ресурс]. URL: https://mtz–80.ru/bez–rubriki/seyalki–zernovye–vidy–harakteristiki–populyarnye–modeli (дата обращения 17.04.2020).

12. Свекловичные и кукурузные сеялки [Электронный ресурс]. URL: https://lektsia.com/3x4ad8.html (дата обращения 16.04.2020).

References

1. Kuhmazov K.Z., Zjabirov A.I., Cibizov E.K. Rezul'taty issledovanij jeksperimental'nogo soshnika sveklovichnoj sejalki // Niva Povolzh'ja. – 2017. – № 4 (45). – S. 164–169.

2. Shvarc A.A., Shvarc S.A. Povyshenie jeffektivnosti apparatov tochnogo vyseva melkosemennyh kul'tur // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2015. – № 9. – S. 104–110.

3. Bartenev I.I. Sredstva mehanizacii dlja intensivnogo semenovodstva saharnoj svekly // Sel'skij mehanizator. – 2018. – №6. – S. 14–15.

4. Sejalki dlja traktorov. Vidy i tehnicheskie harakteristiki [Jelektronnyj resurs]. URL: https://traktoramtz.com/navesnoe–oborudovanie/seyalki.html (data obrashhenija 15.04.2020).

5. Svjatova O.V. Strategija razvitija otechestvennogo sveklovichnogo semenovodstva. Osnova jekonomicheskoj nezavisimosti sveklosaharnogo podkompleksa APK RF // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2009. – № 1. – S. 36–43.

6. Opisanie sveklovichnoj sejalki [Jelektronnyj resurs]. URL: http://tractor–server.ru/sveklovichnaya–seyalka/ (data obrashhenija 22.04.2020).

7. Sveklovichnye sejalki [Jelektronnyj resurs]. URL: https://sinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_2/713–selskohozaistvennie_mashini_2004/149.htm (data obrashhenija 18.04.2020).

8. Butjajkin V.V., Borisov V.I., Istihin S.V. Povyshenie jeffektivnosti sveklovodstva // Sel'skij mehanizator. – 2018. – №1. – S. 16–18.

9. Sejalki dlja poseva propashnyh kul'tur [Jelektronnyj resurs]. URL: https://helpiks.org/7–60934.html (data obrashhenija 22.04.2020).

10. Voropaev A.V. Jekonomicheskaja jeffektivnost' primenenija importnoj tehniki na poseve saharnoj svekly // Vestnik Brjanskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2009. – № 3 – S. 32–37.

11. Sejalki zernovye. Vidy, harakteristiki, populjarnye modeli [Jelektronnyj resurs]. URL: https://mtz–80.ru/bez–rubriki/seyalki–zernovye–vidy–harakteristiki–populyarnye–modeli (data obrashhenija 17.04.2020).

12. Sveklovichnye i kukuruznye sejalki [Jelektronnyj resurs]. URL: https://lektsia.com/3x4ad8.html (data obrashhenija 16.04.2020).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Башкирев Анатолий Петрович – доктор технических наук, профессор Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: tmv46@mail.ru.

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

Пашин Евгений Алексеевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: pashin6@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

Bashkirev Anatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: tmv46@mail.ru.

Shvarts Anatoly Adolfovich – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Pashin Evgeniy – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: pashin6@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 31.08.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2020

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-18-24

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЕКЛОВИЧНОЙ СЕЯЛКИ

[1]Башкирев Анатолий Петрович
[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Пашин Евгений Алексеевич

[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Реферат. *Основными задачами при подготовке почвы к посеву семян сахарной свеклы, являются: подготовка выровненной поверхности, для благоприятного развития семян и прорастания всходов, почвенный слой в зоне роста растений должен обеспечивать хороший дренаж и быть неуплотненным. Проанализирован принцип построения и технические характеристики свекловичной сеялки СТП–12 «Ритм–1М». Исследования проводились в хозяйствах Курской области. Дано методическое обоснование проведенных экспериментальных исследований. В результате проведения экспериментальных исследований свекловичной сеялки сформирована сравнительная характеристика теоретических значений и результатов, полученных в ходе проведенных испытаний. В результате проведения эксперимента, было выявлено, что 78 % (75 % теоретически) высаженных семян располагались в пределах допустимой глубины посадки. Производительность за 1 час основного времени, на 1 м ширины захвата для сеялки с 12–рядной рабочей секцией составила 0,7 га/ч. (0,6 ± 0,1 га/ч по табличным техническим характеристикам). Фактические значения для пяти режимов установки нормы высева, при проведении эксперимента, соответствовали установленным (6 – 15 шт.). Расхождение между приведенными значениями, обусловлено погрешностью измерений, особенностью условий проведения работ, а также индивидуальными особенностями технического состояния используемой свекловичной сеялки. Лучшим соотношением воды и воздуха в почве для семян сахарной свеклы является 1:1. Некапиллярная пористость для имеющихся условий во время проведения испытаний, с учетом уровня ее влажности, близкой к 25 %, составит от 10 до 30 %.*

Ключевые слова: *пневматическая сеялка, сахарная свекла, точный высев, семена, посевные работы.*

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF BEET SEEDER

[1]Bashkirev Anatoly
[1]Schwartz Anatoly
[1]Pashin Evgeniy

[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract. *It was found that for high-quality sowing, it is necessary to observe the values of the optimal planting depth, the straightness of the sown rows, carry out work on sowing seeds directly into the moist soil layer, the use of seed of a certain fraction corresponding to the disk installed on the seeder, their grinding and pelleting, the use of the most suitable varieties or hybrids. The design principle and technical characteristics of the STP-12 "Ritm-1M" sugar beet seeder are analyzed. The research was carried out in the farms of the Kursk region. The methodological substantiation of the conducted experimental studies is given. As a result of experimental studies of the sugar beet seeder, a comparative characteristic of the theoretical values and the results obtained during the tests was formed. As a result of the experiment, it was found that 78 % (75 % theoretically) of the planted seeds were located within the permissible planting depth. Productivity for 1 hour of main time, per 1 m of working width for a seeder with a 12-row working section was 0.7 ha/h. (0.6 ± 0.1 ha/h according to tabular technical characteristics). The actual values for five modes of setting the seeding rate, during the experiment, corresponded to the established ones (6 -15 pcs.). The discrepancy between the given values is due to the measurement error, the peculiarity of the working conditions, as well as the individual characteristics of the technical condition of the used beet seeder. The best ratio of water to air in soil for sugar beet seeds is 1:1. The non-capillary porosity for the existing conditions during the tests, taking into account the level of its moisture content close to 25 %, will be from 10 to 30 %.*

Keywords: *pneumatic seeder, sugar beet, precise seeding, seeds, sowing operations.*

Введение. При посеве семян сахарной свеклы необходимо принимать во внимание различные факторы, влияющие на итоговые результаты. Используют районированные сорта, которые могут быть односемянными или многосемянными. По внешнему виду их можно разделить на имеющие форму шара, пирамиды, многогранника и чечевицеобразную форму [1]. Диаметр таких семян может быть от 1,5 до 6 мм. Для многосемянных сортов характерен больший размер, чем для односемянных. Существуют различные способы подготовки семян. Большое значение для посева имеет правильный подбор сортов и гибридов семенного материала [2, 3].

Глубина заделки может оказывать существенное влияние на полевую всхожесть. Агрофизические свойства почвы определяют глубину посадки, так как семенам необходимо во время роста преодолеть почвенный слой над ними. На черноземах с благоприятными метеорологическими условиями, глубина 50 – 60 мм является оптимальной для полевой всхожести 65 %. На дерново–подзолистых почвах с достаточным увлажнением, такая всхожесть может быть достигнута при заделке на 20 – 30 мм [4].

Используя семена сахарной свеклы высокого качества, имеющие всхожесть в лабораторных условиях более 85 %, можно довести полевую всхожесть до 70 % и более.

Необходимо обеспечить растения питательными веществами. Оптимальные воздушный и температурный режимы, на территории где производится посев, также способствуют высоким показателям итогового урожая [5, 6].

Недостаток аэрации почвы может существенно влиять на семена сахарной свеклы, может задерживаться процесс прорастания, а также возможно прекращение их роста.

Семена, потребляя влагу, набухают, образуется листовой аппарат, формируется корневая система, но основная часть влаги идет на транспирацию. Свекла относительно устойчива к засухе, но при недостатке влаги ее продуктивность может быть снижена.

Существенное влияние на процесс роста сахарной свеклы оказывает структурное строение почвы. Почвенный слой с водопрочной структурой, способствует сохранять после завершения обработки относительно рыхлое строение. Оно позволяет пропускать воздух и влагу, не образует сухой корки и позволяет снизить потери влаги от испарений. Строение почвы должно быть таким, чтобы обеспечивалось хорошее взаимодействие между семенами и почвой. Оптимальная плотность почвы, ее мелкокомковатое строение, позволят получить полные и дружные всходы, корнеплоды правильной формы, развитую корневую систему, что повысит урожай высеваемой культуры [7].

Грамотное распределение севооборотов, оптимальная система обработки почвы, уход и удобрение, внесение полимеров, улучшают состояние структурно–агрегатного строения почвы. Твердая почва с излишней плотностью негативно скажется на формировании корнеплодов и начальный рост растений, что может отрицательно повлиять на итоговую урожайность [8, 9].

Основными задачами при подготовке почвы к посеву семян сахарной свеклы, являются: подготовка выровненной поверхности, для благоприятного развития семян и прорастания всходов, почвенный слой в зоне роста растений должен обеспечивать хороший дренаж и быть неуплотненным [10].

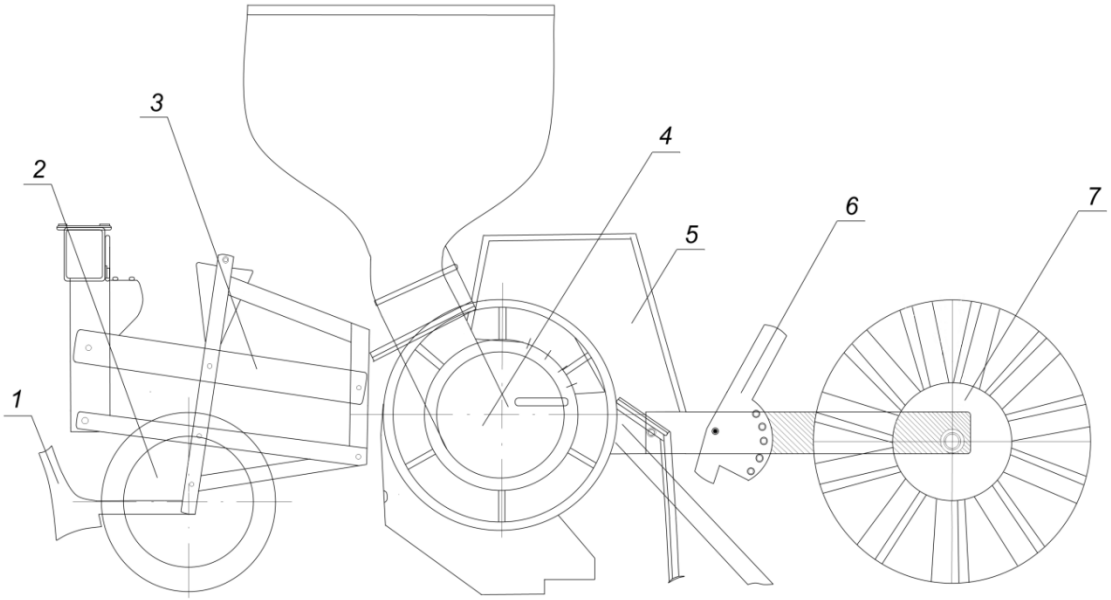
Материалы и методы. Для проведения исследований, необходимо проанализировать принцип построения и технические характеристики свекловичной сеялки СТП–12 «Ритм–1М».

Данная сеялка имеет рабочую секцию на 12 рядов и комплектуется высевающими дисками для посева семян, а также сошниками для сахарной свеклы и пропашных культур, рисунок 1.

Представленная в работе модель свекловичной сеялки производит посев со скоростью до 9 км/ч. Норма высева семян может быть установлена в пределах от 3 до 15 шт. на 1 п.м.

Благодаря 12–рядной конструкции, рабочая ширина захвата составляет 8,4 м, что положительно сказывается на показателе общей производительности агрегата, позволяя захватывать рабочую поверхность большей величины за один проход сеялки. Расстояние между рядами, которые формируют рабочие секции, составляет 70 см.

Глубина заделки семенного материала, обеспечиваемая данной свекловичной сеялкой, изменяется от 2 до 6 см.



1 – плуг комкоудалитель; 2 – уплотняющее колесо; 3 – параллелограмная подвеска;
4 – подпружиненная крышка; 5 – дозатор с бункером для семян;
6 – рычаг регулировки давления прикатывающего устройства; 7 – прикатывающее устройство.

Рисунок 1– Высевающий аппарат свекловичной сеялки СТП–12 «Ритм–1М»

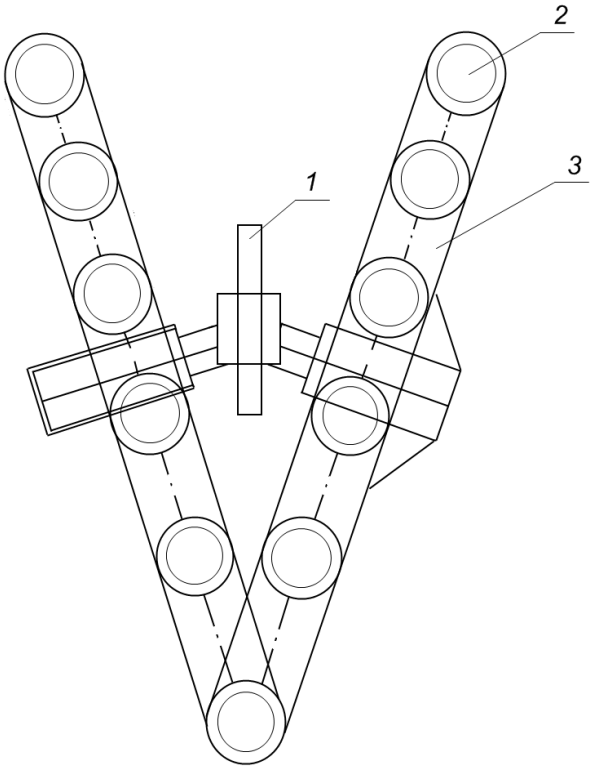
Высевающий аппарат может комплектоваться прикатывающим устройством дискового или пальцевого типа.

Пальцевое прикатывающее устройство с прикатывающими колесами, расположенными под углом друг к другу, производит уплотнение почвы пунктирным способом вокруг семян и обеспечивает прижатие засыпанных почвой семян в рядке, что способствует подтягиванию влаги из нижних слоев почвенного слоя для ускорения их прорастания. По мере вращения прикатывающего устройства, уплотняющие пальцы поочередно заполняют межпалечное пространство соседнего диска, прикатывая почву с достаточно высокой частотой.

Дисковое прикатывающее устройство обеспечивает сплошное уплотнение в области соприкосновения дисков с землей.

Свекловичная сеялка СТП–12 «Ритм–1М» может использоваться на многих видах почв. Ее устройство позволяет производить настройку силы давления колес на рабочую поверхность, которая осуществляется в переключении рычага с его фиксацией скобой в одном из пяти положений, для натяжения пружины.

Прикатывающее устройство с колесами дискового типа применяется в основном при посеве кукурузы и подсолнечника, а также в условиях, где мелкие камни могут забиваться в межпалечное пространство пальцевого прикатывающего устройства, рисунок 2.



1 – основание прикатывающего устройства; 2 – палец прикатывающего колеса;
3 – прикатывающее колесо.

Рисунок 2 – Пальцевое прикатывающее устройство

Необходимо провести экспериментальные исследования качества заделки семян сахарной свеклы сеялкой СТП–12 «Ритм–1М» на заданную глубину, производительности за 1 час основного времени, на 1м ширины захвата, сравнить заданную норму высева и полученную в ходе эксперимента, а также определить оптимальную воздухоемкость почвы для посева сахарной свеклы в условиях проведения работ.

Результаты и их обсуждение. В результате исследования, нами был проведен анализ конструкции, характеристик, технологического процесса и основных регулировок свекловичной сеялки СТП–12 «Ритм–1М». Исследования проводились в хозяйствах Курской области.

Представленная пневматическая сеялка предназначена для точного высева. Она производит распределение массы семян на одиночные, для посева пунктирным способом.

Агротехнические требования подразумевают соответствие фактической глубины посева семян сахарной свеклы к установленной регулировочными параметрами – не менее 75 %. В результате проведения эксперимента, было выявлено, что 78 % высаженных семян располагались в пределах допустимой глубины посадки.

Производительность за 1 час основного времени, на 1 м ширины захвата для сеялки СТП–12 «Ритм–1М» с 12–рядной рабочей секцией, в соответствии с таблицей технических характеристик

изделия, должна составлять 0,6 ± 0,1 га/ч. В ходе проведения работ, данный параметр производительности составил 0,7 га/ч.

Теоретические значения нормы высева семян сахарной свеклы на 1 п.м для данной сеялки – 6 – 15 шт. Фактические значения для пяти режимов установки нормы высева, при проведении эксперимента, соответствовали установленным.

На рисунке 3 приведены значения исследуемых в ходе эксперимента параметров, для свекловичной сеялки СТП–12 «Ритм–1М». Вертикальные столбцы отражают значения, указанные в технических характеристиках к сеялке, в сравнении с результатами, полученными в ходе испытаний.

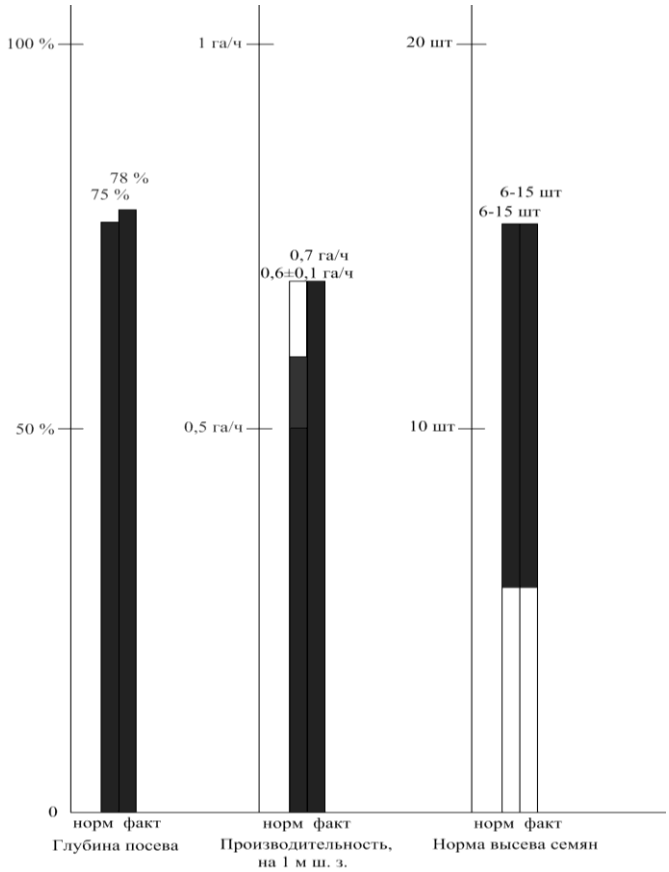


Рисунок 3 – Значения исследуемых в ходе экспериментапараметров, для свекловичной сеялки СТП–12 «Ритм–1М»

Лучшим соотношением воды и воздуха в почве для семян сахарной свеклы является 1:1. Некапиллярная пористость для имеющихся условий во время проведения испытаний, с учетом уровня ее влажности, близкой к 25 %, составит от 10 до 30 %.

Заключение. Сформирована сравнительная характеристика теоретических значений и результатов, полученных в ходе проводимых испытаний. Расхождения между приведенными значениями, обусловлены погрешностью измерений, факторами, зависящими от рабочих условий, а также индивидуальными особенностями технического состояния используемой во время эксперимента сеялки.

Список литературы

1. Святова О.В. Стратегия развития отечественного свекловичного семеноводства. Основа экономической независимости свеклосахарного подкомплекса АПК РФ // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1. – С. 36–43.

2. Шепелёв С.Д., Кравченко И.Н., Кравченко Е.Н. Сеялка ПК–12,7 для посева по NO–TILL технологии // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 33–44.

3. Описание свекловичной сеялки [Электронный ресурс]. URL: http://tractor–server.ru/sveklovichnaya–seyalka/ (дата обращения 20.04.2020).

4. Механизация посева и посадки сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]. URL: http://kursak.net/mexanizaciya–poseva–i–posadki–selskoxozyajstvennyx–kultur/ (дата обращения 16.04.2020).

5. Виневский Е.И., Трубилин Е.И., Науменко А.Г., Пестова Л.П. Сеялка для посева гидравлическим способом семян рассадных культур // Сельский механизатор. – 2018. – № 10. – С. 63–71.

6. Технологии выращивания сахарной свеклы [Электронный ресурс]. URL: https://studwood.ru/1965334/agro–promyshlennost/posev (дата обращения 13.04.2020).

7. Завражнов А.И., Балашов А.В., Стрыгин С.П. Система контроля высева семян // Сельский механизатор. – 2017. – № 12. – С. 67–76.

8. Сеялки и сажалки для пропашных культур [Электронный ресурс]. URL: https://www.bestreferat.ru/referat–34897.html (дата обращения 17.04.2020).

9. Сеялки зерновые. Виды, характеристики, популярные модели [Электронный ресурс]. URL: https://mtz–80.ru/bez–rubriki/seyalki–zernovye–vidy–harakteristiki–populyarnye–modeli (дата обращения 17.04.2020).

10. Сеялки для посева пропашных культур [Электронный ресурс]. URL: https://helpiks.org/7–60934.html (дата обращения 21.04.2020).

References

1. Svjatova O.V. Strategija razvitija otechestvennogo sveklovichnogo semenovodstva. Osnova jekonomicheskoj nezavisimosti sveklosaharnogo podkompleksa APK RF // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2009. – № 1. – S. 36–43.

2. Shepeljov S.D., Kravchenko I.N., Kravchenko E.N. Sejalka PK–12,7 dlja poseva po NO–TILL tehnologii // Sel'skij mehanizator. – 2019. – № 1. – S. 33–44.

3. Opisanie sveklovichnoj sejalki [Jelektronnyj resurs]. URL: http://tractor–server.ru/sveklovichnaya–seyalka/ (data obrashhenija 20.04.2020).

4. Mehanizacija poseva i posadki sel'skohozjajstvennyh kul'tur [Jelektronnyj resurs]. URL: http://kursak.net/mexanizaciya–poseva–i–posadki–selskoxozyajstvennyx–kultur/ (data obrashhenija 16.04.2020).

5. Vinevskij E.I., Trubilin E.I., Naumenko A.G., Pestova L.P. Sejalka dlja poseva gidravlicheskim sposobom semjan rassadnyh kul'tur // Sel'skij mehanizator. – 2018. – № 10. – S. 63–71.

6. Tehnologii vyrashhivanija saharnoj svekly [Jelektronnyj resurs]. URL: https://studwood.ru/1965334/agro–promyshlennost/posev (data obrashhenija 13.04.2020).

7. Zavrazhnov A.I., Balashov A.V., Strygin S.P. Sistema kontrolja vyseva semjan // Sel'skij mehanizator. – 2017. – № 12. – S. 67–76.

8. Sejalki i sazhalki dlja propashnyh kul'tur [Jelektronnyj resurs]. URL: https://www.bestreferat.ru/referat–34897.html (data obrashhenija 17.04.2020).

9. Sejalki zernovye. Vidy, harakteristiki, populjarnye modeli [Jelektronnyj resurs]. URL: https://mtz–80.ru/bez–rubriki/seyalki–zernovye–vidy–harakteristiki–populyarnye–modeli (data obrashhenija 17.04.2020).

10. Sejalki dlja poseva propashnyh kul'tur [Jelektronnyj resurs]. URL: https://helpiks.org/7–60934.html (data obrashhenija 21.04.2020).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Башкирев Анатолий Петрович – доктор технических наук, профессор Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: tmv46@mail.ru.

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

Пашин Евгений Алексеевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: pashin6@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

Bashkirev Anatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: tmv46@mail.ru.

Shvarts Anatoly Adolfovich – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Pashin Evgeniy – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: pashin6@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 31.08.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2020

УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-24-30

АВТОРЕГУЛИРУЕМОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ТРИЕРА

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

Реферат. *Систематизированы факторы, определяющие интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмеси овсюжным цилиндром и подтверждена ее определяющая взаимосвязь с качеством процесса в кукольном цилиндре. Установлено, что настройка триеров требует оперативной корректировки с учетом: вариативности свойств рабочей среды; состояния заполненности накопительных бункеров и завальных ям; стабильности (технологической надежности) подачи зерносмеси в приемные горловины перевалочных норий. Однако база знаний и возможность оперативного выбора оптимальных режимов работы и настроечных параметров триеров отсутствуют. Экспериментально подтверждено, что управление процессом триерной очистки зерна путем изменения углового положения выводного лотка увеличивает состав и размер рисков снижения качества процесса в сравнении с вариантом управления за счет изменения скоростного режима работы. Установлено, что даже при минимальной подаче (1,17 т/ч) и завышенном угле подъема выводного лотка потери сходом составляют 6 %. При подаче 3,34 т/ч (это 67 % от оптимального значения) потери зерновок основной культуры изменяютя в диапазоне 48,7 – 77,7 % с ростом угла подъема выводного лотка от 30^0 до 40^0 при пониженном скоростном режиме (30 об/мин). Подтверждена высокая степень зависимости производительности триера от скоростного режима его работы – в диапазоне скоростей 30 – 40 об/мин производительность триера увеличивается в 3,3 раза (на пшенице). Предложены две целевые функции, определяющие границы зоны авторегулирования процесса триерной очистки зерна за счет балансирования подачи и скоростного режима работы. Она (зона авторегулирования) ограничена неизбежными минимально допустимыми технологическими потерями – с одной стороны, а с другой – допустимой величиной условно свободной ячеистой поверхности (с вероятностью заполнения ячей на уровне 5 – 7 %), определяющей риски повышения остаточной засоренности. Управляющее воздействие предложено осуществлять авторегулируемым делителем потока сыпучих материалов с пружинной грузовоспринимающей системой, подвижная стабилизирующая емкость которого кинематически связана с регулятором частотного преобразователя.*

Ключевые слова: *триер, режимы работы, настройка, качество процесса, потери, засоренность, авторегулирование, управляющее воздействие.*

AUTO-ADJUSTABLE SPEED CONTROL TRIER'S WORKS

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

Abstract. *The factors that determine the intensity of separation of the main crop grains from the grain mixture by the oat cylinder are systematized and its determining relationship with the quality of the process in the doll cylinder is confirmed. It was found that the setting up of triers requires prompt adjustment taking into account: the variability of the properties of the working environment; the state of filling of storage bins and filling pits; stability (technological reliability) of the feed of grain mixture to the receiving throats of transshipment holes. However, the knowledge base and the ability to quickly select the optimal operating modes and tuning parameters of triers are not available. It is experimentally confirmed that controlling the process of Trier grain cleaning by changing the angular position of the output tray increases the composition and size of the risks of reducing the quality of the process in comparison with the control option by changing the speed mode of operation. It was found that even with a minimum feed (1.17 t/h) and an inflated angle of lift of the output tray, the losses are 6 % at the same time. When feeding 3.34 t/h (this is 67 % of the optimal value), the losses of the main crop grains change in the range of 48.7 – 77.7 % with an increase in the lifting angle of the output tray from 300 to 400 at a reduced speed (30 rpm). The high degree of dependence of the Trier performance on the speed mode of its operation is confirmed – in the speed range of 30 – 40 rpm, the Trier performance increases by 3.3 times (on wheat). Two target functions are proposed that define the boundaries of the zone of auto-regulation of the Trier grain cleaning process by balancing the feed and the speed mode of operation. It (the autoregulation zone) is limited by the unavoidable minimum allowable technological losses – on the one hand, and on the other – by the permissible value of the conditionally free cellular surface (with the probability of filling the pits at the level of 5 – 7 %), which determines the risks of increasing residual clogging. The control action is proposed to be performed by an autoregulated flow divider of bulk materials with a spring load-receiving system, the mobile stabilizing capacity of which is kinematically connected to the frequency Converter regulator.*

Keywords: *trier, operating modes, setting, process quality, loss, clogging, auto-regulation, control effect.*

Введение. Интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмеси овсюжным цилиндром определяет уровень технологических потерь и загрузку кукольного цилиндра триерного блока. Она зависит от скоростного режима работы (n), угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка (γ_n), подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр (W_n), свойств компонентов зерносмеси и других факторов. Научно-обоснованных регламентов управления работой триеров нет в отечественной и зарубежной нормативно-технической документации по их эксплуатации. Задачи технологической настройки овсюжного цилиндра триерного блока определяются сложным сочетанием требований к процессу – обеспечение минимума потерь полноценного зерна сходом и отсутствие свободной от зерна ячеистой поверхности, определяющей риски повышения остаточной засоренности ($З_о$). Из этих требований вытекает необходимость и сложность качественной подготовки триеров к работе. Она может быть выполнена опытным подбором режимов работы и настроечных параметров, но величина W_n изменчива из-за свойств зернового вороха, степени заполненности накопительных бункеров и завальных ям, забивания приемной горловины башмака нории и др. Поэтому задача автоматизации управления режимами работы (n) триера в зависимости от W_n является актуальной.

Материалы и методы. В работе использованы приборы для исследований ячеистых поверхностей, результаты этих исследований, метод математического анализа, расчетно-конструктивный метод.

Результаты и их обсуждение. Возможность управления процессом триерной очистки зерна за счет изменения углового положения выводного лотка имеет ряд существенных недостатков [1, 2]: отсутствие оперативного управления (высокая трудоемкость настройки с остановкой технологического процесса); избыточная чувствительность отклика на управляющее воздействие, которая при существенной вариативности W_n приводит к росту технологических потерь и остаточной засоренности зерна; при верхних значениях γ_n из диапазона регулирования наблюдается множественное соударение зерновок основной культуры из нижней части факела их выброса ячеистой поверхностью со стенкой выводного лотка, что увеличивает степень травмирования семян; при нижних значениях γ_n повышаются риски снижения качества процесса

по остаточной засоренности из-за инерционного удержания в контактирующем слое примесных частиц и высоковероятного их выброса в выводной лоток с чистым зерном.

Использование скоростного режима работы триера (n) в качестве управляющего воздействия на процесс уменьшает число отрицательных технологических эффектов, сохраняя уровень чувствительности – при n = 30 – 45 об/мин интенсивность выделения ($W_в$) зерновок основной культуры изменяется в 3,3 раза [1]. Однако, авторы основополагающих работ [3 – 6] по триерным технологиям не смогли установить объективные взаимосвязи расходных характеристик триеров с режимами их работы и настроечными параметрами. Эти взаимосвязи подменялись необоснованной унитарной нормативной базой, что сдерживало совершенствование триерных технологий и создавало большие проблемы для эксплуатационников. Закономерности триерных процессов не были исследованы в достаточной мере.

Нами восполнен этот пробел знаний с использованием новых приборов и стендов [7, 8]. Установлено, что при подаче зерносмеси в ячеистый цилиндр W_n = 1,17 – 1,74 т/ч и малом угле подъема верхней комки передней стенки выводного лотка (γ_n = 20°) ячеистая поверхность по длине используется частично, таблица 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь подачи (W_n) зерносмеси в ячеистый цилиндр с величиной его загрузки по длине (l_p) при n = 30 - 45 об/мин и γ_n = 20°

Подача зерносмеси (W_n), т/ч	1,17	1,36	1,55	1,74
Скорость вращения ячеистого цилиндра (n), об/мин	30	35	40	45
Рабочая длина ячеистого цилиндра (l_p), м	1,42	1,53	1,39	1,17
Свободная длина ячеистого цилиндра ($l_{св}$), м	0,78	0,67	0,81	1,03

Анализ таблицы 1 подтверждает необходимость управления процессом триерной очистки зерна. При малых подачах (W_n) во всем диапазоне скоростных режимов сохраняются риски повышения остаточной засоренности зерна. Кроме того из таблицы 1 видно, что прирост подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр с 1,17 т/ч до 1,36 т/ч не компенсирован увеличением скорости вращения цилиндра – рабочая длина увеличивается. Это объясняется тем, что приращение инерционных сил при росте n до 35 об/мин еще не может компенсировать эффект динамического «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем.

При дальнейшем увеличении подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр и минимальном скоростном режиме работы (n = 30 об/мин) наблюдаются потери полноценного зерна сходом, таблица 2.

Таблица 2 – Взаимосвязь технологических потерь ($П$) с величиной подачи (W_n) зерносмеси в ячеистый цилиндр при минимальном скоростном режиме

Подача зерносмеси (W_n), т/ч	1,77	2,49	3,34
Технологические потери, %	1	11,5	39,4

Технологические потери (П) определяли по формуле:

$$П = \left[\left(\int_0^{t_0} W_В(t)dt - \int_0^{t_{ст}} W_В(t)dt\right) \Big/ \int_0^{t_0} W_В(t)dt\right] \times 100\%,$$

где t_o – время стендового опыта - до конца выделения массы зерновок основной культуры, эквивалентной заданной величине подачи (W_n) с;

$t_{ст}$ – время перемещения сегмента зерносмеси с начальной массой, эквивалентной подаче (W_n), по длине стандартного ячеистого цилиндра ($L_ц \approx 2{,}2$ м), с;

$W_в$ – интенсивность выделения зерновок основной культуры ячеистой поверхностью, кг/с.

Рост технологических потерь с увеличением W_n обусловлен тем, что уменьшается степень захвата выводным лотком факела выброса зерновок основной культуры.

При n = 45 об/мин даже с увеличением γ_n до 35° стандартный триерный цилиндр обеспечивает производительность $W_в$ = 4,98 т/ч без технологических потерь, но при уменьшении подачи (W_n)

зерносмеси ячеистая поверхность используется не полностью и также создаются риски снижения качества процесса по остаточной засоренности, таблица 3.

Таблица 3 – Взаимосвязь полноты загрузки ячеистого цилиндра по длине с величиной подачи при n = 45 об/мин и γ_n = 35°

Подача зерносмеси (W_n), т/ч	1,74	2,64	3,72	4,98
Свободная длина ячеистого цилиндра ($l_{св}$), м	1,03	0,704	0,35	–

Из таблицы 3 следует, что скорость вращения ячеистого цилиндра (n) является эффективным параметром настройки. Его надо использовать в сочетании с величиной угла подъема (γ_n) верхней кромки передней стенки выводного лотка, а радиальный зазор между этой кромкой и внутренней поверхностью ячеистого цилиндра практически не влияет на расходную характеристику триера.

Расходные характеристики триерных блоков невозможно объективно оценить без знаний закономерностей изменения показателя степени заполнения ячей. Величина этого показателя зависит от числа циркулирующих слоев зерносмеси в сегменте, скоростного режима работы и характера взаимодействия контактирующего слоя с зерновками, захваченными ячеями. Расчетным путем определить этот показатель невозможно. Взаимосвязь степени заполнения ячей зерновками основной культуры и скоростного режима работы триерного цилиндра при малых W_n, установленная экспериментально, представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Взаимосвязь степени заполнения ячей зерновками ($n_з$, шт) и скоростного режима (n) при W_n = 1,17-1,74 т/ч

n, об/мин	Номера интервалов времени замеров								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,76	0,94	1,03	1,08	0,99	0,86	0,61	0,36	0,19
35	1,08	1,16	1,19	1,19	1,08	0,71	0,36	0,16	0,07
40	1,9	1,88	1,38	1,10	0,80	0,38	0,19	0,09	0,05
45	2,34	1,93	1,61	1,18	0,67	0,35	0,19	0,14	0,08

Для средних и максимальных значений подачи зерносмеси (W_n) в овсюжный цилиндр аналогичные взаимосвязи показателей оказались менее контрастными. Увеличение W_n в 1,8 раз увеличивает степень заполнения ячей ($n_з$) на начальном участке ячеистого цилиндра лишь в 1,28 раза, с ростом W_n в 2,5 раза величина $n_з$ увеличивается только в 1,5 раза, при росте W_n в 3,3 раза $n_з$ увеличивается в 1,8 раза. Кратность изменения $n_з$ на всей длине (L) ячеистого цилиндра снижается с ростом W_n от 2,64 т/ч до W_n = 4,98 т/ч. При меньших W_n величина $n_з$ на длине (L) снижается снижается в 30 раз, а при больших W_n – в 22 раза.

При W_n = 4,98 т/ч и n = 45 об/мин коэффициент заполнения ячей в первом интервале измерений (в начале ячеистого цилиндра) составляет $n_з$ = 4,18 шт/ячею. Эта величина достигается за счет инерционного удержания контактирующего слоя и выброса его в отводящий лоток. Величина $n_з$ = 4,18 получена опытным путем делением числа зерновок, выделенных за 3 с, на число ячей, прошедших под сегментом. Реально вместить 4 зерновки пшеницы в 1 ячею невозможно, что подтверждает влияние на процесс выявленных нами физических эффектов. Эффект «инерционного удержания» подавляет эффект динамического «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем при высоком скоростном режиме работы (n = 45 об/мин) и максимальном значении W_n.

Выявленные нами взаимосвязи расходных характеристик триеров со скоростным режимом его работы (n) и углом подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка, а также взаимосвязи степени заполнения ячей с конструктивно-режимными параметрами позволяют осуществлять подготовку триеров к эффективному использованию. Однако настройка триеров по указанным режимам и параметрам требует корректировки с учетом вариативности W_n по целевым функциям: $П \rightarrow \min$; $З_о \rightarrow \min$. Для управления процессом триерной очистки зерна по взаимосвязи $П = f(W_n)$ нами разработан триер, конструктивно-технологическая схема которого представлена на рисунках 1 – 3.

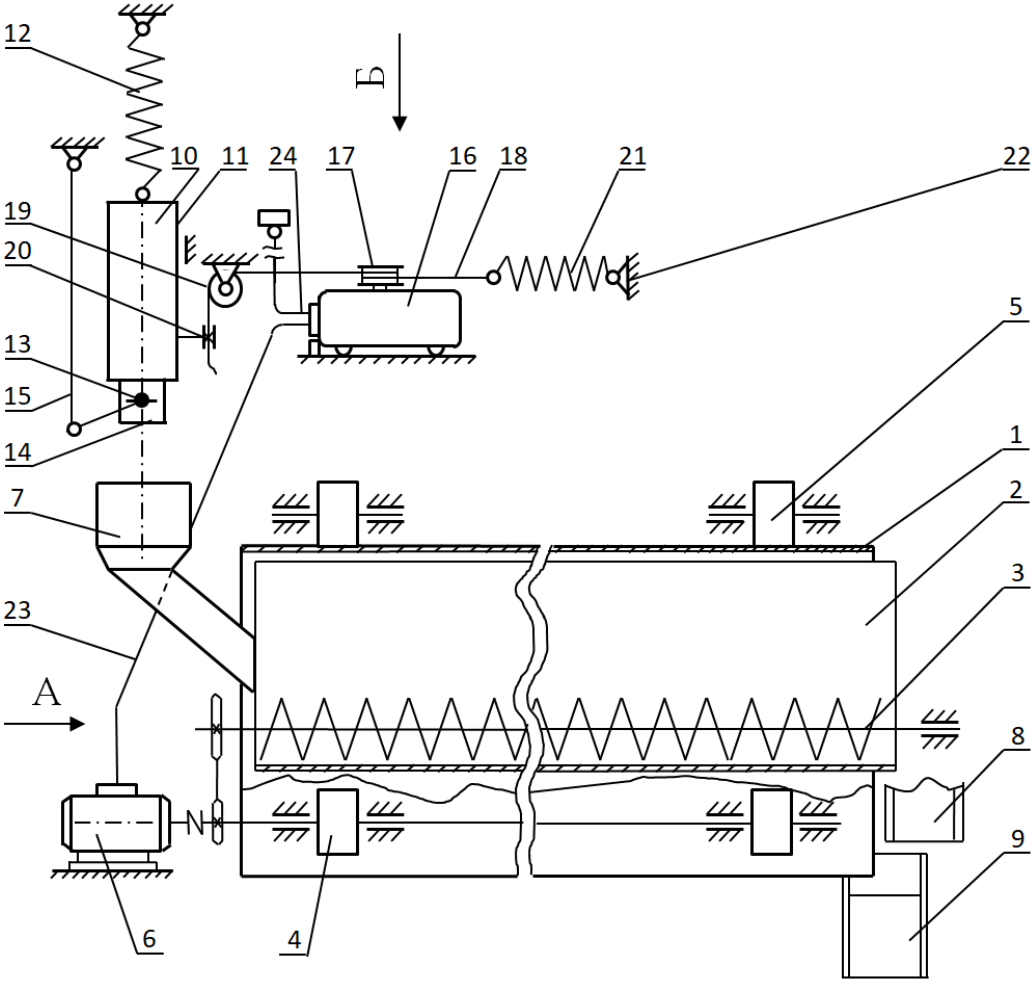


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема триера.

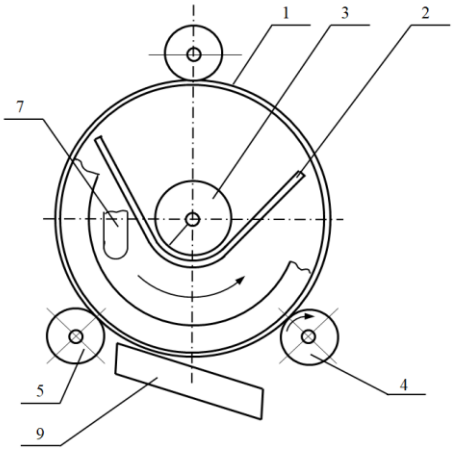


Рисунок 2 – Вид А на рисунке 1.

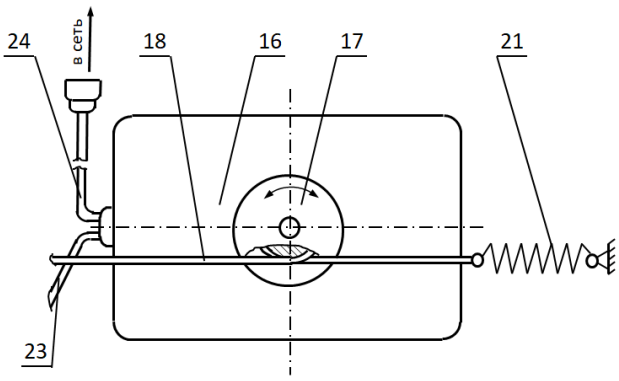


Рисунок 3 – Вид Б на рисунке 1.

Предложенный триер содержит ячеистый цилиндр 1, размещенный в нем желоб 2 с выводным шнеком 3, приводные 4 и опорные 5 ролики, электропривод 6, питатель 7, лотки 8 и 9, авторегулируемый делитель потока сыпучих материалов 10 с подвижной регулирующей емкостью 11, пружиной 12, клапанами 13 в отводах 14 и рычажным механизмом 15, частотный преобразователь 16, регулятор 17, шнур 18, соединенный одним концом через ролик 19 с зажимом 20, а вторым концом – с пружиной 21, присоединенной к раме 22, кабели 23 и 24.

Триер работает следующим образом. Перед началом работы приводят в движение ячеистый цилиндр 1 на минимальном скоростном режиме посредством электропривода 6 и приводных роликов 4. Устойчивость положения ячеистого цилиндра обеспечивается опорными роликами 5. Далее в подвижную регулирующую емкость 11 авторегулируемого делителя потока сыпучих материалов 10 подают зерносмесь. По мере накопления зерносмеси в подвижной регулирующей емкости 11 последняя начинает двигаться вниз, преодолевая усилие пружины 12.

При этом рычажный механизм 15 поворачивает клапаны 13 в отводах 14, увеличивая их живое сечение и подачу зерносмеси в ячеистый цилиндр 1 через питатель 7. Подвижная регулирующая емкость 11, опускаясь, тянет за собой закрепленный на ней зажимом 20 шнур 18, переброшенный через ролик 19. Шнур 18 натягивается и, преодолевая усилие пружины 21, присоединенной к раме 22, поворачивает регулятор 17 частотного преобразователя 16, включенного в сеть кабелем 24 и соединенного с электроприводом 6 кабелем 23, по часовой стрелке. При этом увеличивается частота электрического тока и скоростной режим работы триера. Выделяемые ячеистым цилиндром 1 зерновки основной культуры поступают в желоб 2 с выводным шнеком 3, который направляет их в лоток 8, а примесные частицы сходом поступают в лоток 9. С уменьшением подачи зерносмеси в подвижную регулирующую емкость 11 она начинает подниматься растянутой пружиной 12 вверх вместе со шнуром 18, который вытягивается пружиной 21 и поворачивает регулятор 17 против часовой стрелки. Частота электрического тока и скоростной режим работы триера при этом уменьшаются. Таким образом осуществляется авторегулируемое управление режимами работы триера, которое обеспечивает оптимальную загрузку ячеистого цилиндра 1 и повышение качества технологического процесса, так как исключается перегруз триера, когда частицы основной культуры не успевают выделиться ячеистым цилиндром 1 из зерносмеси и сходом вместе с примесными частицами направляются в отходы по лотку 9, увеличивая технологические потери. При исключении недогруза триера в авторегулируемом режиме работы отсутствует свободная ячеистая поверхность, которая в обычном режиме работы захватывает примесные частицы и направляет их в желоб 2 с чистым зерном, увеличивая его засоренность [9, 10]. В авторегулируемом режиме работы триера нет необходимости перенастраивать его под величину подачи зерносмеси, что снижает трудоемкость обслуживания.

Выводы. Управление процессом триерной очистки зерна путем авторегулируемого балансирования подачи рабочей среды в ячеистый цилиндр и скоростного режима его работы является более предпочтительным в сравнении с управлением процесса за счет изменения углового положения выводного лотка по составу рисков снижения качества процесса и конструктивному исполнению. Управляющее воздействие осуществляется авторегулируемым делителем потока сыпучих материалов с пружинной грузовоспринимающей системой, подвижная стабилизирующая емкость которого кинематически связана с регулятором частотного преобразователя, синхронизирующего взаимосвязь подачи со скоростным режимом. Зона авторегулирования ограничена минимально допустимыми технологическими потерями – с одной стороны, а с другой – минимальными рисками повышения остаточной засоренности зерна.

Список литературы

1. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Управление расходными характеристиками триера положением выводного лотка // Наука в Центральной России. – 2018. – № 2. – с. 28 – 34.

2. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Анализ показателей работы триера по результатам стендовых исследований // Наука в Центральной России. – 2018. – № 1. – с.27 – 34.

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

4. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.

5. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины – М.: Агропромиздат, 1986. – 687 с.

6. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – Изд. 4-е доп. и перераб. М.: Колос, 1975. – 495с.

7. Патент РФ № 2520341. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов.. – № 2012145368/13; заявл. 24.10.2012, опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17.

8. Патент РФ № 2706163. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов. – № 2019112704; заявл. 25.04.2019, опубл. 14.11.2019, Бюл. № 32.

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

10. 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.

References

1. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Upravlenie rashodnymi harakteristikami triera polozheniem vyvodnogo lotka // Nauka v Central'noj Rossii. – 2018. – № 2. – s. 28 – 34.

2. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Analiz pokazatelej raboty triera po rezul'tatam stendovyh issledovanij // Nauka v Central'noj Rossii. – 2018. – № 1. – s.27 – 34.

3. Letoshnev M.N. Sel'skohozjajstvennye mashiny, teorija, raschet, proektirovanie i ispytanie. – M.: Sel'hozgiz, 1955. – 856 s.

4. Lur'e A.B. Raschet i konstruirovanie sel'skohozjajstvennyh mashin. – L.: Mashinostroenie, 1997. – 526 s.

5. Listopad G.E. Sel'skohozjajstvennye i meliorativnye mashiny – M.: Agropromizdat, 1986. – 687 s.

6. Sokolov A.Ja. Tehnologicheskoe oborudovanie predprijatij po hraneniju i pererabotke zerna. – Izd. 4-e dop. i pererab. M.: Kolos, 1975. – 495s.

7. Patent RF № 2520341. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov.. – № 2012145368/13; zajavl. 24.10.2012, opubl. 20.06.2014, Bjul. № 17.

8. Patent RF № 2706163. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov. – № 2019112704; zajavl. 25.04.2019, opubl. 14.11.2019, Bjul. № 32.

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

10. Chernyshov A.V., Orobinskij V.I., Gievskij A.M., Baskakov I.V. Innovacionnye napravlenija podgotovki semjan zernovyh kul'tur / V sbornike: Proizvodstvo i pererabotka sel'skohozjajstvennoj produkcii: menedzhment kachestva i bezopasnosti materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 25-letiju fakul'teta tehnologii i tovarovedenija VGAU im. imperatora Petra I. – 2018. – S. 157 – 160.

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.

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.

Поступила в редакцию (Received): 01.06.2020 Принята к публикации (Accepted): 28.08.2020

УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-31-41

ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА КОМПОНЕНТОВ ЗЕРНОСМЕСИ

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

Реферат. *Представлен анализ приборов для определения угла естественного откоса (α) сыпучих материалов. Раскрыты недостатки приборов и процедур формирования конусных монолитов исследуемых сыпучих материалов, исключающих воспроизводимость условий замеров: не контролируется и не оговаривается динамика насыпания конусных монолитов; не учитывается смещение и «проседание» вершины конуса; не регламентируется вид материала и качество опорной поверхности; допускаются разные методы измерений и расчета угла α; не учитывается форма и дисперсность частиц сыпучих материалов. Установлено, что указанные факторы вносят существенную вариативность в измерение угла α одних и тех же сыпучих материалов. Предложен прибор, позволяющий нивелировать влияние вида материала и качества опорной поверхности, усреднять замеры углов наклона образующих конусных монолитов полидисперсных и гигроскопичных сыпучих материалов. Выполнены исследования угла α для пяти компонентов зерносмеси с десятью видами материалов опорных поверхностей. Установлено, что на стеклах двух видов с идентичными технологиями производства и микрорельефом получен весьма значительный разброс замеров – 5,8 – 14,5° для исследуемых компонентов зерносмеси. В тоже время, на разных по микрорельефу сторонах ДВП получены сопоставимые результаты замеров. Примесные частицы с высоким сопротивлением перекатыванию (семена сорго, колотые зерновки ячменя) имеют сопоставимые значения углов α с базой сравнения, где раскатывание частиц нижнего слоя конуса ограничивается буртиком. Среднее отклонение поверхностных свойств зерновок пшеницы от базы сравнения в 16 раз меньше, чем у ячменя. Выявлено, что для создания эталонного прибора необходимы: определенность конструктивного исполнения и размеров; ограничитель раскатывания частиц нижнего слоя; регламентация динамики формирования монолита из исследуемого сыпучего материала.*

Ключевые слова: *прибор, угол естественного откоса, измерение, сыпучие материалы, погрешность.*

STUDIES OF THE ANGLE OF NATURAL SLOPE OF GRAIN MIX COMPONENTS

[1]Tishaninov Nikolay
[1]Anashkin Alexander
[1]Tishaninov Konstantin
[1]Alshinayin Haider Jamil Jaber
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *The analysis of devices for determining the angle of natural slope (α) of bulk materials is presented. Lacks of instruments and procedures for the formation of cone-shaped monoliths of the studied bulk materials, excluding the reproducibility conditions of measurement: not controlled by nor does it specify the dynamics of a broadcast conical monoliths; the offset is ignored and the "sinking" of the top of the cone; not regulated material and the reference surface; allowed different methods of measurement and calculation of angle α; does not account for the shape and dispersion of particles of bulk materials. It is established that these factors contribute to a significant variability in the measurement of the angle α. Disadvantages of devices and procedures for the formation of conical monoliths of the studied bulk materials, excluding the reproducibility of measurement conditions, are disclosed: the dynamics of pouring conical monoliths is not controlled or specified; displacement and "subsidence" of the top of the*

cone are not taken into account; the type of material and the quality of the supporting surface are not regulated; different methods of measuring and calculating the angle α are allowed; the shape and dispersion of particles of bulk materials are not taken into account. It was found that these factors introduce significant variability in the measurement of the angle α of the same bulk materials. A device is proposed that makes it possible to level the effect of the type of material and the quality of the supporting surface, to average the measurements of the angles of inclination of the forming conical monoliths of polydisperse and hygroscopic bulk materials. Investigations of the angle α for five components of a grain mixture with ten types of materials of supporting surfaces have been performed. It was found that on glasses of two types with identical production technologies and micro relief, a very significant scatter of measurements was obtained – 5.8 – 14.5 ° for the studied components of the grain mixture. Impurity particles with high rolling resistance (sorghum seeds, chopped barley kernels) have comparable values of the angles α with the reference base, where the rolling of particles of the lower layer of the cone is limited by a shoulder. The average deviation of the surface properties of wheat kernels from the comparison base is 16 times less than that of barley. It was revealed that to create a reference device, the following are necessary: certainty of design and dimensions; limiter of rolling particles of the lower layer; regulation of the dynamics of the formation of a monolith from the investigated bulk material.

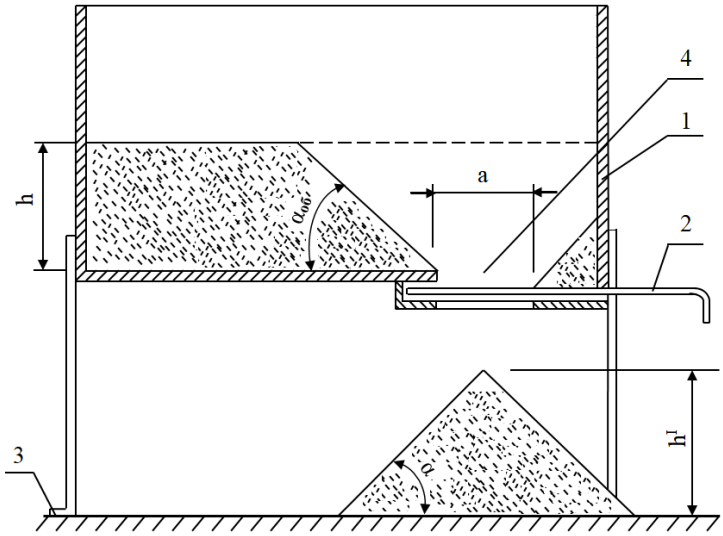
Keywords: *device, angle of natural slope, measurement, bulk materials, error.*

Введение. Объективная и детальная оценка физико-механических свойств рабочих сред имеет важное значение для толкования сущности исследуемых процессов и выработки практических решений. Кроме того результаты исследований, имеющие некоторую универсальность и долговременность использования, должны быть «привязаны» к объективно оцененным свойствам рабочей среды. Без этого нельзя решать задачи проектирования технологий с использованием этих исследований. При проектировании и модернизации зерноочистительных технологий основным лимитирующим параметром является технологическая высота. Она связана со свойствами рабочей среды (с углом естественного откоса зерносмесей) и важна с экономической точки зрения, так как необоснованное завышение технологической высоты зерноочистительного комплекса пропорционально увеличивает его стоимость. В то же время, необоснованное занижение проектной высоты связано с рисками снижения технологической надежности оборудования и даже рисками потери работоспособности. Существенные приборы не позволяют объективно оценивать угол естественного откоса (α) сыпучих материалов из-за неопределенности вида материала опорной поверхности, ее качества, формы и дисперсности частиц. Поэтому исследования угла α на опорных поверхностях из различных материалов применительно к компонентам зерносмесей представляет собой актуальную задачу.

Материалы и методы. В работе использован новый прибор для определения угла естественного откоса, десять наименований материалов для опорных поверхностей, пять компонентов зерносмесей.

Результаты и обсуждение. Анализ существующих возможностей приборного контроля угла естественного контроля сыпучих материалов показывает следующее:

- в большинстве случаев при определении угла естественного откоса сыпучих материалов формируется контрольная физическая модель в виде насыпного конуса [1], рисунок 1;
- во всех случаях при формировании насыпного конуса не контролируется и не оговаривается динамика насыпания исследуемого материала, которая существенно влияет на результаты замеров;
- угол естественного откоса определяют по разному, включая замер наклона образующей конуса, замеры основания и высоты насыпного конуса с последующим расчётом угла естественного откоса и др.;
- форма насыпного конуса идеализируется (имеет место традиционный школярский подход), не учитываются и не оговариваются дисперсные свойства материала, форма частиц, свойства опорной поверхности;
- вершина насыпного конуса при динамическом воздействии финишными порциями исследуемого материала может смещаться и «проседать», нарушая (искривляя) форму образующих;
- частицы обширного перечня сыпучих материалов могут раскатываться по опорной поверхности, превращая контур вертикального осевого сечения «конуса» в синусоиду. К таким материалам относятся исследуемые нами примесные компоненты – семена сорго, проса, горчицы, вики и др. (рисунки 2 и 3)



1 – ящик; 2 – задвижка; 3 – опорная плоскость; 4 – прорезь

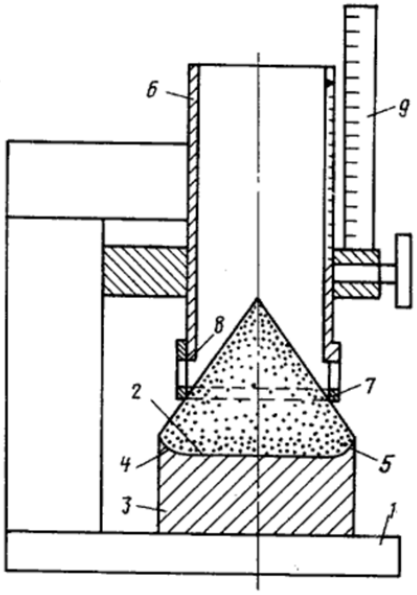
Рисунок 1 – Прибор для определения углов обрушения и естественного откоса

Рисунок 2 – Форма насыпного «конуса» семян вики на поверхности минерального стекла

Рисунок 3 – Форма насыпного «конуса» семян сорго на поверхности минерального стекла

- измерения параметров конуса коаксиальным цилиндром, сопряженным с полой цилиндрической емкостью для сыпучего материала (по А.С. СССР № 122600) не обеспечивают объективной оценки угла естественного откоса. Коаксиальный цилиндр будет касаться только одной образующей конуса, другие в результате локальных «лавинок» при осыпании будут иметь разные углы наклона к горизонту (рисунок 4);

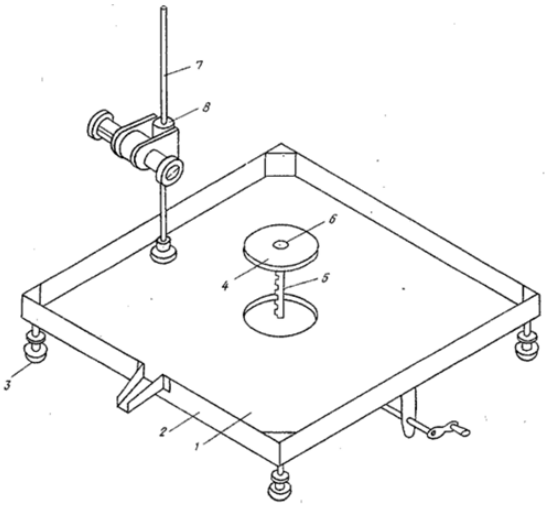
- ограничения раскатывания частиц по опорной плоскости кольцом или буртиком не снимает проблему воспроизводимости идентичных условий замеров из-за неконтролируемой динамики формирования насыпного конуса. Насыпание конуса из емкости через край не обеспечивает стабильности динамики процесса (все кто заполнял перечницу – знает об этом), а стабильность насыпания конуса из емкости через калиброванное отверстие дискредитируется сводообразованием (А.С. СССР № 1295201, № 697792);



1 – корпус; 2 – основание тарельчатой формы; 3 – диск; 4 – буртик; 5 – фаска; 6 – полой цилиндр; 7 – кольцо; 8 – торец цилиндра; 9 – шкала

Рисунок 4 – Устройство для определения углов естественного откоса сыпучих материалов (А.С. СССР № 1226000)

- измерение угла естественного откоса способом подъема платформы, размещенной под слоем исследуемого материала (А.С. СССР № 615353), производится винтовым механизмом (рисунок 5). Он не обеспечивает идентичности формирования контролируемого монолита в сравнении с насыпанием материала на опорную поверхность. Подъем платформой слоя тонкодисперсного материала, обладающего высокой гигроскопичностью (мел, горчичный порошок, молотый перец и др.), может формировать по ее периметру отвесные стенки, которые не наблюдаются при насыпании из емкости того же материала на опорную поверхность.



1 – плоскость; 2 – буртик; 3 – регулируемая опора; 4 – столик; 5 – рейка; 6 – уровень; 7 – кронштейн; 8 – угломер

Рисунок 5 – Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала (А.С. СССР № 615353)

Анализ возможностей приборов, приведенный выше, требует детальной оценки их принципов действия и конструктивных исполнений на основе базовых требований к измерительной технике.

Косновным свойствам измерительных приборов следует отнести: точность измерений; трудоемкость измерительных работ; стоимость прибора; универсальность относительно контролируемых сред (объектов); надежность в работе. Указанные качества измерительной техники во многом обеспечиваются рациональным способом измерений, техническим уровнем ее изготовления и возможностью воспроизведения идентичных условий замеров независимо от свойств контролируемых средств (объектов).

Однако, существующие приборы для измерения угла естественного откоса сыпучих материалов не в полной мере обладают указанными качествами и необеспечивают сопоставимости оценок одних и тех же материалов по этому важнейшему показателю. Более того, по патентным материалам и описаниям приборов в литературных источниках в большинстве случаев бывает сложно оценить их возможности применительно к конкретной рабочей среде.

На рисунке 1 показан прибор для определения углов обрушения и естественного откоса сыпучих материалов, используемый в основополагающей работе [1] по механике насыпных грузов. Вместе с тем, принцип действия упомянутого прибора не вселяет уверенность в возможность воспроизведения условий замеров и его универсальность относительно свойств контролируемых сыпучих материалов.

Величина слоя *h* в ящике 1 не регламентирована, а размеры прорези 4 (см. рисунок 1) требуют обоснованной корректировки применительно к физико-механическим свойствам, гранулометрическому составу и форме частиц каждого контролируемого сыпучего материала. Для материалов с крупными частицами или с частицами, обладающими связностью, необходимы большие размеры прорези 4 с тем, чтобы обеспечить стабильность истечения (без сводообразования). Легкосыпучие материалы не требуют значительных размеров прорези 4 – стабильность их истечения более вероятна. Однако при разных параметрах прорези 4 и величинах слоя материала *h* в ящике 1 на формируемых конус будет оказываться различное динамическое воздействие выгружаемого из ящика 1 материала.

Кроме того, качество опорной плоскости 3 и свойства материала, из которого она изготовлена, не определены. Это также не соответствует одному из основных требований к приборам – воспроизводимости условий проведения замеров. Нижний слой сыпучего материала с частицами округлой или эллипсоидной формы будет раскатываться по гладкой опорной плоскость, искажая «конусную» форму насыпного монолита (рисунки 2 и 3). Это исключает применимость прибора для объективного контроля угла естественного откоса с частицами подобной формы.

На рисунке 4 представлено устройство по авторскому свидетельству СССР № 1226000 [2]. В этом устройстве опорная поверхность выполнена в виде тарелки с буртиком по периферии, который предотвращает раскатывание частиц округлой формы из нижних слоев под давлением верхних слоев формируемого конуса из контролируемого материала.

Однако, способ измерений параметров конусного монолита исследуемого материала с использованием предложенного устройства [2] предполагает его строго симметричное размещение относительно полого цилиндра 6 и соосного ему кольца 7. Вместе с тем сыпучие материалы, содержащие асимметричные частицы или частицы разных форм и размеров не позволяют сформировать подъемом полого цилиндра 6 идеальную форму конусного монолита. При осыпании таких частиц по различным образующим конуса с эффектом локальных «лавинок» они будут вносить вариативность в их угловое положение относительно горизонта.

Поэтому кольцо 7 будет соприкасаться в первую очередь с образующей, имеющей меньший угол наклона к горизонту. Этот замер будет отражать локальные условия формирования конусного монолита, что занижает реальное значение угла естественного откоса полидисперсных сыпучих материалов с частицами разных форм. Из-за этих недостатков устройство [2] ограничено в применении. Необходим прибор, который бы позволял производить множественные измерения образующих конусного монолита для последующего их усреднения расчетным путем.

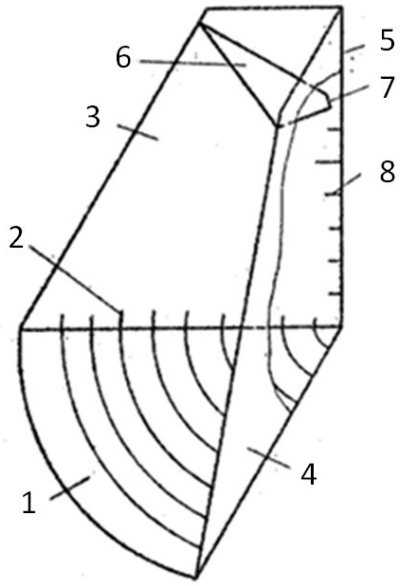
На рисунке 5 показан прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала по авторскому свидетельству СССР № 615353 [3]. Принцип его действия также основан на измерении угла наклона образующих конусного монолита к горизонту. Отличие состоит в том, что конусный монолит формируется подъемом круглого столика 4, находящегося под слоем исследуемого сыпучего материала на горизонтальной плоскости 1 с буртиком 2 по периферии.

Прибор [3] имеет ряд весьма существенных недостатков. Во-первых, на круглом столике 4 не могут удерживаться частицы округлой и эллипсоидной формы. Из-за этого невозможно сформировать монолит сыпучего материала конусной формы. Во-вторых, при исследовании тонкодисперсных сыпучих материалов (порошковый мел, горчичный порошок, молотый перец и др.), обладающих существенной гигроскопичностью, они в слое на горизонтальной плоскости 1 быстро приобретают свойство связности. По этой причине последующий подъем круглого столика 4 рейкой 5 так же не позволит сформировать на его поверхности монолит материала конусной формы.

При достаточной связанности частиц стенки монолита на поднятом столике 4 могут оказаться вертикальными, что подчеркивает принципиальную разницу способов его формирования – насыпанием, подъемом слоя, выдавливанием из зон переуплотнения. В последних двух случаях наиболее вероятно образование вертикальных стенок, чего не может быть при насыпании монолита. Кроме того угломер 8 в приборе [3] зафиксирован на плоскости 1 и не позволяет производить множественные замеры углов наклона к горизонту скатных поверхностей монолита исследуемого материала, сформированного на столике 4.

Анализ указанных недостатков прибора [3] показывает, что его применение ограничено по физико-механическим свойствам исследуемых сыпучих материалов и достоверности оценок угла их естественного откоса. Недостатки приборов [1 – 3], состоящие в ограниченной применимости относительно физико-механический свойств и состав сыпучих материалов, неопределенности качества и состояния материалов опорных поверхностей, ограниченной воспроизводимости условий формирования конусного монолита исследуемого материала и проведения замеров, характерны и для приборов [4, 5].

Принципиально отличается от приборов [1 – 5] устройство по авторскому свидетельству СССР № 1401250 [6], представленное на рисунке 6. Оно обладает простотой конструкции и малой трудоемкостью измерений, так как содержит встроенную вертикальную измерительную шкалу и радиальную разметку на опорной поверхности (сектор 1). Кроме того устройство обеспечивает некоторую регламентацию формирования контролируемого (измеряемого) монолита сыпучего материала в форме части кругового конуса, находящегося между перегородками 3 и 4. Это достигается посредством трапецеидальной пластины 6, образующей с перегородками 3 и 4 наклонную воронку с отверстием 7.

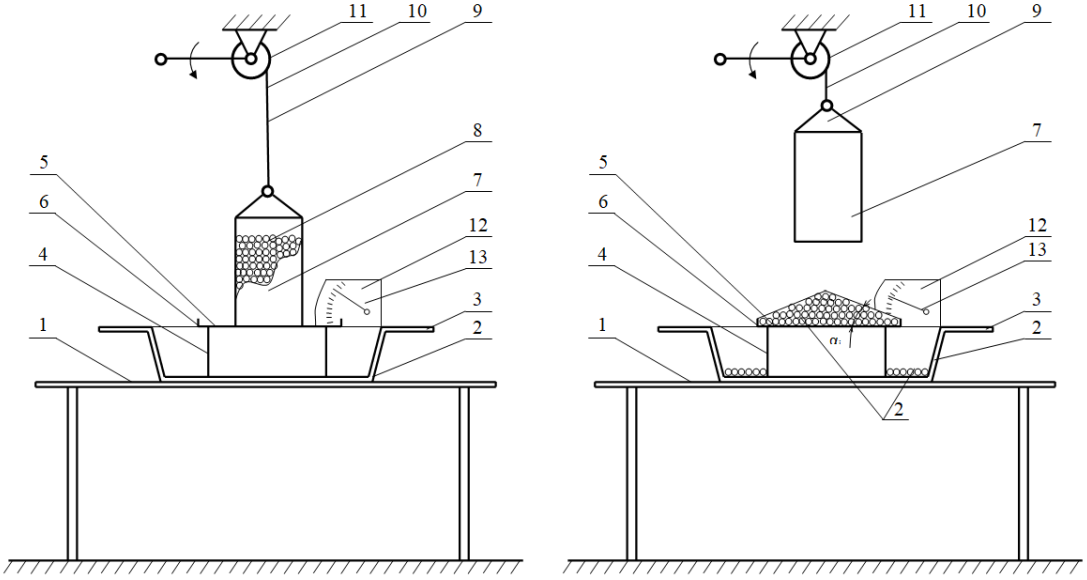


1 - секторная опорная поверхность; 2 – шкала; 3, 4 – вертикальные перегородки; 5 – ребро; 6 – трапецеидальная пластина; 7 – отверстие; 8 – вертикальная шкала

Рисунок 6 – Устройство для определения угла естественного откоса сыпучих материалов (А.С. СССР № 1401250)

Однако, устройство [6] также содержит ряд существенных недостатков. Качество и состав материала секторной опорной поверхности не определены. Ограничивающий раскатывание частиц исследуемого материала по опорной поверхности 1 буртик отсутствует. Отверстие 7 обеспечивает регламентацию формирования части кругового сектора только при исследовании тонкодисперсных легкосыпучих материалов. При исследовании полидисперсных сред над отверстием 7 возможно образование сводов, что исключает какую либо регламентацию условий замеров, а увеличение размеров отверстия 7 приведет к смещению оси конуса (смещению начала отсчета по шкале 2). Вертикальные перегородки вносят погрешность в процессе формирования монолита исследуемого материала за счет пристенных эффектов.

Для исключения погрешностей, обусловленных свойствами материала опорной поверхности, и нивелирования вариативности характеристик формируемого конусного монолита исследуемого материала предложен новый прибор для определения угла естественного откоса сыпучих материалов, рисунок 7.



1 – горизонтальная опорная плоскость; 2 – чаша; 3 – горизонтальный обод;
4 – подставка; 5 – диск; 6 – буртик; 7 – полый цилиндр; 8 – сыпучий материал;
9 – поводок; 10 – нить; 11 – механизм подъема; 12 – угломер с контрольной стрелкой 13

Рисунок 7 – Прибор для измерения угла естественного откоса сыпучих материалов

Исследованиями было запланировано оценить вариативность замеров свойств одних и тех же сыпучих материалов, конусные монолиты которых формируются на плоскостях из разных материалов: ДВП – гладкая сторона; ДВП – шероховатая сторона; стекло органическое; стекло минеральное (оконное); лист из нержавеющей стали; лист стальной крашеный; тарельчатый диск полиэтиленовый; утеплитель – гладкая сторона; пенопласт; резина.

Результаты исследований угла естественного откоса компонентов зерносмесина различных поверхностях в обобщенном виде представлены в таблице 1.

Измерения угла естественного откоса ($\alpha_т$) с опорной поверхностью в виде тарельчатого диска приняты за базу сравнения, так как наличие буртика исключает вариативность замеров от: вида и качественного состояния опорной поверхности; формы частиц исследуемых сыпучих материалов.

Наиболее близкие значения углов естественного откоса к базе сравнения получены на опорных поверхностях из ДВП (шероховатая сторона) и стекла органического. Нужно отметить, что эти поверхности резко отличаются между собой по микрорельефу. Очевидно, что кроме качества поверхности по микрорельефу на величину α влияют и другие факторы – возможно электростатические свойства поверхностей.

Таблица 1 – Результаты исследований угла естественного откоса сыпучих материалов

№ п/п	Вид опорной поверхности	Наименование сыпучих материалов				
		Вика	Сорго	Ячмень цел.	Ячмень колот.	Пшеница цел.
1	ДВП – гладкая сторона	27,4 (26,4)* (20,9)**	34,9 (33,7) (30,0)	26,4 (26,1) (26,1)	37,3 (37,2) (30,5)	35,4 (35,7) (28,5)
2	ДВП – шероховатая сторона	29,7 (29,0) (21,6)	35,2 (34,9) (31,0)	31,2 (32,3) (24,7)	38,5 (38,7) (31,8)	36,7 (36,6) (29,5)
3	Стекло органическое	24,2 23,1 21,1	34,2 (34,5) (23,4)	32,8 (32,8) 24,2	31,2 (30,8) (23,8)	32,7 (32,6) (26,1)
4	Стекло минеральное (оконное)	23,7 (21,5) (15,2)	36,5 (38,0) (19,4)	27,0 (27,2) (24,9)	16,7 16,8 17,0	28,9 (28,7) (15,9)
5	Лист из нержавеющей стали	23,3 (23,4) (20,2)	33,0 (33,0) (26,0)	26,1 (25,7) (25,7)	32,2 (32,2) (24,3)	31,6 (31,5) (25,9)
6	Лист стальной, крашеный	24,5 (23,3) (21,7)	31,4 (31,3) (25,1)	32,0 (32,0) (25,4)	35 (35,1) (27,9)	34,9 (34,6) (27,4)
7	Тарельчатый диск полиэтиленовый	30,4 (30,7) (29,1)	33,2 (33,4) (31,7)	32,8 (32,0) (30,1)	36,0 (36,0) (35,1)	32,8 (33,1) (32,1)
8	Утеплитель – гладкая сторона	27,4 (26,9) (25,4)	32,5 (32,4) (30,1)	29,6 (29,6) (27,3)	34,8 (34,7) (30,9)	31,4 (31,3) (29,1)
9	Пенопласт	24,3 (23,6) (22,9)	33,4 (33,6) (29,7)	29,3 (29,1) (26,1)	36,6 (36,8) (31,4)	30,4 (30,1) (27,7)
10	Резина	26,0 (25,4) (21,1)	36,0 (36,3) (29,5)	31,2 (30,5) (26,2)	35,9 (35,4) (29,4)	34,9 (34,9) (29,6)

* - результаты измерений электронным угломером

** - расчетные значения по замерам основания конуса и его высоты

В пользу этого аргумента свидетельствует значительная разница углов α одноименных материалов на органическом и минеральном стеклах. По целым зерновкам ячменя она составляет 5,8°, а по колотым зерновкам ячменя – 14,5°. Разница огромная, если учесть, что качество поверхности этих материалов обеспечивается практически идентичными технологиями.

Кроме того, по четырем примесным компонентам (вика, сорго, колотые зерновки ячменя, пшеница) получены сопоставимые оценки углов α на принципиально разных по микрорельефу поверхностях – ДВП гладкая и ДВП шероховатая. Средняя (по четырем компонентам) величина $\overline{\alpha}_{гл}$ на гладкой поверхности меньше $\overline{\alpha}_{шр}$, полученной на шероховатой поверхности ДВП, всего на 3,8 %.

Для примесного компонента из семян вики величина угла α_{1i} на всех опорных поверхностях оказалась меньше базы сравнения $\alpha_т$. Это обусловлено низким сопротивлением перекатыванию семян вики по исследуемым опорным поверхностям. Их поверхность очень гладкая, а форма – эллипсоидная с незначительной разницей осевых размеров.

Семена сорго более шероховатые, поэтому величина α_{2i} на 2/3-тях опорных поверхностей превышает базу сравнения – $\alpha_т$. Исключение составляют стальные листы и гладкий утеплитель.

Цельные зерновки ячменя также обладают низким сопротивлением их перекатыванию по опорным поверхностям. Поэтому $\alpha_{3i} < \alpha_т$, но среднее значение снижения углов естественного откоса ($\Delta\overline{\alpha}_{3i}$) относительно базы сравнения ($\alpha_т$) несколько ниже, чем у семян вики (таблица 2):

$$\Delta\overline{\alpha}_{1_i} = \sum_{1}^{9} \Delta\alpha_{1_i}/9 = -43{,}1/9 = -4{,}79 \text{ град;} \quad (1)$$

$$\Delta\overline{\alpha}_{3_i} = \sum_{1}^{9} \Delta\alpha_{3_i}/9 = -\frac{29{,}6}{9} = -3{,}29 \text{ град.} \quad (2)$$

Таблица 2 – Сравнительная оценка углов естественного откоса *i*-го примесного компонента на *j*-ой опорной поверхности (α_{ij}) относительно $\alpha_т$

№ п/п	Вид опорной поверхности	Наименование сыпучих материалов				
		Вика	Сорго	Ячмень (цельные зерновки)	Ячмень (колотые зерновки)	Пшеница
1	ДВП – гладкая сторона	-3	+1,7	-6,4	+1,3	+2,6
2	ДВП – шероховатая сторона	-0,7	+2,0	-1,6	+2,5	+3,9
3	Стекло органическое	-6,2	+1,0	0	-4,8	-0,1
4	Стекло минеральное (оконное)	-6,7	+3,3	-5,8	-19,3	-3,9
5	Лист из нержавеющей стали	-7,1	-0,2	-6,7	-3,8	-1,2
6	Лист стальной, крашеный	-5,9	-1,8	-0,8	-1,0	+2,1
7	Тарельчатый диск полиэтиленовый	0	0	0	0	0
8	Утеплитель – гладкая сторона	-3	-0,7	-3,2	-1,2	-1,4
9	Пенопласт	-6,1	+0,2	-3,5	+0,6	-2,4
10	Резина	-4,4	+2,8	-1,6	-0,1	+2,1

Максимальная величина ($\alpha_{4_{max}}$) получена для колотых зерновок ячменя и опорной поверхности – ДВП шероховатая сторона ($\alpha_{4_{max}}$= 38,5 град.), а минимальное значение получено для того же компонента на опорной поверхности из стекла минерального $-\alpha_{4_{min}}$= 16,7 град. Очевидно, что максимальный диапазон значений α_4 объясняется значительной вариацией форм и размеров примесных частиц из колотых зерновок ячменя.

Из таблицы 2 следует, что поверхностные свойства зерновок ячменя и пшеницы существенно различаются, так как:

$$\Delta\overline{\alpha}_{5_i} = \sum_{1}^{9} \Delta\alpha_{5_i}/9 = +\frac{1{,}7}{9} \approx +0{,}2 \text{ град.} \quad (3)$$

Величина $\Delta\overline{\alpha}_{5_i}$ положительна, а по абсолютному значению в 16 раз меньше, чем $\Delta\overline{\alpha}_{3_i}$.

Выводы:

- результаты оценок величин α всех примесных компонентов существенно зависит от вида и качества опорной поверхности;
- наличие буртика по периферии опорной поверхности нивелирует свойства частиц исследуемых сыпучих материалов, определяющих сопротивление перекатыванию по опорной поверхности, и их качество. Поэтому его наличие может быть принято в качестве необходимого конструктивного элемента эталонного прибора;
- большинство исследуемых опорных поверхностей за исключением нержавеющего стального листа и гладкого утеплителя разнонаправленно влияют на величину $\Delta\alpha_{ij}$;

- для создания эталонного прибора необходимы регламентация динамики формирования конусного монолита из исследуемого сыпучего материала, определенность конструктивного исполнения и размеров, определенность по исследуемым материалам.

Список литературы

1. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов – М.: Машиностроение. – 1964. – 250 с.

2. Авторское свидетельство СССР № 1226000 G01B 3/56. Устройство для определения углов естественного откоса сыпучих материалов / Першин В.Ф., Мандрыка Е.А., Цетович А.Н. – № 3776750/25-28; заявл. 30.07.84; опубл. 23.04.86, Бюл. №15.

3. Авторское свидетельство СССР № 615353 G01B 5/24. Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала / Макшанцев Ю.А., Амельянц А.Г. – № 2348784/25-28; заявл. 06.04.76; опубл. 15.07.78, Бюл. № 26.

4. Авторское свидетельство СССР № 1295201 G01B 5/24. Устройство для измерения углов обрушения и естественного откоса / Першин В.Ф., Мандрыка Е.А., Цетович А.Н., Молочнов В.С. – № 3950780/25-28; заявл. 10.09.85; опубл. 07.03.87, Бюл. № 9.

5. Авторское свидетельство СССР № 697792 G01B 5/00. Устройство для определения углов обрушения и естественного откоса сыпучих материалов / Пульчев И.К. – № 2594895/25-28; заявл. 27.03.78; опубл. 15.11.79, Бюл. № 42.

6. Авторское свидетельство СССР № 1401250 G01B 5/24. Способ определения угла естественного откоса сыпучих материалов и устройство для его осуществления / Дейнеко П.Ф., Зинзивер М.Г. – № 4102095/25-28; заявл. 11.08.86; опубл. 07.06.88, Бюл. № 21.

References

1. Zenkov R.L. Mehanika nasypnyh gruzov – M.: Mashinostroenie. – 1964. – 250 s.

2. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 1226000 G01B 3/56. Ustrojstvo dlja opredelenija uglov estestvennogo otkosa sypuchih materialov / Pershin V.F., Mandryka E.A., Cetovich A.N. – № 3776750/25-28; zajavl. 30.07.84; opubl. 23.04.86, Bjul. №15.

3. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 615353 G01B 5/24. Pribor dlja opredelenija ugla estestvennogo otkosa sypuchego materiala / Makshancev Ju.A., Amel'janc A.G. – № 2348784/25-28; zajavl. 06.04.76; opubl. 15.07.78, Bjul. № 26.

4. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 1295201 G01B 5/24. Ustrojstvo dlja izmerenija uglov obrushenija i estestvennogo otkosa / Pershin V.F., Mandryka E.A., Cetovich A.N., Molochnov V.S. – № 3950780/25-28; zajavl. 10.09.85; opubl. 07.03.87, Bjul. № 9.

5. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 697792 G01B 5/00. Ustrojstvo dlja opredelenija uglov obrushenija i estestvennogo otkosa sypuchih materialov / Pul'chev I.K. – № 2594895/25-28; zajavl. 27.03.78; opubl. 15.11.79, Bjul. № 42.

6. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 1401250 G01B 5/24. Sposob opredelenija ugla estestvennogo otkosa sypuchih materialov i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / Dejneko P.F., Zinziver M.G. – № 4102095/25-28; zajavl. 11.08.86; opubl. 07.06.88, Bjul. № 21.

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.

Тишанинов Константин Николаевич – 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: TishaninovKN@rambler.ru.

Альшинайиин Хайдер Джамил Джабер – ведущий конструктор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: haiderjjsh2000@yahoo.com.

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.

Tishaninov Konstantin – 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: TishaninovKN@rambler.ru.

Alshinayin Haider Jamil Jaber – leading designer of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: haiderjjsh2000@yahoo.com.

Поступила в редакцию (Received): 07.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2020

УДК 631.3.004.58
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-41-51

ВЫПОЛНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАКТОРОВ И ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

[1]Иванов Николай Михайлович
[1]Криков Аркадий Максимович
[2]Федоров Александр Георгиевич
[3]Бердникова Рита Григорьевна

[1]Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук»
[2]ФГКВОУ ВО «Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации»
[3]Томский сельскохозяйственный институт – филиал ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Реферат. *Важнейшим условием поддержания необходимого уровня работоспособности используемых в сельскохозяйственном производстве машин является проведение операций их технического обслуживания и технического диагностирования своевременно и качественно на основе имеющихся руководящих и нормативно-технических документов. Установлено, что одним из направлений дальнейшего совершенствования технической эксплуатации является изыскание приёмов и способов более эффективного оперирования информационным фондом, содержащимся в нормативно-технических документах и публикациях. Таковым направлением является формирование систем интегрированной документации решаемых задач. Описаны приёмы выполнения операций технического обслуживания (ТО) и технического диагностирования (ТД) с применением комплексной системы информационного обеспечения (КСИО), представленной на компьютере в виде взаимосвязанной совокупности трёх основных блоков: общесодержательного, видо-марочногои управляющего. Приводится описание основных функций блоков и общие приёмы их формирования. Процесс формирования варианта КСИО рассматривается поэтапно как подготовка информационных компонентов, подбор необходимого набора контента и представление его на компьютере в цифровом формате, компоновка самой КСИО. Затраты на процесс формирования КСИО сокращаются за счёт использования имеющихся блоков систем информационного обеспечения ТО грузовых автомобилей (тракторов). Перспективен приём создания и использования базы контентов по множеству марок машин. Предлагаемая КСИО*

создаётся на основе информационных технологий, что позволяет значительно совершенствовать информационное обеспечение рассматриваемых процессов обслуживания машин за счёт применения гипертекстовой информационной технологии и объектно-ориентированного подхода. Переход к цифровой форме представления нормативно-технической документации является одной из основ дальнейшего совершенствования как самой указанной документации, так и повышения качества проведения операций обслуживания.

***Ключевые слова**: комплексная система информационного обеспечения, унифицированная структура, операции обслуживания, техническое обслуживание, техническое диагностирование, трактор, грузовой автомобиль.*

THE PERFORMING MAINTENANCE OPERATIONS FOR TRACTORS AND TRUCKS USING A COMPREHENSIVE INFORMATION SUPPORT SYSTEM

[1]Ivanov Nikolay
[1]Krikov Arkady
[2]Fedorov Alexander
[3]Berdnikova Rita

[1]Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture
Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences
[2]FSOME HE "Novosibirsk military Institute named after general of the Army I.K. Yakovlev of National Guard Troops of the Russian Federation"
[3]FSBEI HE "Novosibirsk state agrarian University"

***Abstract.** The most important condition for maintaining the necessary level of performance of machines used in agricultural production is to conduct operations for their maintenance and technical diagnostics in a timely and high-quality manner based on existing guidelines and regulatory and technical documents. It has been established that one of the directions for further improvement of technical operation is the search for techniques and methods for more effective operation of the information fund contained in the regulatory and technical documents and publications. This direction is the formation of integrated documentation systems for solving problems. Techniques for performing maintenance operations and technical diagnostics using a comprehensive information support system presented on a computer in the form of an interconnected set of three main blocks: General content, view-brand and control. The main functions of blocks and General methods of their formation are described. The process of forming the variant CISS is seen in stages as preparation of components, selection of the required set of content and view it on the computer in digital format, the layout of the CISS. The cost of forming a CSIR is reduced by using the existing blocks of information support systems for maintenance of trucks (tractors). The method of creating and using a database of content for a variety of car brands is promising. The proposed KSIO is created on the basis of information technologies, which makes it possible to significantly improve the information support of the considered machine maintenance processes through the use of hypertext information technology and an object-oriented approach. The transition to a digital form of presentation of regulatory and technical documentation is one of the foundations for further improvement of both the specified documentation itself and improving the quality of maintenance operations.*

***Keywords:** integrated information support system, unified structure, maintenance operations, maintenance, technical diagnostics, tractor, truck.*

Введение. Эффективность механизации сельскохозяйственного производства в современных условиях определяется техническим состоянием тракторов, грузовых автомобилей и других машин во многом зависит от их работоспособности [18, 20]. Для поддержания необходимого уровня работоспособности используемых машин важнейшее условие - проведение операций их технического обслуживания (ТО) и технического диагностирования (ТД) своевременно и качественно на основе имеющихся руководящих и нормативно-технических документов. На современном этапе проводимые работы по ТО и ТД машин являются объёмными, что обусловлено разнообразностью и множественностью информационных параметров их содержания. Это

объясняется тем, что конструкции современных машин становятся сложнее, а их энергонасыщенность возрастает, соответственно усложняются операции по их ТО и ТД, повышаются требования к знаниям и умениям специалистов, проводящих эти операции [18, 20]. Поэтому одним из путей улучшения технической эксплуатации машин является разработка более совершенных способов усвоения и использования имеющихся умений, навыков и информационных материалов, представляемых в технической документации и публикациях с учётом того, что такие сведения составляют основу третьего элемента системы технической эксплуатации машин.

Роль умений и навыков в повышении эффективности производства весьма высока во всех отраслях производства [17]. Новые знания необходимы для интеграции в различные системы, в которых отражаются как технологические приемы выполнения работ, так и определённые теоретические положения, концепции и научные принципы, направленные на дальнейшее повышение эффективности рассматриваемых процессов путём более рациональной работы с информацией и с имеющимся фондом знаний. Из изложенного следует вывод о том, что одним из направлений дальнейшего совершенствования технической эксплуатации машин является изыскание приёмов и способов более эффективного оперирования информацией, содержащийся в нормативно-технических документах и публикациях. Таковым направлением является формирование систем интегрированного информационного материала решаемых задач.

При выполнении операций обслуживания используется множество различного оборудования и материалов [7, 15, 21]. В силу указанного аспекта специалистам по обслуживанию техники необходимо пользоваться не только сведениями по технологиям выполняемых операций, но и по рациональному использованию технических средств в условиях, когда указанные сведения приводятся во многих литературных источниках и в различных разделах нормативно-технической документации. На поиск, обобщение и пользование этими сведениями затрачивается значительное количество времени и энергии. Следовательно, можно сделать вывод, что существенным приёмом повышения качества проведения операций ТО и ТД с одновременным сокращением временных затрат является информационное обеспечение не только процессов выполнения всего комплекса операций ТО и ТД, но и вспомогательных работ, используя все необходимые сведения, включая расчётные.

Специалистами ряда стран мира осознана необходимость и ведутся исследования, направленные на непрерывное информационное сопровождение технических и технологических разработок [13], проводимых с момента проектирования и до времени их утилизации в рамках технологий CALS. Такое информационное сопровождение может быть доступно каждому специалисту, выполняющему обслуживание машин, в электронном виде как полный комплект нормативно-технической документации (НТД) по всем аспектам обслуживания машин [10]. Об этом свидетельствует отечественный опыт обслуживания оборудования [9] и различных систем [3, 8]. В дополнение к данному информационному обеспечению средствами автоматизированных вычислений на компьютере можно получить ожидаемые показатели технического состояния узлов и агрегатов обслуживаемых машин в соответствии с нормами периодичностей их обслуживания. Указанные средства могут быть интегрированы на компьютере в комплексные системы информационного обеспечения (КСИО) выполнения в едином технологическом процессе всех операций ТО и ТД тракторов, грузовых автомобилей и других машин [19]. К настоящему времени разработаны лишь определённые компоненты указанной информационной системы [5, 6, 25], поэтому создание КСИО является одной из актуальных задач современной инженерной науки. В настоящее время в связи с переходом страны к цифровым формам представления информационных материалов реализация комплексных информационных систем имеет большую перспективу.

Целью данной работы является разработка методических приёмов, используемых при создании КСИО выполнения операций ТО и ТД машин [28] применительно к тракторам типа Кировец [5, 6] и грузовым автомобилям основных моделей КамАЗ [25]. Основополагающая модель такой разработки основана на технологических приёмах выполнения работ [2, 10, 12, 14, 27].

Материалы и методы. Учитывая тот факт, что на практике исполнителями операций ТО и ТД являются механизаторы (слесари-наладчики) и специалисты технических служб, имеющие навыки работы на компьютерах, как правило, на уровне пользователей, предлагаемая КСИО должна включать простой, легко осваиваемый интерфейс, а также быть адаптированной к различному

уровню подготовки специалистов в вопросах ТО и ТД. Так как система технического обслуживания в АПК является планово-предупредительной, то для своевременного устранения возможных неисправностей и увеличению срока использования машин, при разработке информационной системы, необходимо ориентироваться на выполнении всей совокупности операций ТО и ТД, которые предусмотрены в нормативно-технической документации.

Техническое диагностирование, являясь неотъемлемой частью ТО, все ещё не стало единой составляющей в системе обеспечения работоспособности машин [21].Технологические карты проведения ТО и ТД не являются составляющими нормативно-технической документацией машин. Данные карты приводятся в различных множественных источниках и носят, как правило, разрозненный рекомендательный характер [22, 23]. К тому же технологические карты ТО не представлены в единой совокупности с операциями ТД, что требует от их исполнителей высокого профессионального уровня [22, 23]. Рассматриваемая КСИО предупредительно включает в себя решение этих вопросов представлением необходимых материалов в едином обобщенном виде к соответствующим маркам машин и представляет технологический процесс ТО и ТД единым целым.

На конкретном этапе в литературе был акцент на средства мультимедиа с расчётом на то, что это является современным средством представления многогранной информации [11, 26]. Однако практические результаты не оправдали ожидания, так как на подбор видеоматериалов требуется большой объём затрат труда и времени. Исходя из этого, авторами было выбрано направление, связанное с использованием гипертекстовой технологии организации нормативно-технического материала.

При разработке системы информационного обеспечения ТО тракторов (СИОТОТ) и грузовых автомобилей (СИОТОГА) вначале были обоснованы общие требования к ним, которые не существенно зависят от учитываемых видов и моделей машин. Поэтому данный этап при создании КСИО с учетом к информационному обеспечению выполнения операций ТО и ТД для рассматриваемых видов машин может быть исключён. Если же в процессе разработки КСИО (для некоторых видов и моделей машин) у исполнителя возникнут новые подходы и идеи по изменению содержательных частей или блоков, описанных ниже, то могут появиться новые требования к их реализации. Однако вопросы обоснования таких требований выходят за рамки данной статьи.

Одной из основных составляющих системы, как известно, является её структура. Исходя из этого, авторы рассмотрели унифицированную структуру КСИО, а методику её разработки предложили свести к обобщению контентов уже апробированных основных блоков СИОТОТ и СИОТОГА, достаточно полно отражающих содержательные компоненты по видам и марочному составу обслуживаемых машин.

Для унификации структуры КСИО было предложено сначала выделить видо-марочные (содержание которых непосредственно определяются видом и маркой машин) и общесодержательные (информационные компоненты которых мало зависят от модели обслуживаемой машины и отражают сведения общего характера) блоки. Рассматриваемая система информационного обеспечения может включать в себя множество составляющих компонентов в соответствии с количественным наличием техники в хозяйстве, что усложняет выполняемые процессы по корректировке или модернизации тех или иных составляющих имеющихся блоков в процессе реального использования КСИО. Группировка информационных блоков по предопределившимся видам информационного материала может предотвратить подобную ситуацию, поэтому для нормализации и упорядочения работы КСИО необходимо иметь в ней единый управляющий блок, способствующий выбору какой-то конкретной обслуживаемой машины из имеющихся в системе. Также этот блок должен способствовать переходу ко всем другим блокам (подблокам), содержащим необходимые сведения по видам и маркам тракторов, автомобилей или других машин.

Заметим, что применение информационных технологий является основой создания КСИО, позволяющей значительно совершенствовать информационное обеспечение рассматриваемых процессов обслуживания машин за счёт применения гипертекстовой информационной технологии и объектно-ориентированного подхода к созданию таких систем [4, 16, 29]. Авторы отказались от применения средств мультимедиа в силу трудоёмкости их использования и малой

приспособленности к реальным условиям.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим описание основных параметров и компонентов управляющего, видо-марочных и общесодержательных блоков, объединенных в структуре КСИО.

Информационные блоки для рассматриваемых моделей тракторов

1. Блок «Посты и пункты технического обслуживания тракторов (ПТО)». В нем собран информационный материал о постах и пунктах ТО тракторов с их характеристиками и комплектующим оборудованием. Блок может дополняться новыми сведениями и соответствующими другими информационными компонентами.

Сведения данного блока, конкретизированные к условиям реального хозяйства, применимы при поступлении конкретного трактора на обслуживание. На основе сопоставительного анализа имеющегося и представленных в данном блоке вариантов постов и пунктов технического обслуживания тракторов специалисты инженерной службы хозяйств могут решать задачи по дальнейшему совершенствованию имеющегося у них варианта поста или пункта. Так как имеющиеся пункты технического обслуживания в большинстве своём не соответствуют необходимым требованиям по оснащённости, а их оснастка постоянно претерпевает изменения, такой процесс совершенствования становится актуальным.

2. Устройства обслуживаемых моделей тракторов $МТ_1$, $МТ_2$, …, $МТ_n$, рассматриваемых в КСИО, где n –рассматриваемое в информационной системе число моделей тракторов. Для каждой марки трактора выделен самостоятельный подблок, в котором трактор рассматривается как совокупность основных узлов. Следует отметить первые части наименований узлов служат связующими для основных узлов трактора. Здесь же предусмотрена возможность просмотра общих сведений о самом блоке (используя переход к выбранному варианту модели с помощью гиперссылки).

Заметим, что такие подблоки (в количестве n) достаточно объёмны, насыщены многими рисунками, схемами и таблицами. В них отражается полное описание всей конструкции рассматриваемой модели трактора, так как без знания подробных особенностей устройства трактора очень сложно обеспечить его высококачественное обслуживание. Это особенно проявляется на начальном этапе работы обслуживающего персонала и после определённого перерыва в его деятельности. Применение гиперссылок и многоуровневое представление сгруппированного материала позволяют значительно сократить затраты труда на поиск необходимых материалов.

3. Блок «Технологии выполнения операций ТО и ТД тракторов учитываемых марок ($МТ_1$, $МТ_2$, …, $МТ_n$)». Он объединяет самостоятельные подблоки с информацией по каждой марке тракторов, по всем видам их технического обслуживания при использовании и хранении. Блок включает в себя подробный информационный материал с технологической последовательностью по операциям, проводимым при ТО и ТД тракторов, и сведениями по правилам пользования применяемыми инструментами, приборами и материалами. Такие сведения представляются полным набором технологических карт на операции ТО и ТД по всем учитываемым в КИСО моделям $МТ_1$, $МТ_2$, …, $МТ_n$.

Информация данного подблока также достаточно объёмна. При надобности, пользователь может на любом месте технологической карты по сформированной разработчиком гиперссылке перейти к просмотру имеющихся сведений и данных как по видам ТО, так и марке или виду оборудования, прибора и инструмента. В подблоке широко используется приём многоуровневой детализации формируемых сведений.

4. Блок «Оценка остаточного ресурса узлов и агрегатов обслуживаемых тракторов». В блоке учитываются все измеряемые в процессе ТД параметры технического состояния моделей тракторов $МТ_1$, $МТ_2$, …, $МТ_n$. Измеряемые параметры являются индивидуальными по каждому трактору согласно текущих данных их технического диагностирования по всем измеряемым узлам и агрегатам. Блок составлен в виде информационных программно-алгоритмических средств. С его помощью расчёты выполняются компьютерной программой, замещающей использование трудоёмких графических номограмм.

При реализации данного блока применительно к определённой модели трактора необходимо иметь по каждому параметру нормативно-справочные сведения по их номинальному и предельно-допустимому значениям. Однако в концентрированном виде такие сведения отсутствуют, поэтому

систематизация и концентрация таких сведений является актуальной задачей современной инженерной науки.

5. Блок «Хронология состояний обслуживаемых тракторов». Блок отвечает за учёт технического состояния тракторов, заложенных в КСИО. Содержит информацию по каждому трактору в отдельности о выполнения операций ТО и ТД по их обслуживанию, предназначенную для специалистов инженерных служб хозяйств. В блоке можно найти данные по определённым подразделениям хозяйств, важные для анализа причин возникновения часто встречаемых неисправностей тракторов и корректировки операций ТО узлов и агрегатов. Расчётные сведения блока, индивидуальные по каждому трактору целесообразно использовать для уточнения периодичности проведения их обслуживаний. Для принятия должностными лицами хозяйства данных управленческих решений в КСИО формируется соответствующий бланк с расчётами.

6. Блок «Нормы расхода и затрат ресурсов для обслуживания тракторов учитываемых моделей $МТ_1$, $МТ_2$, …, $МТ_n$». В блоке приведены нормативные сведения о ресурсных затратах труда и материалов при проведении ТО и ТД тракторов.

Информационные блоки для рассматриваемых моделей грузовых автомобилей

1. Блок «Посты и пункты технического обслуживания грузовых автомобилей». Содержит общие сведения о пунктах технического обслуживания. Дает информацию о постах, участках, их характеристиках, предназначении и оснащении. Приводятся схемы возможных экспликаций данных помещений. Этот блок аналогичен одноименному блоку применительно к тракторам.

2. Блок «Устройство грузовых автомобилей». Содержит информацию о моделях $ГА_1$, $ГА_2$, … $ГА_K$, включенных в КСИО; где К – количество учитываемых моделей грузовых автомобилей. Блок содержит информационный материал об устройстве (конструкции) обслуживаемых автомобилей. Блок формируется по той же методике, что и для тракторов.

3. Блок «Технологии выполнения операций ТО и ТД грузовых автомобилей учитываемых моделей ($ГА_1$, $ГА_2$, …, $ГА_K$)». Блок по структуре аналогичен однотипному блоку для тракторов.

4. Блок «Оценка остаточного ресурса узлов и агрегатов». Учитываются обслуживаемые грузовые автомобили включённых в КСИО моделей $ГА_1$, $ГА_2$, …, $ГА_K$. Расчёт остаточного ресурса узлов и агрегатов производится программно-алгоритмическими средствами электронной таблицы EXCEL-2010. По своей структуре данный блок аналогичен соответствующему блоку из системы информационного обеспечения обслуживания тракторов. Для расчёта остаточного ресурса узлов и агрегатов рассматриваемых грузовых автомобилей, взамен применяемых трудоёмких расчётов по номограммам, требуется только заполнить предлагаемую таблицу соответствующими исходными данными. По результатам расчётов строят отдельные таблицы с управленческими рекомендациями. На этот блок распространяется примечание о необходимости иметь нормативно-справочные данные по номинальному и предельно-допустимому значениям применительно к учитываемым моделям распространяется и на этот блок.

5. Блок «Хронология состояний обслуживаемых грузовых автомобилей». Данный блок содержит информацию, аналогичную приведенной выше для блока 5 раздела, касающегося моделей тракторов.

6. Блок «Нормы расхода и затрат ресурсов для грузовых автомобилей учитываемых моделей». Блок в целом построен по аналогии с блоком 6 раздела, касающегося моделей тракторов. Отличие в том, что здесь приводятся сведения о взаимозаменяемости запасных частей грузовых автомобилей в процессе устранения их неисправностей.

Блоки по другим видам машин формируются аналогично описанным.

Блоки общесодержательного типа

1. Блок «Оборудование, инструменты и приборы». Данный блок содержит перечень отражённых в технологических картах проведения операций ТО и ТД приспособлений, с их описанием и правилами использования.

С учётом многообразия применяемого оборудования, инструментов и приборов для удобства работы с данными сведениями применимы приёмы обобщения и группирования. С этой целью информационный материал блока начинается с перечня группы объектов. Посредством гиперссылок каждая группа объектов раскрывается до конкретного устройства, приспособления. При таком формировании блока легче осуществляется необходимая корректировка сведений и ускоряется просмотр искомой информации, минуя промежуточный материал.

2. Блок «Топливно-смазочные и расходные материалы». Отражает нормативные сведения по используемым топливно-смазочным материалам, а также по множеству специальных расходных материалов, используемых при ТД и ТО рассматриваемых машин. Блок сформирован аналогично вышеописанным.

3. Блок «Справочник предприятий ресурсного обеспечения (оборудование и оснастка, расходные материалы, сервисные услуги) при обслуживании рассматриваемых видов машин». В блоке систематизированы все сведения о близлежащих предприятиях и об их ресурсах, которые могут быть использованы в процессе проведения операций обслуживания рассматриваемых видов машин. Приведенная информация помогает в поиске необходимых предприятий для приобретения необходимых материалов.

Три основных блока (блока-меню) сформированы для пользования системой информационного обеспечения: один ориентирован на трактора, второй – на грузовые автомобили, а третий представляет собой блок общесодержательного типа.

Для оценки эффективности применения КСИО в полном объёме применимы методические приёмы оценки эффективности применения СИОТОТ и СИОТОГА [24].

На примере КСИО показана целесообразность формирования более детальной на всех уровнях нормативно-технической документации. Такой вид документации способствует более качественному её освоению и применению специалистами технических служб. Решение этого вопроса возможно на методически отработанной основе, что реализовать в бумажном варианте весьма проблематично.

На примере обслуживания машин данная документация представляется в виде расчленённых на определённое число частей. Данные части функционируют во взаимодействии друг с другом и позволяют специалисту технических служб просмотреть их в необходимом для него варианте. Такое представление информации способствует сокращению затрат времени на оперирование необходимой информацией по ТО и ТД и, как следствие, повышению качества проведения данных работ.

Попытки совершенствования представления искомой информации по обслуживанию машин уже имели место ранее для процессов обслуживания тракторов [1], но при этом использовалось лишь двухуровневое представление информации. Каждому виду проводимых операций по ТО соответствовал определённый символ. Не было оперативных переходов от одного уровня представления информации к другому. Многоуровневое представление информации с использованием информационных технологий на базе персонального компьютера позволяет полнее реализовывать возможности такого приёма во всех используемых инструктивных материалах, руководствах, технических условиях и других сведениях. Разработка приёмов многоуровневого представления определённых частей нормативно-технической документации охватывает широкий круг вопросов и в данной работе подробно не рассматривалась.

Заключение. За счёт аналитического обобщения структурных блоков СИОТОТ и СИОТОГА, а также на основе ввода в рассмотрение общесодержательных, видо-марочных и управляющего блоков представлена структура КСИО, в которой вопросы информационного обеспечения технического обслуживания и технического диагностирования тракторов, грузовых автомобилей и других машин отражаются в единстве процесса обслуживания.

Данную структуру, а также состав и основные функции содержательных, видо-марочных и управляющего блоков КСИО целесообразно реализовывать на основе изложенных в работе методических положений. Наличие КСИО позволяет совершенствовать не только выполнение операций обслуживания машин, но и облегчает решение ряда задач по обеспечению работоспособности их парка.

Формирование варианта КСИО связано с подготовкой информационных компонент, включаемых в её состав. Этот этап достаточно трудоёмок и связан с подбором необходимого контента, представленного на компьютере в цифровом формате, а также компоновкой на его основе самой КСИО. Для сокращения временных и трудозатрат следует использовать уже созданные блоки СИОТОТ и СИОТОГА. Можно воспользоваться базой контентов по множеству имеющихся марок тракторов, грузовых автомобилей и других видов машин, а также использовать приём горизонтальной интеграции. Блоки КСИО должны представляться определёнными уровнями детализации, зависящими от их содержания.

Быстрое реагирование на появление инноваций в вопросах обслуживания машин является одним из эффективных методов повышения качества их обслуживания. Рассматриваемая система информационной поддержки предполагает реализацию метода, позволяющего оперативно (или периодически) пополнять КСИО новой или уточняющей информацией по всем аспектам обслуживания машин.

Переход к цифровой форме представления нормативно-технической документации является одной из основ дальнейшего совершенствования как самой указанной документации, так и повышения качества проведения операций обслуживания. В будущем видится, что и производители машин будут прикладывать к ним инструктивные материалы в таком виде. Было бы весьма рационально оснащать документацией и различными руководящими материалами в электронном виде все выпускаемые стенды, установки и устройства, используемые в процессе технической эксплуатации современных машин. По международным стандартам, поставщики продукции должны предоставлять покупателю необходимые для каталогизации технические сведения о товаре в электронном виде, а при их описании использовать одни и те же (то есть унифицированные) термины и обозначения.

Таким образом, разработка и использование комплексных систем информационного обеспечения остаётся одной из актуальных задач в совершенствовании технической эксплуатации машин, включая их ТО и ТД.

Список литературы

1. Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 271 с.

2. Альт В.В. Информационные технологии как фактор повышения эффективности агропромышленного комплекса. // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: матер. 4-й международной науч.-практ. конф. «Агроинфо-2009» (Россия, г. Новосибирск, 14–15 октября 2009 г.). – Новосибирск: Изд-во Сибирского физико-технического института аграрных проблем, 2009. – С. 258–259.

3. Барсуков И.Б. Нужна консолидация знаний / И.Б. Барсуков, С.А. Каплоухий, Е.С. Сильников // Атомная стратегия. – 2004. – № 12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=196.

4. Бельков С.А., Гольдштейн С.Л. Представление материала текстовых и гипертекстовых источников сетью паттернов. // Информационные технологии. – 2010. – № 1. – С. 29–34.

5. Бердникова Р.Г., Криков А.М. Информационное обеспечение технического обслуживания тракторов // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т.113. – С. 173–178.

6. Бердникова Р.Г. Техническое обслуживание тракторов с использованием системы информационного обеспечения: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 – Новосибирск, 2013. – 18 с.

7. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высших учебных заведений / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов, А.В. Неговора, А.С. Иванов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.

8. Евгенев Г.Б. Системология инженерных знаний: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Системы автоматизированного проектирования» – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 373 с.

9. Затонский А.В. Оптимизация модели информационной системы поддержки техобслуживания и ремонта оборудования // Информационные технологии. – 2007. – №3. – С. 2–7.

10. Информационное обеспечение инженерно-технической системы АПК: матер. Выездного заседания Бюро Отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии – 20 декабря 2000 г., ФГНУ «Росинформагротех»); под ред. Н.В. Краснощекова и др. – М.: ФГНУ «Россинформагротех», 2001. – 104 с.

11. Искусство мультимедиа. Мультимедиа и техника: монография / В.Д. Сошников, И.Р. Кузнецов, А.В. Денисов и др.; под ред. В.Д. Сошникова.– Санкт-Петербург : СПбГУП, 2010. –198 с.

12. Концепция модернизации инженерно-технической системы сельского хозяйства России на период до 2020 года: монография / В.И. Черноиванов, Ю.Ф. Лачуга, А.А. Ежевский и др. – М.: Изд-во Российского НИИ информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», 2009. – 68 с.

13. Концепция непрерывной информационной поддержки жизненного цикла (CALS-

технологии) сельскохозяйственных мобильных энергетических средств / И.П. Ксеневич, Л.С. Орсик. В.Г. Шевцов и др. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. –142 с.

14. Кузин Е.С. Представление знаний и решение информационно-сложных задач в компьютерных системах // Приложение к журналу «Информационные технологии». – 2004. – № 4. – 43 с.

15. Криков А.М., Бердникова Р.Г. Разработка системы информационного сопровождения технического обслуживания тракторов // Электроэнергетика в сельском хозяйстве: матер. Международной науч.-практ.конф. – Новосибирск: Изд-во РАСХН, Сиб. отд-ние, 2009. – С. 179–183.

16. Макгенри В., Линч К., Хупс Л. Управление текстом и гипертекст: чему учит Аризонская аналитической информационная система // Программные продукты и системы. – 1990. – № 3. – С. 13–22.

17. Макаров В.Л. Экономика знаний: уроки для России // Наука и жизнь. – 2003. – №5. – С. 26–30.

18. Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в условиях Сибири: учеб.-метод. пособие / Н.М. Иванов, А.Е. Немцев, В.В. Коротких и др. ; под ред. Н.М. Иванова, А.Е. Немцева. – Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд-ние. СибИМЭ, 2012. – 106 с.

19. Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин по результатам диагностирования / В.М. Михлин, М.А. Халфин, С.Б. Мухамадеев и др. – М.: Информагротех, 1995. – 62 с.

20. Соломкин А.П., Марламов Э.Т. Теоретическое обоснование построения системы техсервиса сельскохозяйственной техники в АПК Сибири: монография – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. – 179 с.

21. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 311900 «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе» / В.И. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Э. Северный и др. ; под ред. В.И. Черноиванова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГОСНИТИ; Челябинск: Челяб. гос. агроинженерный ун-т, 2003. – 992 с.

22. Технологическое руководство по диагностированию тракторов и самоходных сельскохозяйственных комбайнов / А.В. Колчин и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 240 с.

23. Технология диагностирования тракторов. – Москва: ГОСНИТИ, 1973. – 279 с.

24. Федоров А.Г., Криков А.М. Оценка эффективности технического обслуживания грузовых автомобилей с применением системы информационной поддержки // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация: матер. I Всероссийской заочной науч.-практ. конф. (Россия, г. Чита, 25 – 28 октября 2016 г.). – Чита: Изд-во Забайкальского государственного ун-та, 2016. – С. 136–143.

25. Федоров А.Г., Криков А.М. Система информационного обеспечения технического обслуживания грузовых автомобилей АПК // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124, № 1. – С.36–41.

26. Хомоненко А.Д., Гофман В.Э., Мещеряков Е.В. Delphi 7: наиболее полное руководство: визуальная разработка приложений, свойства, методы, классы, компоненты, локальные и удаленные базы данных, работа с электронной почтой и Web-документами – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 1120 с.

27. Черноиванов В.И., Черепанов С.С.. Научные основы технической эксплуатации сельскохозяйственных машин – М.: ГОСНИТИ, 1996. – 360 с.

28. Черноиванов В.И., Габитов И.И., Неговора А.В. Цифровые технологии и электронные средства в системе технического обслуживания и ремонта автотракторной и комбайновой техники // Труды ГОСНИТИ. – 2018. – Т. 130. – С. 74–81.

29. Шуткин Л.В. Паттерновое моделирование гипертекстов // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. – 1995. – № 9. – С. 20–26.

References

1. Ageev L.E., Bahriev S.H. Jekspluatacija jenergonasyshhennyh traktorov. – M.: Agropromizdat, 1991. – 271 s.

2. Al't V.V. Informacionnye tehnologii kak faktor povyshenija jeffektivnosti agropromyshlennogo kompleksa. // Informacionnye tehnologii, sistemy i pribory v APK: mater. 4-j mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. «Agroinfo-2009» (Rossija, g. Novosibirsk, 14–15 oktjabrja 2009 g.). – Novosibirsk: Izd-vo Sibirskogo fiziko-tehnicheskogo instituta agrarnyh problem, 2009. – S. 258–259.

3. Barsukov I.B. Nuzhna konsolidacija znanij / I.B. Barsukov, S.A. Kaplouhij, E.S. Sil'nikov // Atomnaja strategija. – 2004. – № 12 [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa:

http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=196.

4. Bel'kov S.A., Gol'dshtejn S.L. Predstavlenie materiala tekstovyh i gipertekstovyh istochnikov set'ju patternov. // Informacionnye tehnologii. – 2010. – № 1. – S. 29–34.

5. Berdnikova R.G., Krikov A.M. Informacionnoe obespechenie tehnicheskogo obsluzhivanija traktorov // Trudy GOSNITI. – 2013. – T.113. – S. 173–178.

6. Berdnikova R.G. Tehnicheskoe obsluzhivanie traktorov s ispol'zovaniem sistemy informacionnogo obespechenija: avtoref. dis. … kand. tehn. nauk: 05.20.03 – Novosibirsk, 2013. – 18 s.

7. Diagnostika i tehnicheskoe obsluzhivanie mashin: uchebnik dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij / A.D. Anan'in, V.M. Mihlin, I.I. Gabitov, A.V. Negovora, A.S. Ivanov. – Moskva: Izdatel'skij centr «Akademija», 2008. – 432 s.

8. Evgenev G.B. Sistemologija inzhenernyh znanij: ucheb. posobie dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po special'nosti «Sistemy avtomatizirovannogo proektirovanija» – M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2001. – 373 s.

9. Zatonskij A.V. Optimizacija modeli informacionnoj sistemy podderzhki tehobsluzhivanija i remonta oborudovanija // Informacionnye tehnologii. – 2007. – №3. – S. 2–7.

10. Informacionnoe obespechenie inzhenerno-tehnicheskoj sistemy APK: mater. Vyezdnogo zasedanija Bjuro Otdelenija mehanizacii, jelektrifikacii i avtomatizacii Rossel'hozakademii – 20 dekabrja 2000 g., FGNU «Rosinformagroteh»); pod red. N.V. Krasnoshhekova i dr. – M.: FGNU «Rossinformagroteh», 2001. – 104 s.

11. Iskusstvo mul'timedia. Mul'timedia i tehnika: monografija / V.D. Soshnikov, I.R. Kuznecov, A.V. Denisov i dr.; pod red. V.D. Soshnikova.– Sankt-Peterburg : SPbGUP, 2010. –198 c.

12. Koncepcija modernizacii inzhenerno-tehnicheskoj sistemy sel'skogo hozjajstva Rossii na period do 2020 goda: monografija / V.I. Chernoivanov, Ju.F. Lachuga, A.A. Ezhevskij i dr. – M.: Izd-vo Rossijskogo NII informacii i tehniko-jekonomicheskih issledovanij po inzhenerno-tehnicheskomu obespecheniju agropromyshlennogo kompleksa», 2009. – 68 s.

13. Koncepcija nepreryvnoj informacionnoj podderzhki zhiznennogo cikla (CALS-tehnologii) sel'skohozjajstvennyh mobil'nyh jenergeticheskih sredstv / I.P. Ksenevich, L.S. Orsik. V.G. Shevcov i dr. – Moskva: FGNU «Rosinformagroteh», 2004. –142 s.

14. Kuzin E.S. Predstavlenie znanij i reshenie informacionno-slozhnyh zadach v komp'juternyh sistemah // Prilozhenie k zhurnalu «Informacionnye tehnologii». – 2004. – № 4. – 43 s.

15. Krikov A.M., Berdnikova R.G. Razrabotka sistemy informacionnogo soprovozhdenija tehnicheskogo obsluzhivanija traktorov // Jelektrojenergetika v sel'skom hozjajstve: mater. Mezhdunarodnoj nauch.-prakt.konf. – Novosibirsk: Izd-vo RASHN, Sib. otd-nie, 2009. – S. 179–183.

16. Makgenri V., Linch K., Hups L. Upravlenie tekstom i gipertekst: chemu uchit Arizonskaja analiticheskoj informacionnaja sistema // Programmnye produkty i sistemy. – 1990. – № 3. – S. 13–22.

17. Makarov V.L. Jekonomika znanij: uroki dlja Rossii // Nauka i zhizn'. – 2003. – №5. – S. 26–30.

18. Povyshenie jeffektivnosti tehnicheskogo obsluzhivanija i remonta sel'skohozjajstvennoj tehniki v uslovijah Sibiri: ucheb.-metod. posobie / N.M. Ivanov, A.E. Nemcev, V.V. Korotkih i dr. ; pod red. N.M. Ivanova, A.E. Nemceva. – Novosibirsk: RASHN, Sib. otd-nie. SibIMJe, 2012. – 106 s.

19. Sistema tehnicheskogo obsluzhivanija i remonta sel'skohozjajstvennyh mashin po rezul'tatam diagnostirovanija / V.M. Mihlin, M.A. Halfin, S.B. Muhamadeev i dr. – M.: Informagroteh, 1995. – 62 s.

20. Solomkin A.P., Marlamov Je.T. Teoreticheskoe obosnovanie postroenija sistemy tehservisa sel'skohozjajstvennoj tehniki v APK Sibiri: monografija – Ulan-Udje: Izd-vo VSGUTU, 2018. – 179 s.

21. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom hozjajstve: ucheb. posobie dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po special'nosti 311900 «Tehnologija obsluzhivanija i remonta mashin v agropromyshlennom komplekse» / V.I. Chernoivanov, V.V. Blednyh, A.Je. Severnyj i dr. ; pod red. V.I. Chernoivanova. – 2-e izd., pererab. i dop. – Moskva: GOSNITI; Cheljabinsk: Cheljab. gos. agroinzhenernyj un-t, 2003. – 992 s.

22. Tehnologicheskoe rukovodstvo po diagnostirovaniju traktorov i samohodnyh sel'skohozjajstvennyh kombajnov / A.V. Kolchin i dr. – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2006. – 240 s.

23. Tehnologija diagnostirovanija traktorov. – Moskva: GOSNITI, 1973. – 279 s.

24. Fedorov A.G., Krikov A.M. Ocenka jeffektivnosti tehnicheskogo obsluzhivanija gruzovyh avtomobilej s primeneniem sistemy informacionnoj podderzhki // Nazemnye transportno-tehnologicheskie sredstva: proektirovanie, proizvodstvo, jekspluatacija: mater. I Vserossijskoj zaochnoj

nauch.-prakt. konf. (Rossija, g. Chita, 25 – 28 oktjabrja 2016 g.). – Chita: Izd-vo Zabajkal'skogo gosudarstvennogo un-ta, 2016. – S. 136–143.

25. Fedorov A.G., Krikov A.M. Sistema informacionnogo obespechenija tehnicheskogo obsluzhivanija gruzovyh avtomobilej APK // Trudy GOSNITI. – 2016. – T. 124, № 1. – S.36–41.

26. Homonenko A.D., Gofman V.Je., Meshherjakov E.V. Delphi 7: naibolee polnoe rukovodstvo: vizual'naja razrabotka prilozhenij, svojstva, metody, klassy, komponenty, lokal'nye i udalennye bazy dannyh, rabota s jelektronnoj pochtoj i Web-dokumentami – 2-e izd., pererab. i dop. – Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 2010. – 1120 s.

27. Chernoivanov V.I., Cherepanov S.S.. Nauchnye osnovy tehnicheskoj jekspluatacii sel'skohozjajstvennyh mashin – M.: GOSNITI, 1996. – 360 s.

28. Chernoivanov V.I., Gabitov I.I., Negovora A.V. Cifrovye tehnologii i jelektronnye sredstva v sisteme tehnicheskogo obsluzhivanija i remonta avtotraktornoj i kombajnovoj tehniki // Trudy GOSNITI. – 2018. – T. 130. – S. 74–81.

29. Shutkin L.V. Patternovoe modelirovanie gipertekstov // Nauchno-tehnicheskaja informacija. Serija 2. Informacionnye processy i sistemy. – 1995. – № 9. – S. 20–26.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Иванов Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, руководитель Сибирского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук», Россия, г. Новосибирск, e-mail: sibime@ngs.ru.

Криков Аркадий Максимович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Сибирского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук», Россия, г. Новосибирск, e-mail: sibime@ngs.ru.

Федоров Александр Георгиевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации», Россия, г. Новосибирск.

Бердникова Рита Григорьевна – кандидат технических наук, доцент Томского сельскохозяйственного института – филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет», Россия, г. Томск.

Author credentials

Affiliations

Ivanov Nikolay – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk, e-mail: sibime@ngs.ru.

Krikov Arkady – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk, e-mail: sibime@ngs.ru.

Fedorov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal state official military establishment of higher education “Novosibirsk military Institute named after general of the Army I.K. Yakovlev of National Guard Troops of the Russian Federation”, Russia, Novosibirsk.

Berdnikova Rita – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Tomsk Agricultural Institute – branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Novosibirsk state agrarian University”, Russia, Tomsk.

Поступила в редакцию (Received): 08.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2020

УДК 631.348.45
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-52-58

РАЗРАБОТКА ПРИЦЕПНОГО ШТАНГОВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ SHPJG – 20 ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ ХЛОПЧАТНИКА

[1]Джураев Джума
[1]Тоиров Илхом Жураевич
[1]Бадалов Сунатулло Мамадиевич
[1]Каршинский инженерно-экономический институт

Реферат. *Повысить качество химической обработки растений хлопчатника предлагается путем создания новой технологии опрыскивания с созданием прицепного штангового опрыскивателя, обеспечивающего полнообъемную качественную химическую обработку в отдельности по ярусам, в зависимости от высоты растений. Приведены разработанные технологические схемы нового прицепного штангового опрыскивателя для химической обработки растений хлопчатника. Подробно описан технологический процесс работы опрыскивателя. Установленные на вертикальной штанге распылители целенаправленно и четко с двух сторон распыляют жидкий химический препарат на близком расстоянии по высоте или по ярусам, что повышает качество обработки растений хлопчатника. Поставленная задача решается созданием прицепного штангового опрыскивателя со следующими характеристиками: низкое энергопотребление, металлоёмкость, упрощенная конструкция, минимальные трудозатраты агрегатирования, уменьшение нагрузки на задние колеса, а так же соответствие мировым стандартам и требованиям. Разработана номограмма для определения количества распылителей в зависимости от нормы расхода рабочей жидкости прицепного штангового опрыскивателя, благодаря которой имеется возможность определить значение количества распылителей в зависимости от нормы расхода химической жидкости, ширины захвата агрегата, технологической скорости обработки и удельного расхода жидкости, приходящегося на один распылитель. На разработку и изготовление прицепного штангового опрыскивателя были составлены и утверждены научно-производственным центром продовольственного обеспечения и сельского хозяйства Академии Наук Республики Узбекистан агротехнические требования и технические задания.*

Ключевые слова: *распылитель, опрыскиватель, агротехнические требования, технические задания, насос, емкость, фильтр, рама, хлопчатник.*

DEVELOPMENT OF A TRAILED STEM SPRAYER SHPJG - 20 FOR CHEMICAL TREATMENT OF COTTON PLANT

[1]Djuraev Djuma
[1]Toirov Ilhom
[1]Badalov Sunatullo
[1]Karshi Engineering and Economic Institute

Abstract. *It is proposed to improve the quality of chemical treatment of cotton plants by creating a new spraying technology with the creation of a trailed boom sprayer that provides full-volume high-quality chemical treatment separately in tiers, depending on the height of the plants. The developed technological schemes of a new trailed boom sprayer for chemical treatment of cotton plants are given. The technological process of the sprayer is described in detail. Mounted on a vertical boom, sprayers purposefully and clearly spray liquid chemical from both sides at a close distance in height or in tiers, which improves the quality of processing of cotton plants. The task is solved by creating a trailed boom sprayer with the following characteristics: low power consumption, metal consumption, simplified design, minimal labor costs for aggregating, reducing the load on the rear wheels, as well as compliance with international standards and requirements. A nomogram has been developed to determine the number of sprayers depending on the rate of flow of the working fluid of the trailed boom sprayer, thanks to which it is possible to determine the value of the number of sprayers depending on the rate of consumption of the*

chemical fluid, the width of the unit, the processing speed and the specific flow rate per spray. Agrotechnical requirements and technical specifications for the development and manufacture of a trailed boom sprayer were drawn up and approved by the research and production center for food supply and agriculture of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Keywords: *sprayer, sprayer, agrotechnical requirements, technical specifications, pump, capacity, filter, frame, cotton.*

Введение. В настоящее время химическая обработка растений хлопчатника, в основном, выполняется опрыскивателем ОВХ - 600, который находится в производстве с 1980 года.

Принцип работы опрыскивателя ОВХ – 600 [1, 2]: рабочая жидкость подается из ёмкостей через рукава всасывающей магистрали, через трехходовой кран и фильтр, и отсечный клапан в распылителе, установленный в насадке вентиляторного рабочего органа. Воздушный поток, создаваемый вентилятором, транспортирует раздробленную жидкость на обрабатываемый объект. Часть рабочей жидкости через регулятор давления подается по рукавам нагнетательной магистрали в ёмкости для перемешивания.

Основные недостатки: сложная конструкция опрыскивателя при монтажной и демонтажной работах; частые поломки лонжерона трактора из-за большой не сбалансированной нагрузки; большая нагрузка на задние ведущие колеса трактора; при работе опрыскивателя вентилятором создаётся воздушный поток, направленный к растениям сверху вниз, отгибающий растения против движения трактора, накладывающий их друг на друга, создающий закрытую сплошную среду листьями растений, которая удерживает основные массы химического препарата транспортирующим воздушным потоком, в результате чего химической препарат не может проникать во внутрь к нижней части по объему растений хлопчатника, поэтому при проведении вышеуказанных работ опрыскиватель ОВХ - 600 не отвечает полностью агротехническим требованиям. Кроме того этим опрыскивателем невозможно проводить ярусную обработку по высоте растений.

Цель и задачи исследования – повышение качества химической обработки растений хлопчатника путем разработки и обоснования новой технологии обработки и технических средств опрыскивания химическими препаратами. Создание прицепного штангового опрыскивателя, обеспечивающего полнообъемную качественную химическую обработку и в отдельности по ярусам по высоте растений хлопчатника для борьбы с вредными насекомыми, болезнями и их дефолиации, а также эффективность использования [3 – 6].

Результаты и их обсуждение. При создании прицепного штангового опрыскивателя необходимо учитывать, что вредные насекомые и болезные растения распространяются не по всей высоте растений, а только в нижнем, среднем или верхнем ярусе, или местами. Разработанный прицепной штанговый опрыскиватель должен обеспечить химическую обработку по сплошным и отдельным ярусам по всей высоте растений хлопчатника.

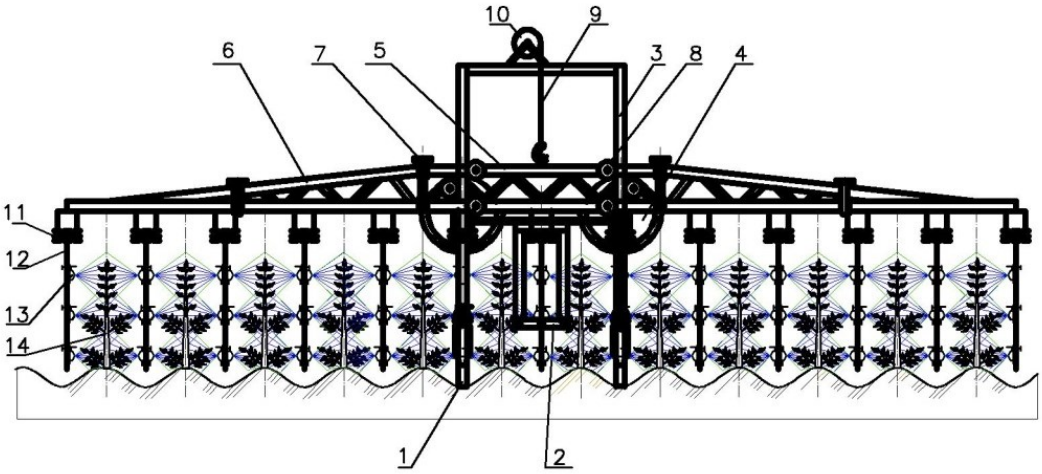
Поставленная задача решается созданием прицепного штангового опрыскивателя, имеющего низкое энергопотребление, металлоёмкость, упрощенную конструкцию, минимальные трудозатраты агрегатирования, уменьшение нагрузки на задние колеса, отвечающего агротехническим требованиям при химической обработке сельскохозяйственных растений, а также отвечающего мировым требованиям и стандартам сельскохозяйственной техники и конкурентоспособности.

Представлена разработанная общая технологическая схема прицепного штангового опрыскивателя SHPJG - 12 на рисунке 1.

Прицепной штанговый опрыскиватель (рисунок 1) содержит раму, изготовленную из двух П - образной формы фрагментов, соединенных между собой металлическими элементами, представляющую цельную сварную конструкцию и несоединенной нижней части боковых передних и задних стоек рамы. В середине нижней части каждой боковой стойки рамы установлено колесо на оси.

Внутри по центру П - образной рамы установлена сварная конструкция четырёхугольной рамки для соединения дышла прицепа, равная по длине П - образной раме. В передней нижней части четырёхугольной рамки жестко установлено дышло прицепного устройства. Между боковыми стойками П - образной рамы и четырёхугольной рамки оставлено пространство,

обеспечивающее беспрепятственное прохождение растений хлопчатника. В передней части П - образной рамы установлены горизонтальные штанговые органы, которые состоят из трёх частей, средней и двух боковых, вращающихся на 90° против движения трактора. Боковые части изготовлены складывающимися по середине длины с помощью шарнирного механизма. Каждая часть горизонтальной штанги изготавливается в отдельности в виде сварной конструкции, боковые части штанги присоединяются к средней части с двух сторон двумя шарнирными механизмами. Каждая боковая часть шарнирно соединена со штоком гидроцилиндра, установленного и соединенного неподвижной средней частью горизонтальной штанги, обеспечивающей поворот на 90° боковой части из рабочего положения в транспортное положение и наоборот.



1 - колесо, 2 - дышло, 3 - рама, 4 - ёмкость, 5 - средняя часть горизонтального штангового органа, 6 - боковые части горизонтального штангового органа, 7 - шарнирные соединения, 8 - ролики, 9 - канат, 10 - лебедка, 11 - петли, 12 - вертикальные штанги, 13 - распылители, 14 - растения хлопчатника.

Рисунок 1 – Технологическая схема прицепного штангового опрыскивателя SHPJG – 12 для химической обработки растений хлопчатника

Средняя часть горизонтальной штанги по середине симметрично устанавливается двухсторонне, на каждой стороне три (опорных) ролика, которые движутся по боковым стойкам. Боковые стойки изготовлены в виде рамки, установленной на передней части П - образной рамы, которая такой же формы и закреплена к ней с помощью сварки. На середине верхней части рамки установлена лебедка, соединенная со средней горизонтальной штангой с помощью гибкого элемента, которая регулирует высоту горизонтальной штанги в зависимости от параметров растений. По всей длине трёх частей горизонтальных штанг, установлены вертикальные штанги с помощью пластинки закрепленной хомутом, перемещающиеся в междурядьях хлопчатника, с установкой расстояния в междурядьях на 60 см или 90 см. К пластинке приварен пруток, к которому присоединяется один конец пружины, а другой конец пружины соединяется с вертикальной штангой. На пластинку параллельно привариваются две петли, которые имеют одинаковые отверстия, расположены в центре на одной оси, а в верхней части к вертикальным штангам приварены втулки, диаметр которых равен диаметру петли.

Петли и втулки соединяются пальцем. На петлях установлен стопорный штор, на котором постоянно упираются вертикальные штанги, занимая вертикальное положение с помощью пружины. На каждой вертикальной штанге установлены от двух до пяти кронштейнов в зависимости от количества распределения ярусов высоты растения, на которых установлены противоположно с двух сторон два распылителя. Кронштейны перемешаются по вертикальной штанге, тем самым регулируются положения распылителей относительно высоты растений

хлопчатника. Кронштейны устанавливаются во всех вертикальных штангах на одинаковом или различном уровнях по отношению к горизонтальной штанге, тем самым они составляют один горизонтальный ряд опрыскивателя.

Каждый ряд распылителей имеет соединение с общим каналом через свой вентиль для подачи рабочей жидкости.

Прицепной штанговый опрыскиватель работает следующим образом – агрегат заезжает в рядки и распылитель, находясь в середине междурядья на расстоянии 0,45 м к растению (ширина междурядий 0,9 м) и двигаясь параллельно ему и перпендикулярно к растениям, распыляет рабочую жидкость в виде аэрозоли равномерно, согласно установленной норме, от подножия до вершины стебля с двух сторон.

Ширина захвата опрыскивателя междурядий при 90 см равна – 12 рядкам или 10,8 м, а междурядий при 60 см равна – 20 рядкам или 12 м.

При проведении химической обработки сельскохозяйственных растений опрыскивателями, основным технологическим параметром является его производительность.

Производительность прицепного штангового опрыскивателя или норма расхода рабочей жидкости на один гектар площади (л/га), которая зависит от рабочей скорости агрегата, ширины захвата, расхода рабочей жидкости одного распылителя, количества и размера выходного отверстия распылителя определяется по следующей зависимости [7]:

$$Q = \frac{600 \cdot q}{V_p \cdot B}, \qquad (1)$$

где Q - норма расхода рабочей жидкости на один гектар площади прицепного штангового опрыскивателя, л/га; q – расход рабочей жидкости распылителей, л/мин; V_p – рабочая скорость агрегата, м/с; B - ширина захвата обработки опрыскивателя, м/

Расход рабочей жидкости распылителями опрыскивателя определяется по зависимости:

$$q = n\, q_1, \qquad (2)$$

где n – количество распылителей, шт; q_1 - расход рабочей жидкости одного распылителя опрыскивателя, л/мин.

Подставляя значения зависимости (2) в выражение (1) получим:

$$Q = \frac{600 \cdot q_1 \cdot n}{V_p \cdot B}, \qquad (3)$$

Для упрощения расчета и универсализации использования зависимости (3), нами была разработана номограмма, позволяющая определить основные технологические параметры опрыскивателя.

Полученное выражение (3) после некоторых преобразований имеет вид:

$$q_1 \cdot n = \frac{Q \cdot B \cdot V_p}{600}, \qquad (4)$$

Для построения номограммы зависимость (4) разделим на несколько частей и обозначим в такой последовательности:

$$A = \frac{Q \cdot B}{600} \qquad (5)$$

Норма расхода рабочей жидкости Q при химической обработке сельскохозяйственных растений, в частности хлопчатника, в практике применяется в пределах от 200 л/га до 250 л/га [2]. Необходимо отметить, что норма расхода рабочей жидкости снизится до 100 л/га.

Ширина захвата обработки хлопчатника, как приведено выше, будет равна:

B = 10,8 м; B = 12 м;

На основании (5) уравнения построим зависимость в верхнем правом квадранте системы Декарта.

Значение уравнения (5) поставив в уравнение (4) получим:

$$q_1 \cdot n = A \cdot V_p \qquad (6)$$

Рабочая скорость агрегата зависит от марки и типа трактора. Опрыскиватель агрегатируют с тракторами МТЗ-82 или ТТЗ-80, которые имеются на всех фермерских хозяйствах.

Рабочая скорость агрегата принята с учетом коэффициента буксования и соответствующая определенной передаче выше указанных тракторов:

$$V_p = 8{,}1;\ 9{,}5;\ 11{,}1 \text{ км/ч}$$

На основании (6) уравнения построим зависимость в верхнем левом квадранте системы Декарта.

После некоторого преобразования выражения (6) можно записать в следующем виде:

$$A\ V_p = C,\ q_1\ n = C$$

$$n = \frac{C}{q_1} \tag{7}$$

По вышеуказанной методике на основании уравнения (7) построим зависимость в нижнем левом квадранте системы Декарта. При построении зависимости приняты следующие значения минутного расхода жидкости одного распылителя: q_1 = 0,4 л/мин; 0,8 л/мин; 1,2 л/мин; 1,6 л/мин; 2,0 л/мин;

Разработанная номограмма для определения количества распылителей в зависимости от нормы расхода рабочей жидкости прицепного штангового опрыскивателя приведена на рисунке 2.

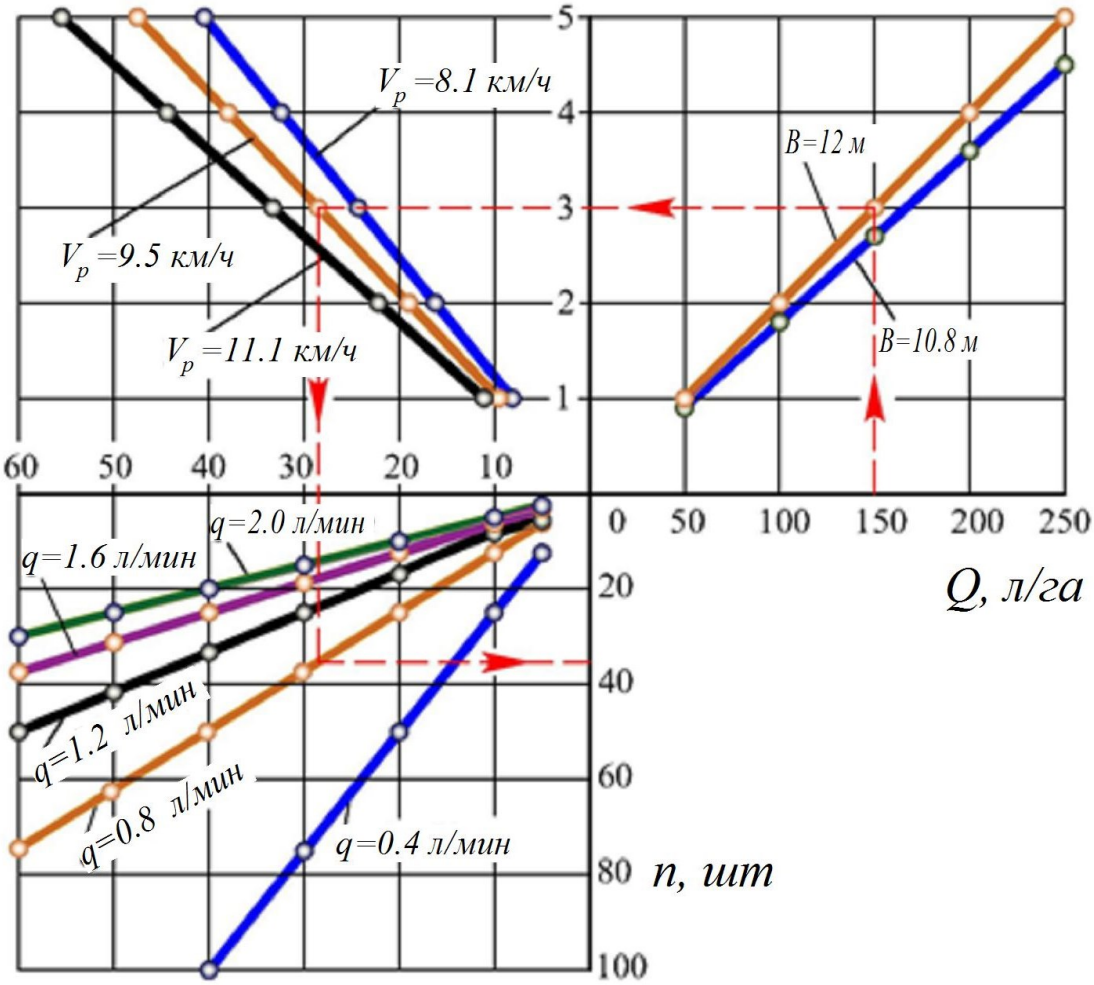


Рисунок 2 – Номограмма для определения количества распылителей
в зависимости от основных параметров прицепного штангового опрыскивателя

Порядок использования номограммы заключается в следующем. Например, необходимо определить количество распылителей при заданных значениях: норма расхода рабочей жидкости Q = 150 л/мин, ширина захвата агрегата B = 12 м, рабочая скорость агрегата V_p = 9,5 км/ч, расход рабочей жидкости одного распылителя q = 0,8 л/мин.

По оси Q = 150 л/мин отмечаем точки и проводим вверх вертикальную линию до пересечения с прямой B = 12 м, из полученной точки проводим влево горизонтальную линию до пересечения с линией V_p = 9,5 км/ч, из этой точки проводим вниз вертикальную линию до пересечения их с прямой q = 0,8 л/мин. Из этой точки проводим вправо горизонтальную линию до пересечения с осью значений количества распылителей n и точки пресечения, находим искомое количество распылителей, которые равны n = 35,62 шт. Полученное значение количества распылителей округлим, принимаем большее значение (принимаем n = 36 шт), после чего уточняем вновь значение нормы расхода рабочей жидкости опрыскивателя.

Получен патент Агентства интеллектуальной собственности РУз. на полезную модель UZFAP 01430 новой технологии и разработанного штангового опрыскивателя SHPJG – 12 2019 год [10, 11].

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования по разработке штангового опрыскивателя химической обработки растений позволяют сделать следующие выводы.

1. На разработку и изготовление прицепного штангового опрыскивателя SHPJG – 12 составлены агротехнические требования и технические задания, которые утверждены научно-производственным центром продовольственного обеспечения и сельского хозяйства Академии Наук Республики Узбекистан.

2. Разработаны конструкторские чертежи и документация, на основе которых изготовлен первый образец прицепного штангового опрыскивателя. Опрыскиватель работает по вышеприведенной технологии, обеспечивающей качественную химическую обработку по сплошным и отдельным ярусам по всей высоте растения, двухстороннее распыление жидкого химического препарата с боковых сторон на близком расстоянии от растений хлопчатника.

3. Разработана номограмма для определения количества распылителей в зависимости от основных параметров прицепного штангового опрыскивателя.

Список литературы

1. Очилов Р.О., Бобобекоб К., Сагдуллаев А. Выявление вредителей и болезней плодовых деревьев и меры борьбы с ними. – Ташкент. Фан, 2010, – 60 с.

2. Опрыскиватель вентиляторный хлопковый ОВХ-600. / Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОВХ-600.00.000 Т0. – Ташкент. – 1999. – 125 с.

3. Яцков Р.П. Технологический процесс и оборудование для опрыскивателей с электроподзарядкой капель. Дис.… с.-х. наук. Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства (ГНУ ВСТИСП). – Москва. – 2005. – 144 с

4. Палапин А.В. Оптимизация параметров и режимов работы ультрамалообъемного вентиляторного опрыскивателя. Авторефер… дис. канд. техн. наук. ГОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар. – 2005. – 21 с.

5. Полежаев А.А. Автоматизированный дозатор жидкостей мобильных штанговых опрыскивателей: Авторефер… дис. канд. техн. наук. Научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения им. В.П. Горячкина. – Москва. – 2001. – 18 с.

6. Родимцев С.А., Аринча В.М. Механизация химической защиты растений. – Орел. – Издательство Орел ГАУ. – 2005. – 215 с.

7. Шамаев Г.П., Шеруда С.Д. Механизация защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней. – Москва: из-во «Колос». – 1978. – 256 с.

8. ГОСТ 53053-2008. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. – Москва: Стандартинформ. – 2009. – 41 с.

9. SHPJG-12 требования и спецификации на опрыскиватель штанги. Каршинский инженерно-экономический институт. – Қарши. – 2018. – 22 с.

10. Патент на полезную модель UZFAP 00857 РУз. Опрыскиватель для химической обработки

сельскохозяйственных растений. / Джураев Д., Эргашев А.Ч. / Ташкент. – 2013. – Бюл. № 12, С 125.

11. Патент на полезную модель UZFAP 01430РУз. Прицепной штанговый опрыскиватель для химической обработки растения хлопчатника./Джураев Д., Файзуллаева Н.С., Мирзаев Б.С., Муротов Л.Б., Бадалов С.М., Тоиров И.Ж. / Ташкент. – 2019. – Бюл. № 11, С 185-187.

References

1. Ochilov R.O., Bobobekob K., Sagdullaev A. Vyjavlenie vreditelej i boleznej plodovyh derev'ev i mery bor'by s nimi. – Tashkent. Fan, 2010, – 60 s.

2. Opryskivatel' ventiljatornyj hlopkovyj OVH-600. / Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii OVH-600.00.000 T0. – Tashkent. – 1999. – 125 s.

3. Jackov R.P. Tehnologicheskij process i oborudovanie dlja opryskivatelej s jelektropodzarjadkoj kapel'. Dis.… s.-h. nauk. Vserossijskij selekcionno-tehnologicheskij institut sadovodstva i pitomnikovodstva (GNU VSTISP). – Moskva. – 2005. – 144 s

4. Palapin A.V. Optimizacija parametrov i rezhimov raboty ul'tramaloob#emnogo ventiljatornogo opryskivatelja. Avtorefer… dis. kand. tehn. nauk. GOU VPO Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – Krasnodar. – 2005. – 21 s.

5. Polezhaev A.A. Avtomatizirovannyj dozator zhidkostej mobil'nyh shtangovyh opryskivatelej: Avtorefer… dis. kand. tehn. nauk. Nauchno-issledovatel'skij institut sel'skohozjajstvennogo mashinostroenija im. V.P. Gorjachkina. – Moskva. – 2001. – 18 s.

6. Rodimcev S.A., Arincha V.M. Mehanizacija himicheskoj zashhity rastenij. – Orel. –Izdatel'stvo Orel GAU. – 2005. – 215 s.

7. Shamaev G.P., Sheruda S.D. Mehanizacija zashhity sel'skohozjajstvennyh kul'tur ot vreditelej i boleznej. – Moskva: iz-vo «Kolos». – 1978. – 256 s.

8. GOST 53053-2008. Mashiny dlja zashhity rastenij. Opryskivateli. Metody ispytanij. – Moskva: Standartinform. – 2009. – 41 s.

9. SHPJG 12 trebovanija i specifikacii na opryskivatel' shtangi. Karshinskij inzhenerno-jekonomicheskij institut. – Qarshi. – 2018. – 22 s.

10. Patent na poleznuju model' UZFAP 00857 RUz. Opryskivatel' dlja himicheskoj obrabotki sel'skohozjajstvennyh rastenij. / Dzhuraev D., Jergashev A.Ch. / Tashkent. – 2013. – Bjul. № 12, S 125.

11. Patent na poleznuju model' UZFAP 01430RUz. Pricepnoj shtangovyj opryskivatel' dlja himicheskoj obrabotki rastenija hlopchatnika./Dzhuraev D., Fajzullaeva N.S., Mirzaev B.S., Murotov L.B., Badalov S.M., Toirov I.Zh. / Tashkent. – 2019. – Bjul. № 11, S 185-187.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Джураев Джума – кандидат технических наук Каршинского инженерно-экономического института, Узбекистан, г. Карши, e-mail: djuraev_1947@mail.ru.

Тоиров Илхом Жураевич – кандидат технических наук, доцент Каршинского инженерно-экономического института, Узбекистан, г. Карши, e-mail: toirov@qmii.uz.

Бадалов Сунатулло Мамадиевич – ассистент Каршинского инженерно-экономического института, Узбекистан, г. Карши, e-mail: badalov.sunatullo@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Djuraev Djuma – Candidate of Technical Sciences of Karshi Engineering and Economic Institute, Uzbekistan, Karshi, e-mail: djuraev_1947@mail.ru.

Toirov Ilhom – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Karshi Engineering and Economic Institute, Uzbekistan, Karshi, e-mail: toirov@qmii.uz.

Badalov Sunatullo – Assistant of Karshi Engineering and Economic Institute, Uzbekistan, Karshi, e-mail: badalov.sunatullo@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 21.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2020

УДК 629.113-592.004.58
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-59-65

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАБОТЫ ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ ГИДРОПОДЖИМНЫХ МУФТ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»

[1]Бондаренко Ирина Иосифовна
[1]Сергеев Кирилл Леонидович
[2]Родионов Юрий Викторович
[2]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *При увеличении энергонасыщенности тракторов и рабочих скоростей тракторных агрегатов интенсифицируются рабочие процессы, протекающие во фрикционных муфтах. Экспериментально определяли на стенде пороговые значения работы трения фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач. Испытания представляли собой периодическое переключение в коробке передач с высшей передачи на низшую и обратно. В процессе испытаний были проведены записи осциллограмм процессов переключения. Коробка передач отработала полный объем испытаний в 30000 циклов включений без замечаний, сохранив после испытаний свою работоспособность. После окончания испытаний производилась разборка коробки передач для обмера толщины фрикционных дисков и оценки их состояния. Из анализа результатов испытаний получено, что средняя работа трения на единицу линейного износа (на 1 мм) фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач составляет: первая передача - 90000000 кДж/мм; вторая передача - 28125000 кДж/мм; третья передача – 21428571 кДж/мм; четвертая передача – 18000000 кДж/мм. Номинальное значение толщины ведомого диска составляет 3,15 мм, а их замена производится если толщина фрикционного диска меньше допустимого предела, равного 2 мм. Экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи (первая передача – 103500000 кДж; вторая передача – 32343750 кДж; третья передача –24642857 кДж; четвертая передача – 20700000 кДж), которые соответствуют их предельно допустимым величинам износа и позволяют прогнозировать выработку ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, используя при этом интегральный показатель работы трения при их бортовом диагностировании.*

Ключевые слова: *пороговое значение, гидроподжимная муфта, трактор, работа трения, фрикционные диски, бортовое диагностирование.*

THRESHOLD VALUES DETERMINATION OF FRICTION OPERATIONS OF HYDRAULIC CLUTCH FRICTION DISCS FOR GEARBOX COUPLINGS OF THE TRACTOR «BELARUS»

[1]Bondarenko Irina
[1]Sergeev Kirill
[2]Rodionov Yuri
[2]Nikitin Dmitry
[1]EI "Belarusian State Agrarian Technical University"
[2]FSBEI HE "Tambov State Technical University"

Abstract. *Working processes occurring in friction clutches are intensified with an increase in the energy saturation of tractors and the operating speeds of tractor units. The threshold values of the friction work of the friction discs of the hydraulic clutches of the gearbox were experimentally determined at the stand. The tests consisted of periodic shifting in a gearbox from high to low and vice versa. Recordings of oscillograms of the switching processes were carried out during the tests. The gearbox has completed the full scope of tests in 30,000 switching cycles without any remarks, retaining its performance after testing. Disassembly of the gearbox for measuring the thickness of the friction discs and assessing their condition was carried out after the end of the tests. It is found that the average work*

of friction per unit of linear wear (per 1 mm) of the friction discs of the hydraulic clutches of the gearbox is: first gear - 90,000,000 kJ / mm; second gear - 28125000 kJ / mm; third gear - 21428571 kJ / mm; fourth gear - 18,000,000 kJ / mm from analysis of test results. The nominal value of the thickness of the driven disc is 3.15 mm, and they are replaced if the thickness of the friction disc is less than the allowable limit of 2 mm. Threshold values of friction work of friction discs for each gear were experimentally determined (first gear - 103500000 kJ; second gear - 32343750 kJ; third gear –24642857 kJ; fourth gear - 20700000 kJ), which correspond to their maximum allowable wear values and allow predicting resource development of the friction discs of the gearbox hydraulic clutches, using the integral indicator of the friction work during their on-board diagnostics.

Keywords: *threshold value, hydraulic press clutch, tractor, friction operation, friction discs, on-board diagnostics.*

Введение. Одна из основных актуальных задач, стоящая перед экономикой Республики Беларусь в ходе ее радикального реформирования и интегрирования в мировую систему хозяйствования, заключается в повышении технического уровня и обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции и, в частности, тракторов. Эта задача может быть решена путем внедрения в конструкцию трактора бортовых систем диагностирования солового агрегата и, в частности коробок передач с гидроподжимными муфтами. Но разработка методов бортового диагностирования технического состояния коробок передач с гидроподжимными муфтами предполагает определение такого диагностического параметра как пороговое значение работ трения фрикционных дисков для каждой передачи [2, 3]. В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач трактора «Беларус» эти пороговые значения работ трения для каждой передачи были определены экспериментальным путем [4].

Объектом испытаний являлась коробка передач с гидроподжимными муфтами. Конструкция коробки передач приведена на рисунке 1.

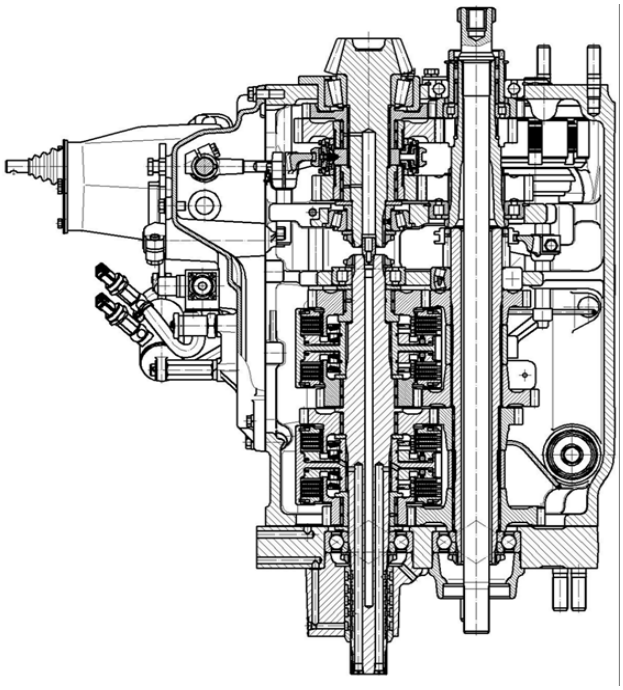
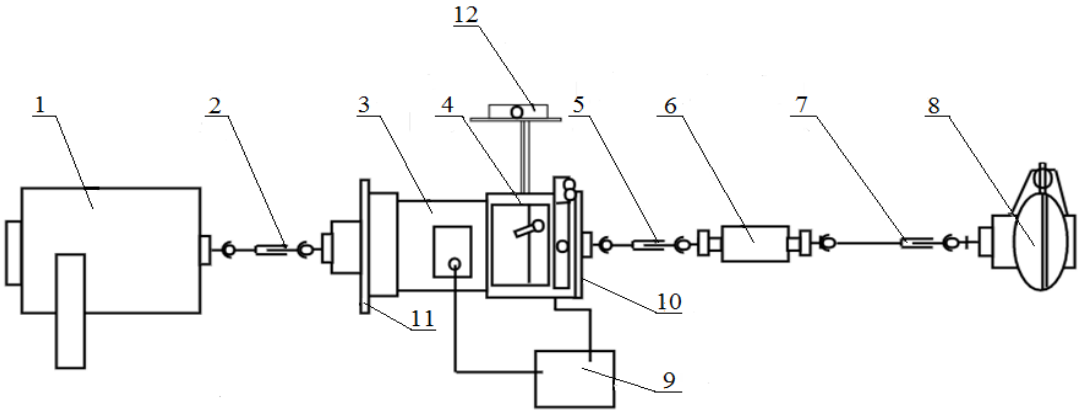


Рисунок 1 – Конструкция коробки передач

Цель испытаний заключалась в экспериментальном выявлении на стенде порогового значения работы трения фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач. Данное значение будет соответствовать величине предельно допустимого износа фрикционных дисков. В дальнейшем работа силы трения будет использоваться как интегральный показатель степени их

износа при проведении бортового диагностирования технического состояния гидроподжимных муфт коробок передач тракторов.

Материалы и методы. Стендовые испытания проводились в лаборатории КИБ шасси корпуса ускоренных испытаний ОАО «Минский тракторный завод» на стенде с поглощением мощности. Схема стенда приведена на рисунке 2.



1 – машина балансирная; 2, 5, 7 – валы карданные; 3 – корпус муфты сцепления;
4 – коробка передач; 6 – датчик вращающего момента; 8 – нагружатель (тормоз гидравлический);
9 – бак системы охлаждения; 10, 11 – стойки задняя и передняя; 12 – пульт управления

Рисунок 2 – Схема стенда для испытаний коробки передач

Объем испытаний оговаривался заданием на испытания и составлял 30000 циклов включений. Испытания представляли собой периодическое переключение в коробке передач с высшей передачи на низшую и обратно. После окончания испытаний производилась разборка коробки передач для обмера толщины фрикционных дисков и оценки их состояния.

Результаты и их обсуждение. Коробка передач отработала полный объем испытаний без замечаний, сохранив после испытаний свою работоспособность.

В процессе испытаний были проведены записи осциллограмм (рисунки 3–8) процессов переключения передач в коробке передач.

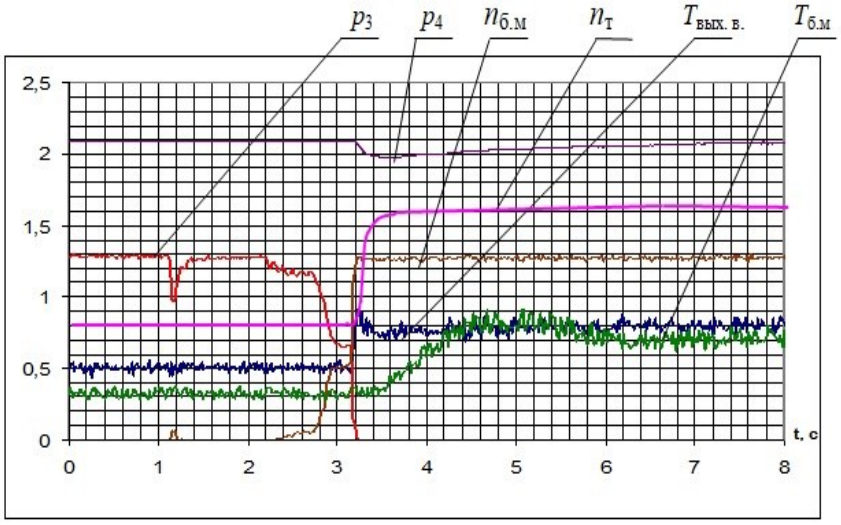


Рисунок 3 – Процесс переключения передач по схеме 1 → 2

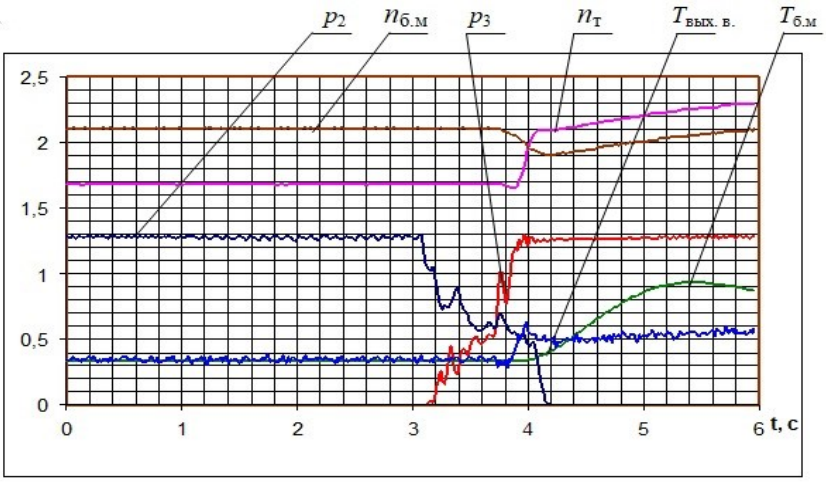


Рисунок 4 – Процесс переключения передач по схеме 2 → 3

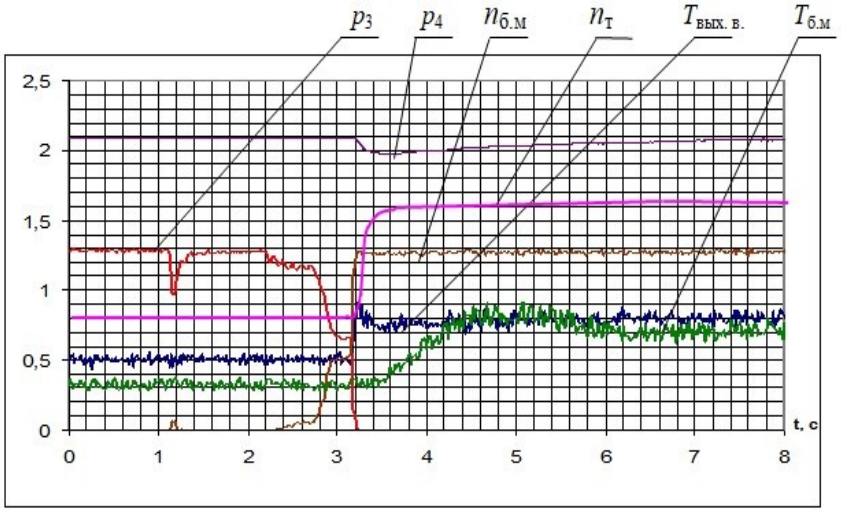


Рисунок 5 – Процесс переключения передач по схеме 3 → 4

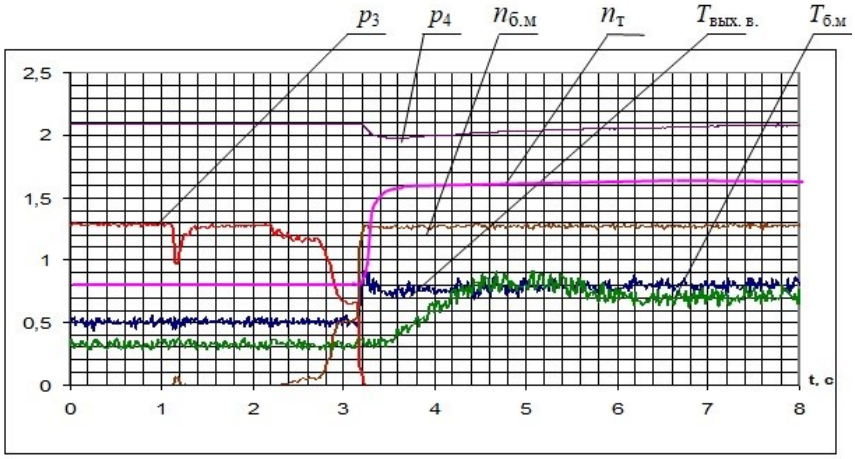


Рисунок 6 – Процесс переключения передач по схеме 4 → 3

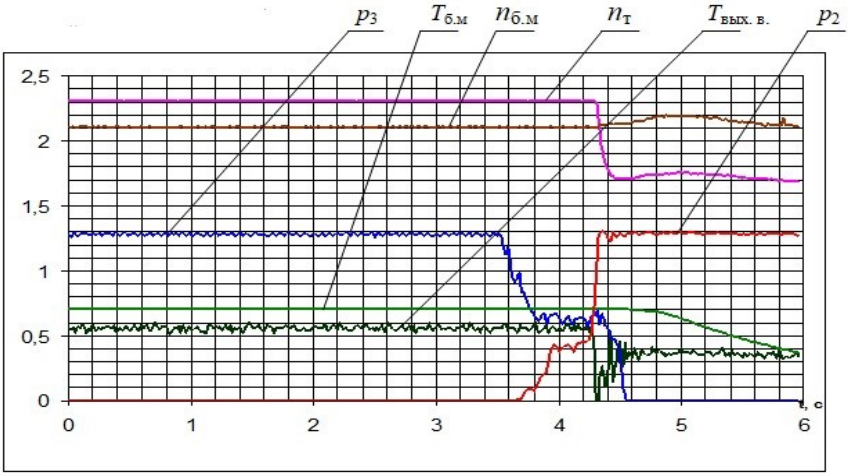


Рисунок 7 – Процесс переключения передач по схеме 3 → 2

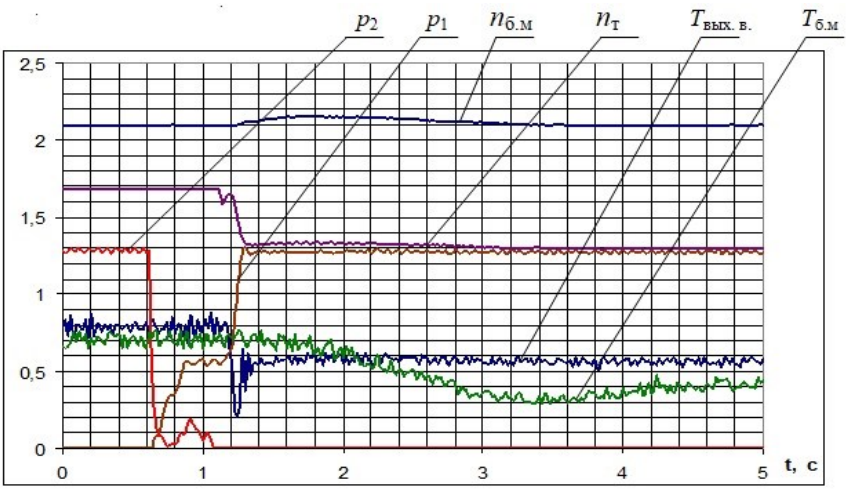


Рисунок 8 – Процесс переключения передач по схеме 2 → 1

Обозначения, используемые на осциллограммах:

– p_1, p_2, p_3, p_4 – давления в каналах управления гидроподжимными муфтами (на выходе из распределителя), МПа;

– $T_{вых.в.}$, $T_{б.м.}$ – вращающий момент на выходном валу коробки передач и на валу балансирной машины соответственно, кН·м;

– $n_т \cdot 10^3$, $n_{б.м.}$ – частоты вращения вала тормоза (выходного вала коробки передач) и вала балансирной машины соответственно, об/мин.

При включении гидроподжимных муфт на стенде на заданных режимах нагружения поглощалась работа трения в пределах 149…150 кДж.

Суммарное значение работы трения за период испытаний (за 30000 циклов включений) для каждой из четырех гидроподжимных муфт

$$L = 150 \cdot 30000 = 4500000 \text{ кДж}.$$

По окончании испытаний была произведена разборка коробки передач для оценки состояния дисков гидроподжимных муфт и замера их толщины. Видимых повреждений ведомых и ведущих дисков при осмотре не отмечено. По результатам испытаний приведенных в таблице 1 средний износ ведомых дисков гидроподжимных муфт составил:

– первая передача H_1=0,05 мм;

– вторая передача H_2=0,16 мм;

– третья передача H_3=0,21 мм;

– четвертая передача H_4=0,25 мм.

Таблица 1 – Результаты обмера дисков гидроподжимных муфт коробки передач после испытаний

Фрикционная муфта	Толщина ведомых дисков, мм ($t_{ном.}$ = 3,15)			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1 передача	3,07	3,12	3,12	3,09
2 передача	2,98	2,91	3,04	3,04
3 передача	3,08	2,79	2,93	2,98
4 передача	3,00	2,80	2,83	2,98

Из анализа результатов испытаний следует, что средняя работа трения на единицу линейного износа (на 1 мм) фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач составляет:

– первая передача $L_1 = \frac{L}{H_1} = \frac{4500000}{0,05} = 90000000 \ \frac{кДж}{мм}$;

– вторая передача $L_2 = \frac{L}{H_2} = \frac{4500000}{0,16} = 28125000 \ \frac{кДж}{мм}$;

– третья передача $L_3 = \frac{L}{H_3} = \frac{4500000}{0,21} = 21428571 \ \frac{кДж}{мм}$;

– четвертая передача $L_4 = \frac{L}{H_4} = \frac{4500000}{0,25} = 18000000 \ \frac{кДж}{мм}$.

Учитывая тот факт, что номинальное значение толщины ведомого диска составляет 3,15 мм, а их замена производится если толщина фрикционного диска меньше допустимого предела, равного 2 мм, т.е. линейный износ диска достигает предельного износа H_{max} = 1,15 мм [5], то пороговая величина работы трения, которая соответствует предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимных муфт составляет:

– первая передача $L_{01} = L_1 H_{max} = 90000000 \cdot 1,15 = 103500000$ кДж ;

– вторая передача $L_{02} = L_2 H_{max} = 28125000 \cdot 1,15 = 32343750$ кДж ;

– третья передача $L_{03} = L_3 H_{max} = 21428571 \cdot 1,15 = 24642857$ кДж ;

– четвертая передача $L_{04} = L_4 H_{max} = 18000000 \cdot 1,15 = 20700000$ кДж .

Заключение. В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач, экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи (первая передача – L_{01} = 103500000 кДж; вторая передача – L_{02} = 32343750 кДж; третья передача – L_{03} = 24642857 кДж; четвертая передача – L_{04} = 20700000 кДж), которые соответствуют их предельно допустимым величинам износа и позволяют прогнозировать выработку ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, используя при этом интегральный показатель работы трения при их бортовом диагностировании.

Список литературы

1. Карпиевич Ю.Д., Ловкис В.Б., Бондаренко И.И. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 32–35.

2. Карпиевич Ю.Д., Жуковский Ю.М., Бондаренко И.И., Мальцев Н.Г. Метод диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач колесных и гусеничных машин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–30 ноября 2013 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.] ; редкол.: Ю.Д. Карпиевич [и др.]. – Минск, 2013. – С. 66 –70.

3. Карпиевич Ю.Д., Бондаренко И.И. Работа трения гидроподжимных муфт коробок передач // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь : материалы IV Всеукраінськоі наук.-практ. конф., Житомир, 28–29 березня 2018 р. / Житом. агр. кол.; оргком.: М. М. Тимошенко [и др.]. – Житомир, 2018. – С. 81–83.

4. Бортовое диагностирование степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач тракторов «Беларус» / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, Т. М. Чумак, М. А. Каптур, Н. Н. Казеко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 21–23 ноября 2018 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.]; редкол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2018. – С. 257–260.

5. Пуховой А.А., Шило И.Н. Тракторы. Устройство. Техническое обслуживание. Ремонт. «БЕЛАРУС» серия 1000–2000: учебное пособие – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2012 – 779 с.

References

1. Karpievich Ju.D., Lovkis V.B., Bondarenko I.I. Rabota trenija kak integral'nyj pokazatel' stepeni iznosa frikcionnyh diskov gidropodzhimnyh muft korobok peredach // Nauka i tehnika. – 2014. – № 2. – S. 32–35.

2. Karpievich Ju.D., Zhukovskij Ju.M., Bondarenko I.I., Mal'cev N.G. Metod diagnostirovanija stepeni iznosa frikcionnyh diskov gidropodzhimnyh muft korobok peredach kolesnyh i gusenichnyh mashin // Nauchno-tehnicheskij progress v sel'skohozjajstvennom proizvodstve : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 28–30 nojabrja 2013 g. / Belorus. gosud. agr. tehn. un-t [i dr.] ; redkol.: Ju.D. Karpievich [i dr.]. – Minsk, 2013. – S. 66 –70.

3. Karpievich Ju.D., Bondarenko I.I. Rabota trenija gidropodzhimnyh muft korobok peredach // Perspektivi i tendencii rozvitku konstrukcij ta tehnichnogo servisu sil's'kogospodars'kih mashin i znarjad' : materialy IV Vseukrains'koi nauk.-prakt. konf., Zhitomir, 28–29 bereznja 2018 r. / Zhitom. agr. kol.; orgkom.: M. M. Timoshenko [i dr.]. – Zhitomir, 2018. – S. 81–83.

4. Bortovoe diagnostirovanie stepeni iznosa frikcionnyh diskov gidropodzhimnyh muft korobki peredach traktorov «Belarus» / Ju. D. Karpievich, I. I. Bondarenko, T. M. Chumak, M. A. Kaptur, N. N. Kazeko // Tehnicheskoe obespechenie innovacionnyh tehnologij v sel'skom hozjajstve : sb. nauch. st. Mezhdunar. nauch. – prakt. konf., Minsk, 21–23 nojabrja 2018 g. / Belorus. gosud. agr. tehn. un-t [i dr.]; redkol.: V. P. Chebotarev [i dr.]. – Minsk, 2018. – S. 257–260.

5. Puhovoj A.A., Shilo I.N. Traktory. Ustrojstvo. Tehnicheskoe obsluzhivanie. Remont. «BELARUS» serija 1000–2000: uchebnoe posobie – Astana: KATU im. S. Sejfullina, 2012 – 779 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Бондаренко Ирина Иосифовна – старший преподаватель Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Республика Беларусь, г. Минск, e-mail: irina-mi-k@yandex.ru.

Сергеев Кирилл Леонидович – старший преподаватель Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Республика Беларусь, г. Минск, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: dmitryndv@gmail.com.

Author credentials

Affiliations

Bondarenko Irina – Senior lecturer of Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Republic of Belarus, Minsk, e-mail: irina-mi-k@yandex.ru.

Sergeev Kirill – Senior lecturer of Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Republic of Belarus, Minsk, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Rodionov Yuri – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: dmitryndv@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 21.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2020

УДК 629.331
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-66-73

УТОЧНЕНИЕ РЕЖИМОВ УПРОЩЕННОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

[1]Доровских Дмитрий Владимирович
[1]Глазков Юрий Евгеньевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат: *Существует два подхода к осуществлению процедуры проверки содержания вредных веществ в отработанных газах двигателя: в первом используют конкретных режимы работы двигателя, а величины выбросов отдельных вредных компонентов отработанных газов приводят к единице мощности или пробега автомобиля; во втором - используют режимы «ездового цикла», а нормирование содержания вредных веществ выполняют за цикл. Разрабатывали упрощенный испытательный ездовой цикл заменой неустановившихся режимов движения Европейского ездового цикла установившимися. Каждый нестандартный режим заменяли «средней точкой» режима цикла, которая представляет собой средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя. В результате замены неустановившихся режимов Европейского городского ездового цикла получено девять установившихся режимов, которые составляют упрощенный испытательный цикл. В основу определения «средних точек» режимов упрощенного цикла, положен принцип: работа совершенная двигателем в неустановившимся режиме должна равняться работе двигателя, выполненной на замененном установившимся режиме. Расчетные исследования показывают, что упрощение Европейского ездового цикла возможно осуществлять заменой неустановившихся режимов движения «средними точками» режимов цикла, которые характеризуют средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя или автомобиля. Применение упрощенного цикла в условиях эксплуатации позволит выявлять отклонения в регулировках двигателя, его неисправности, а также оценивать показатели автомобиля при использовании альтернативных топлив, устройств для повышения топливной экономичности и экологических показателей транспортных средств.*

Ключевые слова: *автомобиль, математическая модель, режимы движения, топливная экономичность, европейский ездовой цикл.*

CLARIFICATION OF SIMPLIFIED TEST CYCLE MODES FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES

[1]Dorovskikh Dmitriy
[1]Glazkov Yurij
[1]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract: *There are two approaches to the implementation of the verification process the content of harmful substances in the exhaust gases of the engine: the first use of specific modes of operation of the engine, and the magnitude of emissions of certain harmful components of exhaust gases lead to the unit power or the mileage of the car; the second use modes "driving cycle", and the regulation of hazardous substances performed per cycle. A simplified test driving cycle was developed by replacing the unsteady driving modes of the European driving cycle with the established ones. Each non-standard mode was replaced with the "midpoint" of the cycle mode, which is the average values of indicators that determine the engine's operating mode. As a result of replacing the unsteady modes of the European urban driving cycle, nine steady-state modes were obtained, which constitute a simplified test cycle. The basis for determining the "midpoints" of the simplified cycle modes is the principle: the work performed by the engine in the unsteady mode should be equal to the work of the engine performed in the replaced steady mode.Calculated studies show that the simplification of the European driving cycle can be carried out by replacing unsteady driving modes with "midpoints" of cycle modes that characterize the average values of indicators that determine the operating mode of the engine or car. The use of a simplified cycle in operating conditions will allow you to detect deviations in engine adjustments, its malfunctions, as well*

as evaluate the performance of the car when using alternative fuels, devices for improving fuel efficiency and environmental performance of vehicles.

Keywords: *automobile, mathematical model, driving conditions, fuel efficiency, European driving cycle.*

Введение. Двигатель автомобиля большую часть времени работает в неустановившихся режимах, которые характеризуются изменением условий движения, частоты вращения коленчатого вала, ускорения и скорости автомобиля, важным является достижение топливной экономичности, экологических и энергетических показателей.

Математическая модель состоит из дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих движение автомобиля в отдельных режимах. Входными переменными в математической модели является величина и скорость перемещения дроссельной заслонки, выбранная передача, моменты смены передачи, продолжительность переключения передачи, скорость движения, потери в трансмиссии и двигателе, дорожные условия (величина коэффициента сопротивления качению), загруженность автомобиля, выбранный цикл движения. Выходными параметрами являются расход топлива, выбросы вредных веществ с отработавшими газами двигателя и транспортная работа автомобиля.

Во время разработки упрощенного испытательного цикла, разрабатывают установившиеся режимы, учитывая исследования различных авторов [1 – 6], здесь было выдвинуто предположение, о возможности получения такого цикла заменой неустановившихся режимов движения Европейского ездового цикла, установившимися. Замену каждого нестандартного режима было решено осуществлять «средней точкой» режима цикла, которая представляет собой средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя, которую можно определять двумя равноценными способами:

- по разрежению во впускном трубопроводе $\Delta p_к$ и частоте вращения коленчатого вала двигателя $n_д$ (этот способ приемлем при разработке упрощенного цикла для испытаний двигателей);
- по крутящему моменту $M_к$ и частоте вращения коленчатого вала двигателя $n_д$ (этот способ приемлем при разработке упрощенного цикла для испытаний автомобилей).

Определение «средних точек» режимов можно проводить как первым, так и вторым способами. Для начала проведения экспериментальных исследований и первичной проверки адекватности математической модели определение «средних точек» проводилось первым способом, так как его проще реализовать в ходе полигонных испытаний на действующем автомобиле.

Теоретические предпосылки. Основными режимами работы двигателя по ездовым циклам - европейским городским и упрощенным являются следующие (рисунок 1).

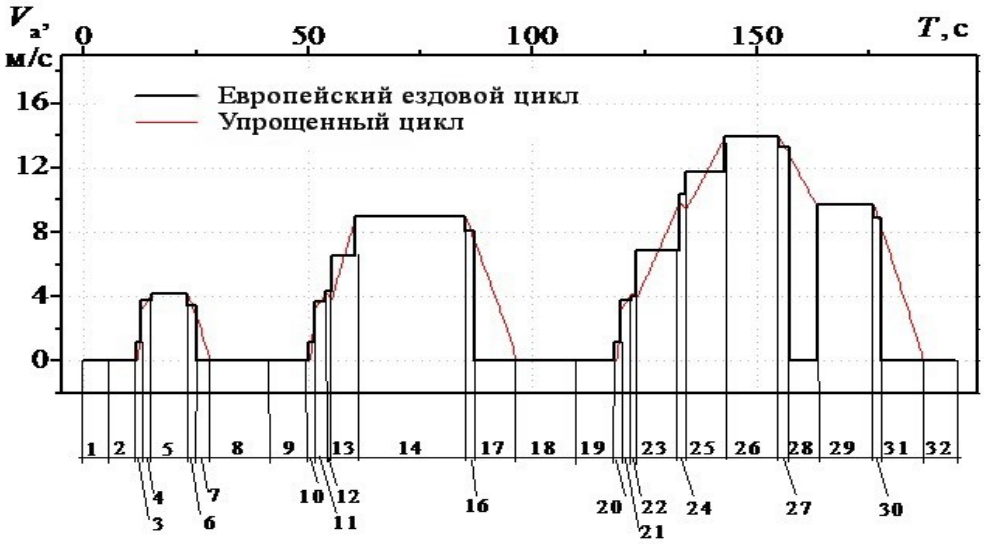


Рисунок 1 – Схема ездовых циклов, Европейского и упрощенного

1. Работа двигателя в режиме минимальной частоты вращения холостого хода. В упрощенном цикле этот режим составляют следующие участки Европейского цикла: 1, 7, 8, 17, 18, 28, 31, 32.

При работе бензинового двигателя в режиме минимальной частоты холостого хода крутящий момент двигателя $M_к = 0$. Отсутствуют любые связи между двигателем и трансмиссией. При этом частота вращения $n_д$ и угол открытия дроссельных заслонок $\varphi_{др}$ достигают своих минимальных значений:

$$n_д = n_{хх\ min}, \quad (1)$$

$$\varphi_{др} = \varphi_{др\ min}, \quad (2)$$

Режим минимальной частоты вращения является устойчивым, показатели работы двигателя в этом случае определяют экспериментально. Поэтому полиномиальные зависимости, описывающие показатели работы двигателя в этом режиме были определены на основе характеристик холостого хода, полученных экспериментально при работе на бензине со стандартными регулировками.

В упрощенном испытательном цикле указанный режим определяет продолжительность режима Δt, которая, представляет собой сумму всех периодов времени, когда двигатель работает в режиме холостого хода в течение одного цикла. Поэтому, режим холостого хода в упрощенном цикле составляют явные режимы холостого хода и неявные - торможение с отсоединенным сцеплением, где двигатель работает в режиме минимальной частоты холостого хода.

Весомость любого режима P определяют по соотношению:

$$P = \frac{\Delta t}{T}, \quad (3)$$

где Δt - продолжительность режима, с; T – общая продолжительность цикла (испытания), с.

Несмотря на это, определенная весомость режима холостого хода в упрощенном испытательном цикле составляет 0,458, или 45,8 % продолжительности всего цикла.

2. Разгон двигателя автомобиля в режиме холостого хода. В упрощенном цикле этот режим составляют такие участки Европейского цикла: 2, 9, 19.

Этот режим непосредственно предшествует началу движения автомобиля, но осуществляется при отсутствии связи двигателя с трансмиссией. При разгоне двигателя в режиме холостого хода от минимальной частоты $n_{хх\ min}$ до частоты вращения $n_{д0}$, при которой водитель отпускает педаль сцепления, уравнение движения двигателя имеет вид:

$$\frac{dn_д}{dt} = M_к(\varphi_{др}, n_д) \cdot \frac{30}{I_д \cdot \pi}, \quad (4)$$

где $\frac{dn_д}{dt}$ – ускорение коленчатого вала двигателя, мин$^{-1}$·с$^{-1}$; $M_к(\varphi_{др}, n_д)$ – эффективный крутящий момент двигателя, Н; $I_д$ – момент инерции двигателя, кг·м^2.

Исходя из частоты вращения, определенной по уравнению (4) по экспериментальным характеристикам холостого хода определяют показатели работы двигателя, его топливную экономичность и вредные выбросы за единицу времени и за период разгона двигателя.

В упрощенном испытательном цикле показатели работы при разгоне бензинового двигателя в режиме холостого хода определяет продолжительность участка режима Δt и частота вращения двигателя $n_д(t)$.

Определение среднего значения частоты вращения на выбранном участке режима Европейского ездового цикла осуществляется по соотношению:

$$n_{дс} = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_д(t) \cdot \Delta t_i}{\Delta T}, \quad (5)$$

где $n_{дс}$ - среднее значение частоты вращения на определенном участке режима Европейского ездового цикла; $n_д(t)$ – мгновенное значение частоты вращения на i-х участках режима; Δt_i – продолжительность I-го участка режима цикла; m - количество участков режимов; ΔT – общая продолжительность режима.

Продолжительность режима ΔT представляет сумму тех периодов времени, когда двигатель работает в режиме разгона двигателя на холостом ходу в течение цикла:

$$\Delta T = \sum_{1}^{m} \Delta t_i. \quad (6)$$

За один городской цикл количество участков, которые отвечают за разгона двигателя в режиме холостого хода, равно трем. После замены их «средними точками», полученные устоявшиеся участки объединяют по продолжительности и заменяют одним общим режимом. Весомость такого режима в упрощенном испытательном цикле невелика и составляет 0,01 (1 % времени от общей длительности цикла). Хотя указанный режим непродолжительный по времени, исключать его из цикла нецелесообразно, потому что разгон двигателя в режиме холостого хода является этапом разгона, характерным для условий эксплуатации городов и населенных пунктов, в которых находятся автомобили. Кроме того, вопрос снижения загрязнения окружающей среды вредными выбросами автомобилей имеет первостепенное значение для населенных пунктов, необходимо как можно точнее приблизить режимы упрощенного цикла до режимов Европейского ездового цикла, которые соответствуют движению транспортного средства в городе.

3. Разгон автомобиля с буксующим сцеплением. Через незначительную продолжительность (менее 1 с) перемещения дроссельных заслонок в режиме разгона с буксующим сцеплением, в упрощенном испытательном цикле этот режим рассматриваем как начальный этап режима трогания автомобиля с места.

4. Трогание автомобиля с места. Режим трогания с места включен в режим разгона автомобиля с пробуксовывающим сцеплением. В упрощенном цикле этот режим составляют такие участки Европейского цикла: 3, 10, 20.

В этом случае необходимо учитывать, что трогание автомобиля начинается при перемещении дроссельных заслонок и продолжается после окончания их перемещения. Кроме того, процесс сопровождается различными частотами вращения ведущей (двигатель) и ведомой частей сцепления (трансмиссия и колеса). Поэтому при открытии дроссельных заслонок (выполняется условие $t_{дрос} \geq t - t_{хх}$) расчетные уравнения будут иметь следующий вид:

- для двигателя:

$$\frac{dn_д}{dt} = (M_{КН}(\varphi_{др}, n_д) - M_{ЗЧ}) \cdot \frac{30}{I_д \cdot \pi}, \quad (7)$$

где $\frac{dn_д}{dt}$ – замедление или ускорение коленчатого вала двигателя, мин$^{-1}$·с$^{-1}$; $I_д$ – момент инерции двигателя, определяется из справочника; кг·м^2, $M_{КН}$ ($\varphi_{др}$, $n_д$) – крутящий момент двигателя в неустановившемся режиме работы, Н·м; $M_{ЗЧ}$ – момент трения сцепления, Н·м.

- для ведомой части сцепления и приведенных к нему масс трансмиссии:

$$\frac{dn_з}{dt} = (M_{ЗЧ} - M_{ОП}) \cdot \frac{30}{I_{АШ} \cdot \pi}, \quad (8)$$

где $\frac{dn_з}{dt}$ – ускорение ведомой части сцепления, мин$^{-1}$·с$^{-1}$; $I_{АШ}$ – момент инерции масс автомобиля, которые вращаются, приведен к сцеплению, кг·м^2; $M_{ЗЧ}$ – момент трения сцепления, Н·м; $M_{ОП}$ – момент сопротивления движению автомобиля, Н·м.

Момент инерции массы автомобиля определяется по зависимости:

$$I_{АШ} = \frac{(m_0 + m_в) \cdot r_К^2}{U_i^2 \cdot U_р^2} + \sum_{i=1}^{n} \frac{I_{Ki}}{U_i^2 \cdot U_р^2}, \quad (9)$$

где $Iк$ – момент инерции i-го колеса автомобиля, кг·м^2; U_i – передаточное число коробки передач; $U_р$ – передаточное число главной передачи; m_0 – масса автомобиля, кг; $m_в$ – масса груза, кг.

Крутящий момент двигателя в не установившимся режиме работы двигателя определяется при двух условиях: в процессе открытия дроссельных заслонок и после окончания открытия. Определение крутящего момента в процессе открытия дроссельных заслонок сведено к определению $M_к(\varphi_{др})$, который определяется экспериментально и описывается полиномиальной зависимостью при постоянной частоте вращения ($n_д$ = const).

После окончания перемещения дроссельных заслонок (выполняется условие $t_{дрос} < t - t_{хх}$) крутящий момент определяется следующей формулой:

$$M_{КН} = M_{КУ} - \lambda \cdot \frac{dn_Д}{dt} \cdot \frac{\pi}{30}, \quad (10)$$

где M_{KH} – величина крутящего момента на нестандартном режиме работы двигателя, Н·м; $M_{KУ}$ – величина крутящего момента при установившемся режиме работы двигателя, Н·м; λ – коэффициент нестандартного режима движения, полученный опытным путем.

Значение крутящего момента установившегося режима $M_{KУ}$ во всем диапазоне нагрузочных и скоростных режимов, за исключением экономайзерного, описывается зависимостью:

$$M_{\text{КУ}} = A_0 + A_1 \cdot \Delta p_{\text{К}}, \tag{11}$$

где A_0, A_1 – коэффициенты аппроксимации; $\Delta p_{\text{к}}$ – разрежение во впускном трубопроводе двигателя, кПа.

Коэффициенты A_0 и A_1 получают в результате обработки экспериментальных данных. При работе двигателя по внешней нагрузочной характеристикой, крутящие моменты описываются полиномиальной зависимостью второй степени как функция от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Зависимость разрежения во впускном трубопроводе от частоты вращения $n_{\text{д}}$ коленчатого вала и угла открытия $\varphi_{\text{др}}$ дроссельных заслонок двигателя в частичных нагрузочных режимах двигателя описывают полиномом:

$$\Delta p_{\text{к}} = B_0 + B_1 n_{\text{Д}} + B_2 \varphi_{\text{др}} + B_{11} n_{\text{Д}}^2 + B_{22} \varphi_{\text{др}}^2 + B_{12} n_{\text{Д}} \varphi_{\text{др}}, \tag{12}$$

где B_0, B_1, B_2, B_{11}, B_{22}, B_{12} – полиномиальные коэффициенты.

Скорость движения автомобиля определяют по формуле:

$$V_{\text{а}} = \frac{n_{\text{зч}} \cdot r_{\text{к}} \cdot \pi}{U_{\text{i}} \cdot U_{\text{р}} \cdot 30}, \tag{13}$$

где $n_{\text{зч}}$ — частота вращения сцепления, мин-1; $r_{\text{к}}$ – радиус качения колеса, м; U_{i} – передаточное число коробки передач; $U_{\text{р}}$ – передаточное число главной передачи.

Режим разгона автомобиля при пробуксовуючому сцеплении в упрощенном испытательном цикле определяется продолжительностью режима, частотой вращения и крутящим моментом двигателя. Частота вращения определяется по соотношению (5), а крутящий момент зависимостью:

$$M_{\text{к}_{\text{с}}} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{m}} M_{\text{к}}(t) \cdot \Delta t_{\text{i}}}{\Delta T}, \tag{14}$$

где $M_{\text{к}_{\text{с}}}$ – средние значения соответственно крутящего момента и частоты вращения на отдельных режимах Европейского ездового цикла; $M_{\text{к}}$ (t) – мгновенное значение крутящего момента на i-х участках режима; Δt_{i} -продолжительность i-го участка режима цикла; m – количество участков режимов; ΔT – общая продолжительность режима.

Следовательно, после упрощения получаем вместо трех режимов трогания автомобиля с места один общий. Весомость режима трогания с места в упрощенном испытательном цикле составляет $P = 0{,}02$.

5. Разгон автомобиля при сблокированном сцеплении (разгон бензинового двигателя автомобиля при работе в режиме частичных нагрузок или при полной нагрузке). В Европейском ездовом цикле, режим разгона при сблокированном сцеплении встречается шесть раз в течение одного цикла: на I передаче - три раза, на II передаче – два, на III передаче – один.

В упрощенном испытательном цикле режим разгона при сблокированном сцеплении составляют отдельные участки в зависимости от передачи, которая используется водителем. Режим разгона при сблокированном сцеплении на I передаче заменяется режимом, составляющим участки 4, 11, 21, режим разгона при сблокированном сцеплении на II передаче заменяется режимом, составляющим участки 13, 23, режим разгона при сблокированном сцеплении на III передаче заменяется одним участком 25.

Разгон автомобиля при сблокированном сцеплении происходит вследствие существования связи между двигателем и трансмиссией и выполнения условия $n_{\text{д}} = n_{\text{зч}}$ и заканчивается при заданной частоте вращения коленчатого вала на i-й передаче.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\delta(m_0 + m_{\text{в}})} \left[\frac{M_{\text{КН}} \cdot U_{\text{i}} \cdot U_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{Т}}}{r_{\text{д}}} - P_{\text{f}} \pm P_{\text{i}} - P_{\text{w}} \right], \tag{15}$$

где $\eta_Т$ – КПД трансмиссии; δ – коэффициент учета масс, которые вращаются; $r_к$ – динамический радиус колеса, м; m_0 – масса автомобиля, кг; $m_в$ – масса груза, кг; U_i – передаточное число коробки передач; U_p – передаточное число раздаточной коробки передач; P_f– сила сопротивления качению автомобиля, Н; P_i – сила сопротивления подъема, Н; P_w– сила сопротивления воздуха, Н.

Коэффициент учета вращающихся масс, δ находим по формуле:

$$\delta = 1 + \frac{\sum_{i=1}^{n} I_{Ki} + I_Д \cdot U_i^2 \cdot U_Р^2 \cdot \eta_Т}{(m_0 + m_в) \cdot r_Д^2}, \quad (16)$$

где $\sum_{i=1}^{n} I_{Ki}$ – суммарный момент инерции колес автомобиля, кг·м^2; $I_д$ – момент инерции вращающихся масс двигателя кг·м^2.

Другие составляющие силы уравнения тягового баланса находим по формулам:

$$P_f = (m_0 + m_в) \cdot g \cdot f \cdot \cos\alpha, \quad (17)$$

где f – коэффициент сопротивления качению, Н/кг; α — угол подъема (спуска) дороги, град;

$$P_i = (m_0 + m_в) \cdot g \cdot \sin\alpha, \quad (18)$$

$$P_W = kF \cdot V_a^2, \quad (19)$$

где kF – фактор сопротивления воздуха, Н·с^2/м^2; $V_а$ – скорость автомобиля, м/с.

Каждый такой участок в упрощенном цикле заменяется "средней точкой", представляющей средние значения параметров, определяющих режим работы двигателя $M_к$ и $n_д$, определяемых по зависимостям (5) и (14). Далее участки, относящиеся к одной и той же передаче, заменяются «средней точкой», объединяются по своей продолжительности, образуя при этом один режим.

Таким образом, при упрощении таких режимов образуется три устоявшихся режима, заменяющих режимы разгона при сблокированном сцеплении в зависимости от используемой передачи. В упрощенном испытательном цикле весомость режима при сблокированном сцеплении на I передаче составляет – 0,036, на II передаче – 0,076, на III передаче – 0,044.

6. Движение автомобиля при переключении передач. В упрощенном цикле режимы переключения передач заменяются устоявшимися режимами, которые составляют участки 12, 22, 24. Эти участки присоединяются к участкам, составляющим режим принудительного холостого хода.

Для перехода на высшую передачу водитель с помощью сцепления отсоединяет двигатель от трансмиссии. Двигатель работает в режиме принудительного холостого хода (ПХХ). Уравнение его движения:

$$I_Д \cdot \frac{dn_д}{dt_з} = M_Т \cdot \frac{30}{\pi}, \quad (20)$$

где $t_з$ – время с момента выключения сцепления, с; $M_Т$ – момент механических потерь в двигателе, Н·м.

Показатели работы во время переключения передач в упрощенном цикле определяются временем режима, частотой вращения двигателя и его крутящим моментом. В упрощенном испытательном цикле замена «средней точкой» режима движения автомобиля при переключении передач выполняется по формулам (5) и (14).

7. Устоявшееся движение автомобиля. Европейский ездовой цикл включает четыре режима установившегося движения автомобиля: на I передаче при $V_а$ = 15 км/ч (участок 5), на II передаче при $V_а$ = 32 км/ч (участок 14), на III передаче при $V_а$ = 50 км/ч (участок 26), на III передаче при $V_а$ = 35 км/ч (участок 29). Режимы движения с постоянной скоростью являются устоявшимися, поэтому замена таких режимов в упрощенном испытательном цикле не выполняется.

Таким образом, упрощенный цикл включает четыре режима установившегося движения автомобиля, значимость которых составляет: для $V_а$ = 15 км/ч – 0,042, для $V_а$ = 33 км/ч – 0,125, для $V_а$ = 50 км/ч – 0,062, для $V_а$ = 35 км/ч – 0,065.

Крутящий момент для движения автомобиля с постоянной скоростью определяется по следующему уравнению:

$$M_К = \frac{\left[(m_0 + m_в) \cdot (f_0 \cdot \cos\alpha + f_0 \cdot A \cdot V_a^{\ 2} \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha) + kF \cdot V_a^{\ 2}\right] \cdot r_Д}{U_i \cdot U_Р \cdot \eta_Т}, \quad (21)$$

где A – условное сопротивление, $с^2/м^2$; (A=4...5·10^{-5}).

Частота вращения коленчатого вала двигателя определяется по зависимости:

$$n_д = \frac{V_а \cdot U_i \cdot U_Р}{\pi \cdot r_К} \cdot 30, \quad (22)$$

8. Замедление автомобиля с соединенными трансмиссией и двигателем (работа двигателя в режиме принудительного холостого хода). В упрощенном цикле это режимы участка 6, 16, 27, 30.

Для случая замедления автомобиля, когда существует связь с трансмиссией, процесс описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\delta(m_0 + m_в)} \cdot \left[\frac{M_Т \cdot U_i \cdot U_Р}{\eta_Т \cdot r_Д} - P_f \pm P_i - P_W \right], \quad (23)$$

где (m_0+$m_в$) – полная масса автомобиля, кг; $M_Т$ – момент механических потерь двигателя при закрытых дроссельных заслонках, Н·м.

Работа двигателя в режиме торможения автомобиля с заблокированным сцеплением аналогична его работе во время переключения передач, в упрощенном испытательном цикле, эти режимы сводятся в один по своей продолжительности. Поэтому режим ПХХ в упрощенном цикле заменяется режимом, который составляют участки 6, 12, 16, 22, 24, 27, 30. Общая весомость режима, заменяющего режим принудительного холостого хода, в упрощенном цикле составляет 0,062 (6,2 % времени продолжительности цикла).

9. Замедление автомобиля с отсоединенным от трансмиссии двигателем характеризует работу двигателя в режиме минимальной частоты холостого хода. В упрощенном цикле это участки 7, 17, 28, 31. Как указано выше, эти участки объединяются по продолжительности с участками, которые определяют режим минимальной частоты холостого хода.

Результаты и их обсуждение. Указанные режимы, в определенной комбинации вариантов состояния системы «водитель–автомобиль–дорога», образуют на участке в 1013 м Европейский городской цикл. В упрощенном испытательном цикле все неустановившиеся режимы заменены установившимися, которые соответствуют по длительности и показателям работы двигателя, установившимся режимам.

Создание упрощенного испытательного цикла для проверки экологических и топливно-экономических показателей двигателей автомобилей базируется на замене неустановившегося режима Европейского ездового цикла установившимся.

Для доказательства возможности использования принципов замены неустановившихся режимов Европейского ездового цикла устоявшимися, проведены расчеты расхода топлива и массовых выбросов вредных веществ за цикл при замене режимов «средними точками», определенными средними значениями $\Delta p_к$ и $n_д$. Результаты расчета расхода топлива и массовых выбросов таким способом и на математической модели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов на математической модели и при замене режимов Европейского ездового цикла «средними точками».

Показатель работы автомобиля, г/цикл		Тип расчета		Расхождение, %
		Математическая модель	«Средние точки» режимов $\Delta p_к$ и $n_д$	
Суммарное количество топлива		85,5	81,7	4,4
Массовые выбросы	оксид углерода	12,6	11,4	9,3
	углеводороды	1,14	1,26	10,5
	оксид азота	1,58	1,44	8,9
	Двуокись углерода	240	230,2	4,1

Сравнение полученных расчетных значений, расхода топлива и массовых выбросов по результатам расчета на математической модели показывает допустимое расхождение и делает возможным её использование для замены неустановившихся режимов указанным выше путем.

Выводы. Расчетные исследования показывают, что упрощение Европейского ездового цикла возможно осуществлять заменой неустановившихся режимов движения «средними точками» режимов цикла, которые характеризуют средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя или автомобиля.

Применение упрощенного цикла в условиях эксплуатации позволит выявлять отклонения в регулировках двигателя, его неисправности, а также оценивать показатели автомобиля при использовании альтернативных топлив, устройств для повышения топливной экономичности и экологических показателей транспортных средств.

Список литературы

1. Триги Х.А. Повышение экологической безопасности карбюраторных автомобилей в эксплуатации на основе стационарного диагностирования. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва.– 2000. – 21 с.

2. Скирков Н.Д. Оптимизация регулирования бензинового двигателя по топливной экономичности с учетом токсичности. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва.– 1980. – 16 с.

3. Гарбер А.З. совершенствование методов снижения токсичности отработавших газов и расхода топлива городскими автобусами с карбюраторными двигателями в условиях эксплуатации. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва. – 1986. – 23 с.

4. Хавторин С.В. Быстрое экспериментальное определение базовых регулировок при многопараметрическом управлении двигателем. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва. – 1995. – 20 с.

5. Трофименко Ю.В. Теория экологических характеристик автомобильных энергоустановок. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва.– 1996. – 32 с.

6. Аманов К.А. Совершенствование технологии определения связанного многопараметрического управления двигателем внутреннего сгорания. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва. – 2004. – 24 с.

References

1. Trigi H.A. Povyshenie jekologicheskoj bezopasnosti karbjuratornyh avtomobilej v jekspluatacii na osnove stacionarnogo diagnostirovanija. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva.– 2000. – 21 s.

2. Skirkov N.D. Optimizacija regulirovanija benzinovogo dvigatelja po toplivnoj jekonomichnosti s uchetom toksichnosti. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva.– 1980. – 16 s.

3. Garber A.Z. sovershenstvovanie metodov snizhenija toksichnosti otrabotavshih gazov i rashoda topliva gorodskimi avtobusami s karbjuratornymi dvigateljami v uslovijah jekspluatacii. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva. – 1986. – 23 s.

4. Havtorin S.V. Bystroe jeksperimental'noe opredelenie bazovyh regulirovok pri mnogoparametricheskom upravlenii dvigatelem. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva. – 1995. – 20 s.

5. Trofimenko Ju.V. Teorija jekologicheskih harakteristik avtomobil'nyh jenergoustanovok. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva.– 1996. – 32 s.

6. Amanov K.A. Sovershenstvovanie tehnologii opredelenija svjazannogo mnogoparametricheskogo upravlenija dvigatelem vnutrennego sgoranija. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva. – 2004. – 24 s.

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.

Author credentials

Affiliations

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

Поступила в редакцию (Received): 14.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2020

УДК 637.115
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-74-81

РОБОТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОЕНИЯ КОРОВ ПОВЫШАЕТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА

[1]Симонов Геннадий Александрович
[1]Никифоров Владислав Евгеньевич
[1]Иванова Дарья Александровна
[2]Филиппова Ольга Борисовна

[1]ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Применяемые на фермах технологии доения в основном имеют единый механизм взаимодействия с животными. Производительность и функциональная особенность доильных установок определяется типом содержания коров – привязным или беспривязным. На животноводческих комплексах с беспривязным содержанием коров чаще всего внедряется система доения в доильных залах, оснащённая установками с программными средствами и возможностью индивидуального учёта ежедневного удоя. На примере молочной фермы «Племзавод Родина» Вологодской области проведено исследования технологических особенностей доения коров с помощью роботов (VMS «DeLaval») в сравнении с традиционным доением. Дана сравнительная оценка производительности различных технологий доения высокопродуктивных коров. Проведены хронометрические наблюдения за процессом доения: доение в линейный молокопровод; доение с применением установки «Европараллель» на 24 места фирмы De Laval; доение четырьмя роботами-доярами VMS фирмы De Laval. Средняя продолжительность доения на исследуемых технологиях находится в пределах 4-6 минут. Средние показатели продолжительности доения коров в указанных технологиях соответствуют общим требованиям машинного доения. Полученные средние показатели кривых по продолжительности доения указывают на проведение планомерной работы по подбору животных с нормально развитым выменем. Существование на ферме комбинированной системы привязного и беспривязного содержания позволяет эффективно проводить дойку высокопродуктивных коров. В молоке уменьшилось содержание соматических клеток. Данный показатель качества составляет 238 тыс./см^3, что соответствует и российскому и европейскому стандарту молока высшего сорта.*

Ключевые слова: *роботизированная технология доения, система доения, коровы, молоко, качество, эффективность.*

ROBOTIC TECHNOLOGY MILKING THE COWSINCREASES THE EFFICIENCY OF MILK PRODUCTION

[1]Simonov Gennady
[1]Nikivorov Vladislav
[1]Ivanova Dasha
[2]Filippova Olga

[1] FSBIS "Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences"
[2]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *Milking technologies used on farms generally have a single mechanism of interaction with animals. Productivity and functional features of milking units are determined by the type of keeping cows – tethered or loose. At livestock complexes with loose keeping of cows, a milking system is most often implemented in milking parlors, equipped with installations with software and the possibility of individual accounting of daily milk yield. On the example of the dairy farm "Plemzavod Rodina "in the Vologda region, the research of technological features of milking cows using robots (VMS" DeLaval") in comparison with traditional milking was carried out. A comparative assessment of the productivity of various milking technologies for highly productive cows is given. Chronometric*

observations of the milking process were carried out: milking in a linear milk line; milking with the use of the "Europarallel" installation for 24 seats by De Laval; milking by four VMS milking robots by De Laval. The average duration of milking on the studied technologies is within 4-6 minutes. The average duration of milking cows in these technologies meet the General requirements of machine milking. The obtained average values of the curves for the duration of milking indicate that systematic work is being carried out to select animals with normally developed udders. The existence of a combined system of tethered and loose keeping on the farm makes it possible to effectively milk highly productive cows. The content of somatic cells in milk decreased. This quality indicator is 238 thousand/cm^3, which corresponds to both the Russian and European standards of premium milk.

Keywords: *robotic milking technology, milking system, cows, milk, quality, efficiency.*

Введение. В настоящее время в отрасли молочного животноводства и производства молока в России наблюдается активный переход от механизированного труда к высокотехнологичному – автоматизированному. Современные доильные установки представляют собой сложное и металлоёмкое оборудование, причём интерес к системам автоматического доения постоянно растёт вследствие очевидных достоинств перед традиционным доением, где главное преимущество это качество получаемого молока и сокращение расходов на оплату труда. Применяемые на фермах технологии доения в основном имеют единый механизм взаимодействия с животными, а функциональная особенность и производительность доильных установок на привязном и беспривязном содержании определяется в зависимости от их типа.

До сих пор на фермах наибольшее распространение имеет привязное и беспривязное содержание, а также совмещённый или комбинированный способ содержания коров. Однако при проектировании новых и строительстве крупных молочных комплексов многие хозяйства ориентируются на беспривязное содержание. Это связано с тем, что на данный период в молочном скотоводстве возможно наиболее эффективно и экономически выгодно обеспечить повышение производства молока именно за счёт унификации доильных залов с беспривязным способом содержания и доением на установках «Елочка», «Тандем» или «Параллель». Поэтому в результате реконструкции современных молочных ферм или введённых в эксплуатацию новых животноводческих комплексов с беспривязным содержанием коров чаще всего внедряется система доения в доильных залах, оснащённая установками с программными средствами и возможностью индивидуально проводить ежедневный учёт удоя коров [1].

Установки типа «Параллель» достаточно широко используются на фермах Европы с начала 90-х годов [2]. Коровы на данной технологии доения размещаются перпендикулярно проходной рабочей зоны оператора. Эти установки имеют преимущество за счёт свободного доступа оператора к вымени, а коровы имеют возможность быстрого выхода и входа следующей группы для доения. Автоматическая фиксация животных позволяет оперативно начать обслуживание при полном заполнении секции, что существенно повышает пропускную способность данной установки. Основываясь на вышеизложенных преимуществах, представляло проявить интерес и выявить технологию доения коров с наиболее эффективной системой доения и содержания.

Наиболее перспективной тенденцией в развитии доильной техники является внедрение доильных роботов по системе добровольного доения, которые способны в автоматическом режиме контролировать продуктивность животных с учётом их физиологического состояния. Действие робота осуществляется благодаря управлению и программной функции выполнения всех технологических операций получения молока, причём все поступающее молоко тестируется. Пропускная способность, или нагрузка на робота по обслуживанию с одним боксом составляет 60-70 коров, а непременным преимуществом является сокращение трудозатрат и экономия трудового времени, более 50% в сравнении с доильными залами типа «Параллель» или «Ёлочка»

Установлено, что в среднем число посещений доильного робота составляет 2,6-3,7 раза, а высокопродуктивные коровы (надой более 30 кг в сутки) от 4 до 5 раз. Этим роботы обеспечивают увеличение продуктивности на 18% в первой лактации, а за всю лактацию до 10-14% [2]. Однако опыт показывает, что при роботизированном доении на отбраковку приходится до 15% коров, т.к. отбор коров должен соответствовать основным критериям по высокой молочной продуктивности и физиологическим требованиям. Это влияет на производительность

обслуживания робота, так как эффективное время работы снижается на непроизводительные подготовительные операции, поскольку время доения весьма ограничено. Вместе с тем учитывается, что индивидуальный подход при обслуживании животных на роботах увеличивает продолжительность их хозяйственного использования до 6 лактаций и более.

Внедрение автоматизированного доения в практику молочно-товарных ферм обязывает зоотехников-селекционеров и специалистов усилить работу по отбору коров, чтобы обеспечить эффективное использование доильных аппаратов, ликвидировать заболевания вымни у коров, повысить их продуктивность. На эффективность машинного доения большое влияние оказывает и сама технология, поскольку технологические манипуляции, выполняющиеся в строгой последовательности, должны иметь определённые характеристики по времени с учётом подготовительных операций доения [3]. Поэтому учёт взаимосвязи различных систем с массовым обслуживанием коров на ферме имеет высокое практическое значение, поскольку в процессе доения и непосредственно молокоотдача может активизироваться или снижаться, в целом важно и отношение по организации всего машинного доения коров на ферме. Цель исследований заключалась в определении эффективности доения коров при различных технологиях содержания.

Материалы и методы. Эксперимент был проведён в 2017-2019 гг. на коровах черно-пестрой породы в условиях ферм АО «Племзавода Родина» Вологодской области Вологодского района, на которых применяется способ привязного и беспривязного содержания в сочетании с технологиями доения на линейном молокопроводе, в доильном зале «Европараллель» и роботизированная технология с использованием VMS «DeLaval».

Для сравнительной оценки производительности различных технологий доения высокопродуктивных коров были проведены хронометрические наблюдения: доение в линейный молокопровод; доение с применением установки «Европараллель» на 24 места фирмы De Laval; доение четырьмя роботами-доярами VMS фирмы De Laval.

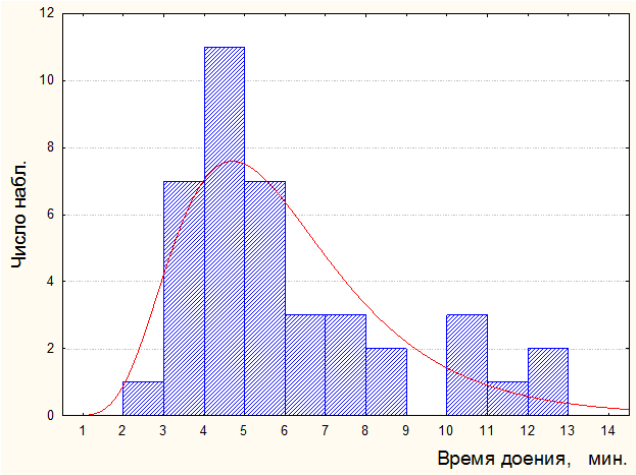
Лактирующие коровы в период опыта получали нормированные и сбалансированные рационы согласно существующих норм, что положительно влияло на молочную продуктивность, качество получаемой продукции и воспроизводительную способность [5-15]. Был проведен анализ молочной продуктивности коров при доении на роботах и качественных показателей полученного молока.

Результаты и их обсуждение. Показатели различных технологий доения коров за опыт приведены в (таблице 1).

Таблица 1 – Общие показатели технологий доения

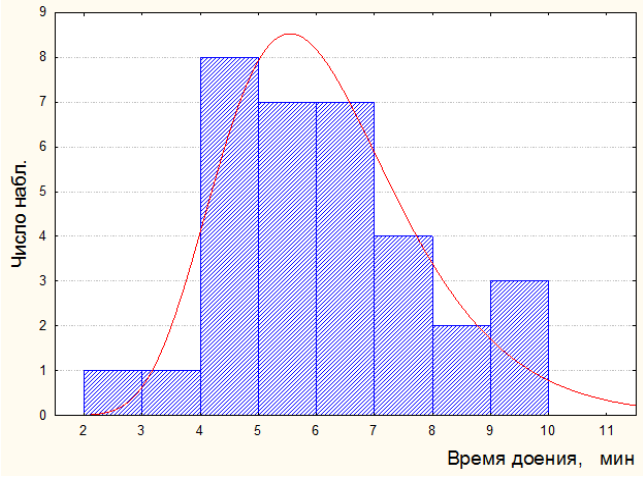
№	Характеристика технологии	Кол-во аппаратов / (операторов)	Кол-во обслуживаемых коров	Длительность дойки, час.	Кол-во доек в час / (в сутки)	Нагрузка на 1 аппарат, (доений в час)
1.	«Молокопровод» Привязное содержание	12/(4)	186	3 раза по 1,9 часа	97,7 / (558)	8,1
2.	Доильный зал «Европараллель» «de Laval»	24/(2)	193	3 раза по 1,8 часа	106,8 / (579)	8,9
3.	Робот «de Laval»	4/1	221	Постоянно 19-21час	31,2 / (592-656)	7,8

На рисунке 1 показаны распределения продолжительности доения коров в молокопровод, в доильном зале типа «Европараллель» и на роботизированной установке. Распределения отображают интервал и время доения коров на роботах от минимального до максимального значений и составляют от 3 минут до 13 минут соответственно. Средние значения времени периодов доения коров в указанных технологиях соответствуют общим требованиям машинного доения и рефлексам молокоотдачи в пределах 5-6 минут. Полученные средние показатели кривых по времени доения указывают на проведение планомерной работы по подбору животных с нормально развитым выменем, при этом основная группа коров выдаивается в необходимый период времени за 3-8 минут.



а) роботы

б) установка «Европараллель»



в) молокопровод (привязное содержание)

Рисунок 1 – Распределения продолжительности доения коров

Средняя продолжительность доения на роботах составляет 7,67 минуты, следовательно, один робот может обслужить уже за час 7,82 коровы. Если рабочее время робота в сутки длится от 19 до 21 часа с учётом выделенного времени на промывку всей системы, то его производительность по доению коров составит уже 148 – 164 раз за день. В среднем за сутки одна корова может посетить дойку 2,6 – 2,9 раза, это достаточно для устойчивой работы с оптимальной нагрузкой на один робот в 57 – 63 коров, однако в перспективе существуют резервы и возможность обслуживания до 70 – 77 коров.

В доильном зале DeLaval на установке «Европараллель» средняя продолжительность доения составляет 6,73 минуты. Установку обслуживают 2 оператора 24 аппаратами с одновременным доением коров в 2 группах и производительностью 108 коров в час.

На привязном содержании коров средняя продолжительность однократного доения в линейном молокопроводе составляет 7,37 минуты, причём за один час оператор тремя доильными аппаратами при одноразовой дойке способен выдоить до 25 коров.

В течение часа на привязном содержании и тремя переносными аппаратами 4 оператора способны выдоить до 98 коров, соответственно на беспривязном содержании на установке в доильном зале 2 оператора 24 доильными аппаратами подоят до 108 коров. На роботизированной технологии доения в час четыре робота обслуживают 31 – 32 коровы. Исходя из этого обслуживается 186 коров на привязи, 193 в доильном зале и 221 на роботах (таблица 1).

Для доения роботами наиболее подходят коровы первой и второй лактации, так как они наиболее способны быстро обучаться к дальнейшему обслуживанию без участия человека и привыкают к роботизированной доильной системе, они более интенсивно перемещаются и осуществляют быстрый вход и выход, не вызывая длительных простоев робота [4].

Система роботизированной технология доения наделена автоматическим управлением, имеет существенное преимущество в том, что обеспечивает интеллектуальный режим доения коров, одновременно учитывая получение молока в соответствии с морфологической и функциональной особенностью вымени (рисунок 2). Современные автоматические роботизированные системы с компьютерным управлением оптимально обеспечивают высокую культуру производства и условия работы персонала, связанных с доением коров на ферме.

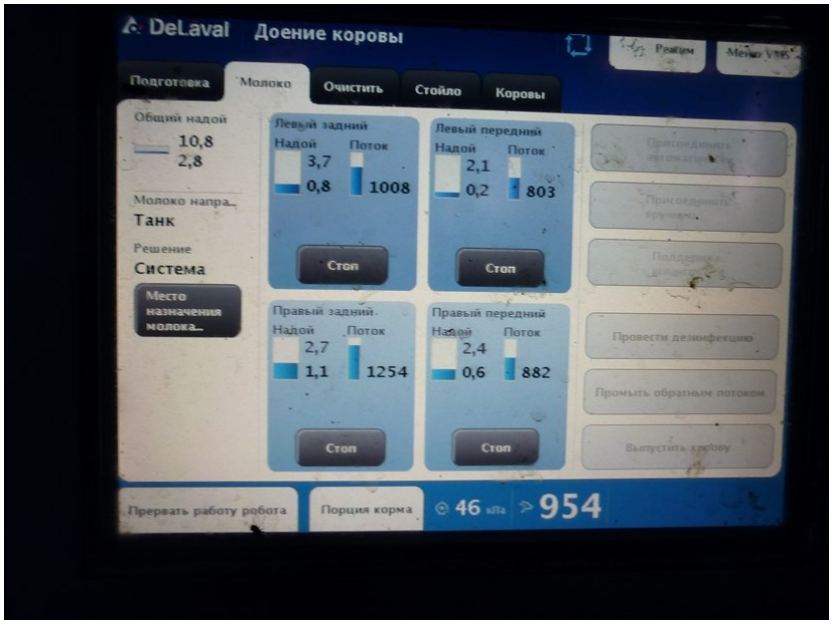


Рисунок 2 – Контрольный дисплей управления доением на роботе

Несмотря на высокие капитальные и эксплуатационные затраты на приобретение и обслуживание роботов, данная технология позволяет сократить общие расходы и высвободить трудовые ресурсы на другие важные трудоёмкие объекты с целью выполнения плана по реализации и повышения экономической эффективности производства молока [16 – 19].

Роботизированные системы доения вначале получили широкое применение за рубежом. Одной из первых в Вологодской области и в России роботизированная система доения была внедрена в АО «Племзавод Родина». На 2019 год в хозяйстве используются уже 12 роботов от компании DeLaval и 8 роботов GEA, причём обслуживаемое поголовье на роботизированной системе доения увеличилось на 396 коров в 2019 году по сравнению с 2017 годом.

В таблице 2 приведены данные в результате эксплуатации роботизированной технологии доения на фермах АО «Племзавод Родина».

Таблица 2 – Характеристика роботизированной технологии доения

Показатель	Год	
	2017	2019
Число роботов	12	20
Обслуживаемое роботом поголовье коров	718	1114
Средний суточный надой на корову, кг	26,95	31,94

В настоящее время одной из основных задач в области молочного скотоводства является получение молока высокого качества. Это имеет закономерные экономические предпосылки и является основным условием успеха в работе хозяйств. Качественные показатели молока на роботизированной технологии доения в АО «Племзавод Родина» (2017, 2019 гг.) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Качественные показатели молока

Показатель	Год	
	2017	2019
МДЖ, %	3,87±0,01	3,88±0,01
МДБ,%	3,23±0,00	3,33±0,01
МДЛ, %	4,63±0,00	4,90±0,00
СОМО, %	9,58±0,01	10,12±0,01
Мочевина, мг/100 мл	28,71±0,23	35,66±0,24
Соматические клетки, тыс./см^3	322±9,97	238±10,03

В АО «Племзавод Родина» как в 2017, так и в 2019 году получено молоко с высокими качественными показателями, которые соответствуют условиям, прописанным в ГОСТ Р 52054-2003. «Молоко коровье сырое. Технические условия». По результатам анализа проб молока в 2017 и 2019 гг. наблюдается незначительные изменения массовой доли жира с разницей в 0,01 %, причём белок в 2019 году поднялся до 3,33 %, что превосходит на 0,10 % результаты 2017 года. Согласно данным исследований в 2019 году увеличились показатели МДЛ (+0,27 %) и СОМО (+0,54 %) по сравнению с 2017 годом. Содержание мочевины в анализируемых пробах молока соответствует оптимальным параметрам и составляет 28,71, 35,66 мг/100 мл в 2017 и 2019 гг. соответственно. По соматическим клеткам прослеживается положительный результат, поскольку их содержание в молоке значительно уменьшилось в 2019 году и составляет 238 тыс./см^3, что соответствует не только российскому, но и европейскому стандарту (до 300 тыс./см^3).

Выводы. Проведенные опыты показали, что современные доильные роботы лучше обеспечивают доение коров. Это положительно влияет на увеличении производства молока и улучшение его качества. Средняя продолжительность доения коров по новой технологии составляет 4-6 минут. Это показывает, что физиологические особенности лактирующих коров не нарушаются. Все зоотехнические показатели при доении по новой технологии соответствуют предъявляемым требованиям. Существование на молочной ферме системы привязного и беспривязного содержания позволяет эффективно проводить дойку высокопродуктивных животных. При этом коров, не пригодных к доению по новой технологии, переводят на привязь. В стойлах их доят переносными доильными аппаратами, что позволяет сохранить ценное маточное поголовье и в дальнейшем получать от него молоко и телят.

Список литературы

1. Хазанов Е.Е., Гордеев В.В., Хазанов В.Е. Модернизация молочных ферм. – СПб.: ГНУСЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. – 2008. – 380 с.

2. Палкин Г.Г. Высокопроизводительные доильные залы нетрадиционной планировки // Техника и оборудование для села. – 1999. – № 6 (24). – С.15-17.

3. Карташов Л.П. Контроль при машинном доении. – М.: Россельхозиздат, 1977. – 48 с.

4. Сравнительная оценка технологий доения высокопродуктивных коров черно-пестрой породы на современных комплексах / Е.А. Тяпугин, С.Е. Тяпугин, В.К. Углин, В.Е. Никифоров, В.В. Плотникова, И.С. Сереброва // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 4. – С. 77-80.

5. Зотеев В.С. Витаминно-минеральный премикс для дойных коров // Молочное и мясное скотоводство. – 1985. – № 5. – С. 45-46.

6. Рыжиковый жмых в рационе коз зааненской породы / В.С. Зотеев [и др.] // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2014. – № 3. – С. 29-30.

7. Эффективность кормления коров по детализированным нормам / А.П. Калашников [и др.] // Животноводство. – 1984. – № 9. – С. 7-8.

8. Воспроизводительная способность и состояние рубцового метаболизма коров при разной структуре рационов /А.П. Калашников [и др.] // Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина. – 1984. – № 11. – С. 29.

9. Повышение яйценоскости и качества яиц перепёлок / В.В. Мунгин [и др.] // Птицеводство. – 2016. – № 7. – С. 31-34.

10. Энергосберегающая технология улучшения старосеяных пастбищ / И.В. Сереброва [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 1. – С. 48-50.

11. Симонов Г.А. Использование комплексной минеральной смеси в кормлении коров // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1998. – № 3. – С. 60-61.

12. Продуктивность коров и качество молока при использовании в их рационах ферросила / Г. Симонов, [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2011. – № 4. – С. 19-21.

13. Симонов Г.А., Гуревич В.И. Тритикале в рационе лактирующих свиноматок // Эффективное животноводство. – 2012. – № 8. – С. 48-49.

14. Потребность суягных овцематок в меди в условиях аридной зоны России / Е.А. Тяпугин [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. – № 2. – С. 50-54.

15. Ушаков А., Епифанов В. Микитюк А. Минимизация доли концкормов в рационе холостых овцематок // Комбикорма. – 2016. – № 12. – С.81-82.

16. Никифоров В.Е. Внедрение технологии роботизированного доения на современных комплексах вологодской области // АгроЗооТехника. – 2020. – Т. 3. – № 1. – С. 5.

17. Влияние роботизированного доения на качество молока / Г.А. Симонов, В.Е. Никифоров, И.С. Сереброва, Д.А. Иванова, О.Б. Филиппова // Наука в центральной России. – 2020. – № 2 (44). – С. 117-124.

18. Филиппова О.Б., Доровских В.И., Кийко Е.И. К методике физиологической оценки доильного оборудования // Наука в центральной России. – 2014. – № 6. – С. 53-60.

19. Филиппова О.Б., Кийко Е.И. Экономические аспекты нарушения правил машинного доения в промышленном производстве молока // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 72-75.

References

1. Hazanov E.E., Gordeev V.V., Hazanov V.E. Modernizacija molochnyh ferm. – SPb.: GNUSZNIIMJeSH Rossel'hozakademii. – 2008. – 380 s.

2. Palkin G.G. Vysokoproizvoditel'nye doil'nye zaly netradicionnoj planirovki // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 1999. – № 6 (24). – S.15-17.

3. Kartashov L.P. Kontrol' pri mashinnom doenii. – M.: Rossel'hozizdat, 1977. – 48 s.

4. Sravnitel'naja ocenka tehnologij doenija vysokoproduktivnyh korov cherno-pestroj porody na sovremennyh kompleksah / E.A. Tjapugin, S.E. Tjapugin, V.K. Uglin, V.E. Nikiforov, V.V. Plotnikova, I.S. Serebrova // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2013. – № 4. – S. 77-80.

5. Zoteev V.S. Vitaminno-mineral'nyj premiks dlja dojnyh korov // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo. – 1985. – № 5. – S. 45-46.

6. Ryzhikovyj zhmyh v racione koz zaanenskoj porody / V.S. Zoteev [i dr.] // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo. – 2014. – № 3. – S. 29-30.

7. Jeffektivnost' kormlenija korov po detalizirovannym normam / A.P. Kalashnikov [i dr.] // Zhivotnovodstvo. – 1984. – № 9. – S. 7-8.

8. Vosproizvoditel'naja sposobnost' i sostojanie rubcovogo metabolizma korov pri raznoj strukture racionov /A.P. Kalashnikov [i dr.] // Doklady Vsesojuznoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk im. V.I. Lenina. – 1984. – № 11. – S. 29.

9. Povyshenie jajcenoskosti i kachestva jaic perepjolok / V.V. Mungin [i dr.] // Pticevodstvo. – 2016. – № 7. – S. 31-34.

10. Jenergosberegajushhaja tehnologija uluchshenija starosejanyh pastbishh / I.V. Serebrova [i dr.] // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2011. – № 1. – S. 48-50.

11. Simonov G.A. Ispol'zovanie kompleksnoj mineral'noj smesi v kormlenii korov // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk. – 1998. – № 3. – S. 60-61.

12. Produktivnost' korov i kachestvo moloka pri ispol'zovanii v ih racionah ferrosila / G. Simonov, [i dr.] // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo. – 2011. – № 4. – S. 19-21.

13. Simonov G.A., Gurevich V.I. Tritikale v racione laktirujushhih svinomatok // Jeffektivnoe zhivotnovodstvo. – 2012. – № 8. – S. 48-49.

14. Potrebnost' sujagnyh ovcematok v medi v uslovijah aridnoj zony Rossii / E.A. Tjapugin [i dr.] // Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka. – 2018. – № 2. – S. 50-54.

15. Ushakov A., Epifanov V. Mikitjuk A. Minimizacija doli konckormov v racione holostyh ovcematok // Kombikorma. – 2016. – № 12. – S.81-82.

16. Nikiforov V.E. Vnedrenie tehnologii robotizirovannogo doenija na sovremennyh kompleksah vologodskoj oblasti // AgroZooTehnika. – 2020. – T. 3. – № 1. – S. 5.

17. Vlijanie robotizirovannogo doenija na kachestvo moloka / G.A. Simonov, V.E. Nikiforov, I.S. Serebrova, D.A. Ivanova, O.B. Filippova // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 2 (44). – S. 117-124.

18. Filippova O.B., Dorovskih V.I., Kijko E.I. K metodike fiziologicheskoj ocenki doil'nogo oborudovanija // Nauka v central'noj Rossii. – 2014. – № 6. – S. 53-60.

19. Filippova O.B., Kijko E.I. Jekonomicheskie aspekty narushenija pravil mashinnogo doenija v promyshlennom proizvodstve moloka // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – № 6. – S. 72-75.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Симонов Геннадий Александрович – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Вологодский научный центр Российской академии наук», Россия, г. Вологда, e-mail: sznii@list.ru.

Никифоров Владислав Евгеньевич – старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Вологодский научный центр Российской академии наук», Россия, г. Вологда, e-mail: sznii@list.ru.

Иванова Дарья Александровна – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Вологодский научный центр Российской академии наук», Россия, г. Вологда, e-mail: sznii@list.ru.

Филиппова Ольга Борисовна – кандидат биологических 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: filippova175@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Simonov Gennady – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Institution of Sciences “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”, Russia, Vologda, e-mail: sznii@list.ru.

Nikivorov Vladislav – Senior Researcher of Federal State Budgetary Institution of Sciences “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”, Russia, Vologda, e-mail: sznii@list.ru.

Ivanova Dasha – Junior Researcher of Federal State Budgetary Institution of Sciences “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”, Russia, Vologda, e-mail: sznii@list.ru.

Filippova Olga – Candidate of Biological 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: filippova175@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.09.2019 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2020

УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-82-95

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

[1]Агафонов Андрей Константинович
[1]Ломовских Александр Егорович
[2]Родионов Юрий Викторович
[1]Берестевич Глеб Викторович
[1]Свиридов Алексей Алексеевич
[1]Армянинов Иван Сергеевич
[1]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Дан краткий анализ существующих присадок на основе плакирующих компонентов для моторных масел двигателей внутреннего сгорания. В процессе теоретического анализа и определения стойкого защитного металлокерамического покрытия (ЗПМК) на трущихся поверхностях узлов трения деталей и механизмов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) использовались положения триботехники и теоретической физики, связанные с процессами дополнительного введения в зону трения между поверхностями белой сажи, а также смеси природных минералов. Разрабатывается методика обработки деталей и узлов двигателя новой антифрикционной смазочной композиции. Проводятся стендовые испытания бензинового и дизельного двигателя при работе со смазочной композицией, добавляемой в моторное масло, с целью определения эксплуатационных и экологических параметров двигателя. Проведенные в рамках данной работы эксперименты показали, что при применение данного состава для двигателей машин позволяет обеспечить продление ресурса восстанавливаемой техники на 50 – 60 %; снижение затрат на ремонты от 30 %; снижение расхода топлива двигателями до 7 %; улучшение экологических характеристик двигателей от 25 %. На основе результатов изучения поставленного вопроса разрабатываются предложения и рекомендации по применению нового антифрикционного смазочного материала в качестве плакирующего компонента для ДВС автотракторной техники.*

Ключевые слова: *автомобильная техника, моторное масло, двигатели внутреннего сгорания, антифрикционная смазочная композиция, диагностические параметры, испытания, ресурс, безразборный ремонт.*

STUDY OF THE INFLUENCE OF ANTI-FRICTION LUBRICANT ON THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

[1]Agafonov Andrey
[1]Lomovsky Alexander
[2]Rodionov Yuri
[1]Berestevich Gleb
[1]Sviridov Aleksey
[1]Armyaninov Ivan
[1]MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"
[2]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract: *A brief analysis of existing additives based on cladding components for motor oils of internal combustion engines is given. The provisions of tribotechnics and theoretical physics associated with the processes of additional introduction of white soot into the friction zone between the surfaces, as well as mixtures of natural minerals, were used in the process of theoretical analysis and determination of a stable protective cermet coating (SPSC) on the rubbing surfaces of friction units of parts and mechanisms of an internal combustion engine (ICE). The method of processing parts and engine units of*

a new antifriction lubricant composition is being developed. Bench tests of a gasoline and diesel engine when working with a lubricant composition added to engine oil, in order to determine the operational and environmental parameters of the engine, are carried out. The experiments carried out within the framework of this work have shown that when this composition is used for machine engines, it can provide an extension of the service life of the restored equipment by 50 - 60%; reduction of repair costs from 30%; reduction of engine fuel consumption by up to 7%; improvement of environmental performance of engines from 25%.Proposals and recommendations for the use of a new antifriction lubricant as a cladding component for internal combustion engines of automotive vehicles are developed based on the results of studying the question posed.

Keywords: *automotive equipment, engine oil, internal combustion engines, antifriction lubricant composition, diagnostic parameters, tests, service life, non-disassembly repair.*

Введение. Согласно стратегии развития Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года энергетические установки с поршневыми двигателями внутреннего сгорания (ДВС) останутся как основной вид первичных источников энергии, пока запасы нефти позволяют нам их эксплуатировать ближайшие 50…60 лет.

В агропромышленном комплексе (АПК) для техники в качестве силовой установки и для привода специального оборудования используются двигателей внутреннего сгорания (ДВС), использования которых в значительной степени определяет эксплуатационные характеристики автотракторной техники (АТТ). В связи с чем наряду с разработкой новых перспективных образцов двигателей необходим поиск новых подходов к решению проблем совершенствования существующих поршневых ДВС применяемых на АТТ, которые морально и физически устарели, что вызывает ухудшение их экономических и экологических показателей. Также сложившийся во всем мире экологический кризис представляет собой реальную опасность и определяется эксплуатацией автомобильной и автотракторной техники и непосредственно количеством вредных выбросов, образующихся от сгорания топлива.

Современный АПК является одним из основных потребителей углеводородного топлива, оснащенный огромным количеством автотракторной техники (АТТ) на которых установлены ДВС. Надежность эксплуатации данной техники определяется техническим состоянием системы питания, так как на нее приходится до 50% всех неисправностей. Главным устройством, которое в первую очередь выходит из строя является топливный насос высокого давления (ТНВД). С 1 января 2015 года вступил в силу Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 031/2012) "О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним". Поэтому в отношении выбросов двигателей АТТ установлено ограничение на уровне "этапа 3а" по европейской классификации, обеспечивающее минимальное влияние токсичных выхлопных газов на окружающую среду.

Многие модели выпускаемой сегодня АТТ сильно устарели, так как были спроектированы еще в прошлом веке, но продолжают эксплуатироваться в настоящее время. Следует отметить, что около 70 % АТТ имеют срок эксплуатации свыше 20 лет.

В настоящее время с целью повышения качества моторных масел применяются высокотехнологичные присадки. Повышение требований к качеству масел предопределяет создание комплекса многофункциональных присадок [1-8].

В таблице 1 представлены характеристики наиболее распространенных смазочных композиций.

Таким образом, возрастает роль антифрикционных смазочных материалов (АСМ) для обработки узлов трения металлических поверхностей, позволяющих скомпенсировать выработки мест трения и контакта деталей ДВС в режиме их штатной эксплуатации. Вместо выработанного металла наращивается металлокерамика, материал с более высокими физико-механическими свойствами, чем стали. Образование металлокерамического слоя происходит в процессе замещения ионов железа в узлах кристаллической решётки, на ионы магния из антифрикционного смазочного материала в поверхностном слое стали (чугуна) трущихся пар трения.

Предложен способ увеличения ресурса, улучшение эксплуатационных и экологических характеристик двигателей внутреннего сгорания путем добавки в масляную систему двигателя нового антифрикционного смазочного материала.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика существующих триботехнических смазочных композиций

Параметр		АСМ	ХАДО	НИОД	Супротек	Форсан
Коэффициент трения	*заявленный*	0,0025–0,005	0,003–0,007	0,003–0,007	0,003–0,007	0,003–0,007
	истинный	0,003	0,09	0,07	0,085	0,09
Микротвердость поверхности	*заявленная*	780	680–720	660–760	690–770	680–720
	истинная	780	до 600			
Уменьшение износа, %	*заявленное*	52	Да	Да	Да	Да
	истинное	52	7,4	13,6	7,5	2,04
Восстановление размеров деталей, мм	*заявленное*	до 0,18	до 1,5	Да	нет данных	Да
	истинное	до 0,18	нет данных	0,03	нет данных	нет данных
Увеличение ресурса	*заявленное*	в 2 раза	нет данных	в 2–5 раз	в 3–5 раз	в 10 раз
	истинное	в 2 раза		на 5%	на 5%	на 4%
Снижение шума, вибрации	*заявленное*	до 15%	в 10 раз	нет данных	нет данных	Да
	истинное	до 15%	исчезающий эффект	нет данных	исчезающий эффект	исчезающий эффект
Увеличение срока службы масла	*заявленное*	в 2 раза	нет данных	на 20–50%	в 2–5 раз	в 5 и более раз
	реальное	в 3 раза	нет данных	на 10%	нет данных	нет данных
Восстановление и выравнивание компрессии	*заявленное*	Устойчивый эффект	Да	нет данных	нет данных	Да
	истинное	Устойчивый эффект	Исчезающий эффект	нет данных	нет данных	Исчезающий эффект
Уменьшение расхода топлива	*заявленное*	на 8%	до 30% на х/х	на 5–15%	на 7–20%	на 10–23%
	реальное	до 8%	до 3% на х/х	нет данных	до 6% на х/х	нет данных
Защита ДВС при аварии маслинной системы	*заявленная*	до 10 мт/ч	Да	Да	Да	Да
	истинная	до 10 мт/ч	-	-	-	-
Уменьшение токсичности выхлопа отработавших газов	*заявленное*	в 2…3 раза	2–10 раз	нет данных	Да	В несколько раз
	реальное	в 2…3 раза	на 4% только на х/х	нет данных	нет данных	На 3% только на х/х
Увеличение давления масла	*заявленное*	до 38%	Да	нет данных	нет данных	не менее 20%
	реальное	до 38%	Исчезающий эффект	нет данных	нет данных	нет данных

Материалы и методы. В процессе теоретического анализа и определения стойкого защитного металлокерамического покрытия (ЗПМК) на трущихся поверхностях узлов трения деталей и механизмов ДВС использовались положения триботехники и теоретической физики, связанные с процессами дополнительного введения в зону трения между поверхностями белой сажи, а также смеси природных минералов [9].

В связи с этим соотношение компонентов подбиралось путем проведения серии натурных экспериментов, вначале на списанном бензиновом ДВС автомобиля ЗИЛ-131, а затем на дизельном двигателе КАМАЗ-740 установленном на автомобиле КАМАЗ-53212. Количество обработок и методика по обработке созданным составом деталей и механизмов ДВС определялись таким образом, чтобы образующееся покрытие обеспечило кратковременную работу двигателя в

экстремальных условиях. При этом состав должен восстанавливать геометрические размеры поверхностей пар трения, не прерывая процесс эксплуатации двигателя.

Формирование защитного покрытия разработанным АСМ происходит в три этапа (рисунки 1 – 3) [10, 11].

1-й ЭТАП. Ввод АСМ в масло (без замены имеющегося масла в системе).

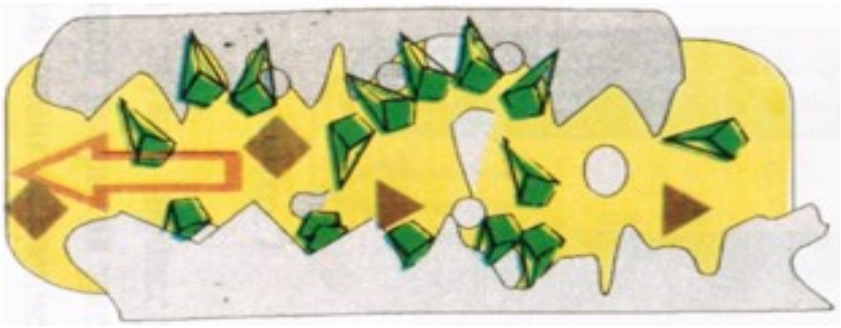


Рисунок 1 – Схема распределения состава в паре трения

2-й ЭТАП. При внесении состава АСМ в структуру кристаллической решетки поверхностного слоя фрикционных пар трения происходит реакция замещения атомов Mg атомами Fe.

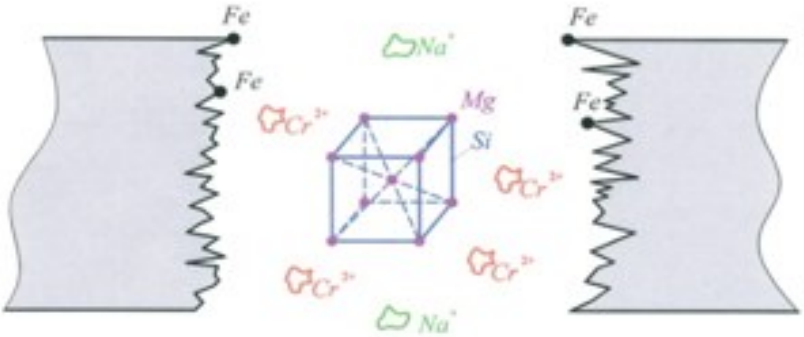


Рисунок 2 – Структура кристаллической решетки поверхностного слоя фрикционных пар трения

3-й ЭТАП. В результате окислительно-восстановительных процессов многокомпонентный состав АСМ диффундирует в основу, упрочняя ее поверхностный слой. Одновременно в пограничной области происходит формирование новых кристаллов, нарощенных на кристаллической решетке металла.

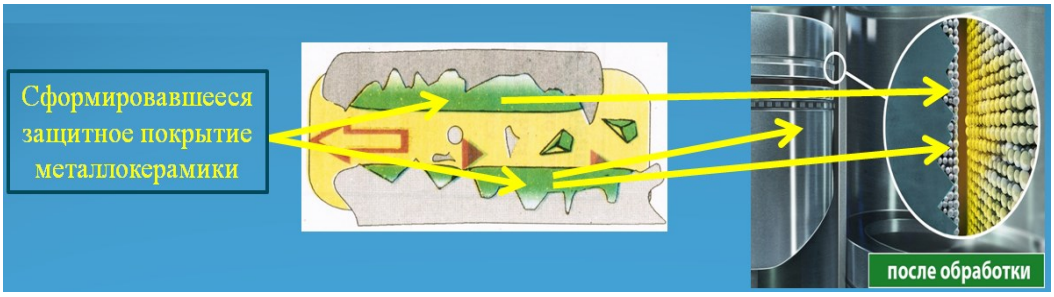


Рисунок 3 – Схема формирования защитного покрытия металлокерамики

В основе предлагаемого решения лежит разработка оптимальной формулы АСМ посредством исследования физико-химических свойств химических элементов, входящих в его многокомпонентный состав, а также определения оптимальных количественных и массовых характеристик для формирования на пятнах контактах пар трения черного металла ЗПМК. Состав содержит порошкообразную смесь природных минералов [9].

Результаты и их обсуждение. Испытания состава АСМ проводились на дизельном ДВС КАМАЗ-740 согласно [13 – 16] с последующей комплексной диагностикой и частичной разборкой с замером основных деталей. Измерение шатунной шейки производилось в двух поясах, расположенных на 1/4 длины шейки от щек согласно рисунку 4.

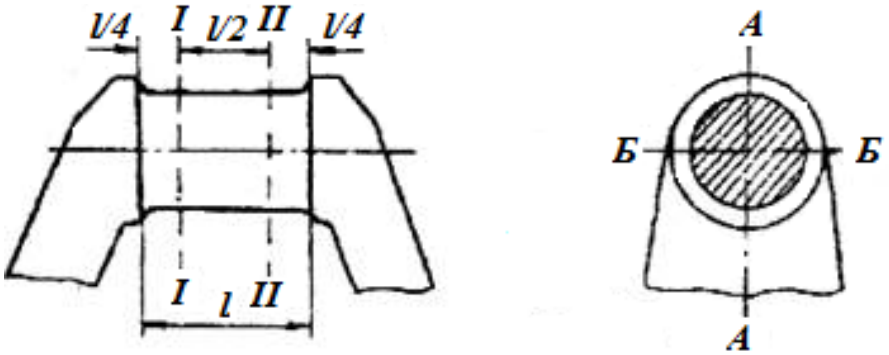


Рисунок 4 - Схема измерений диаметра шейки коленчатого вала

Размер А-А – измеряется в плоскости кривошипа, Б-Б – в перпендикулярной ей. Измерения проводятся несколько раз в различных точках.

Замеры цилиндра осуществлялись, как показано на схеме, представленной на рисунке 5.

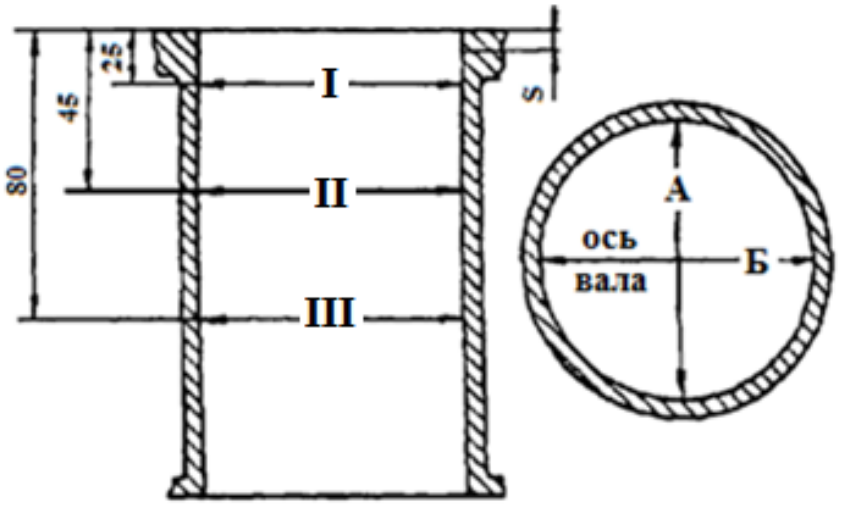


Рисунок 5 - Схема измерений гильзы цилиндра ДВС КАМАЗ-740

После проведения комплексной диагностики ДВС КАМАЗ-740 и замера основных размеров деталей производилась обработка всех деталей АСМ.

Антифрикционный смазочный материал вводился в прогретый ДВС, через маслозаливную горловину. Перед заправкой он смешивался с 50…100 мл моторного масла.

Затем ДВС запускался и работал на холостых оборотах 20 – 25 минут, при этом через каждые 5 минут частота вращения увеличивалась до 2500 об/мин.

Обработка ДВС проводилась в течение 5 – 6 мото-часов. После обработки двигатель эксплуатировался согласно методики применения. После завершения обработки ДВС АСМ

осуществлялась комплексная диагностика двигателя с частичной разборкой и замером основных деталей цилиндро-поршневой группы. Ниже представлены результаты измерений. Результаты измерений диаметра 4 шатунной шейки коленчатого вала производились согласно ГОСТ 14846—81 [8] и представлены в таблице 2.

Таблица 2. - Результаты замеров диаметра 4 шатунной шейки коленчатого вала до и после обработки АСМ

Направление измерений	Пояс I *0,25l*			Пояс II *0,75l*			Наибольшее отклонение от цилиндричности
	До испытания	После испытания	Наплавка составом АСМ	До испытания	После испытания	Наплавка составом АСМ	
А-А	94,23	94,73	0,50	94,24	94,74	0,50	0,01
Б-Б	94,24	94,71	0,47	94,25	94,73	0,48	0,01

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что до обработки зазор между 4 шатунной шейкой и вкладышем составлял 0,50 мм, а после обработки существенно уменьшился в среднем до 0,0225 мм. Таким образом, зазор между шатунной шейкой и вкладышем уменьшился за счет наплавки АСМ на стальную поверхность шатунной шейки коленчатого вала.

Результаты измерения менее изношенной гильзы 8-го цилиндра ДВС КАМАЗ-740 представлены в таблице 3. Данные измерения производились при помощи прибора – нутромера.

Таблица 3. - Результаты замеров 8-го цилиндра до и после обработки АСМ

Замеры цилиндра		Пояс	Номер цилиндра	
			До обработки АСМ	После обработки АСМ
Плоскость	А-А	I	119,69	119,69
	В-В		119,47	119,68
Овал			0,22	0,01
Плоскость	А-А	II	119,68	119,68
	В-В		119,45	119,66
Овал			0,23	0,02
Плоскость	А-А	III	119,68	119,68
	В-В		119,45	119,67
Овал			0,23	0,01

По результатам измерения гильзы 8 цилиндра овальность снизилась до 0,02 мм.

Результаты замеров компрессии в цилиндрах представлены в виде графиков на рисунках 6 и 7.

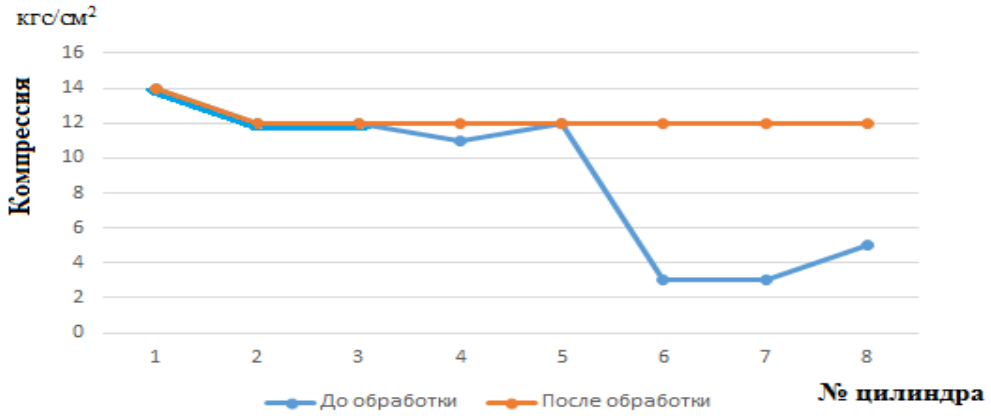


Рисунок 6 – График зависимости кольцевой компрессии до и после обработки АСМ

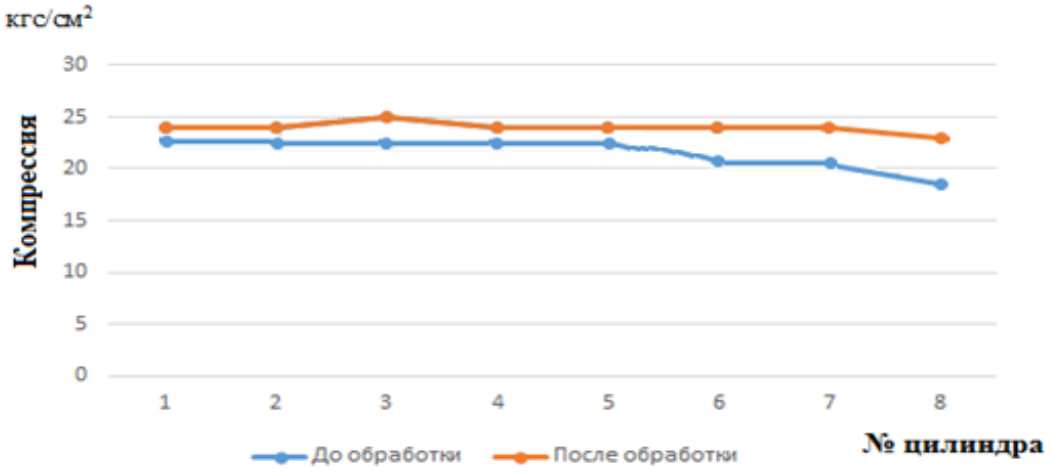


Рисунок 7 – График зависимости поршневой компрессии до и после обработки АСМ

Анализируя полученные значения исследований можно сделать вывод, что произошло увеличение кольцевой и поршневой компрессии по всем цилиндрам двигателя.

Дополнительно был произведен замер давления масла в масляной магистрали ДВС КАМАЗ-740, результаты измерений представлены на рисунке 8.

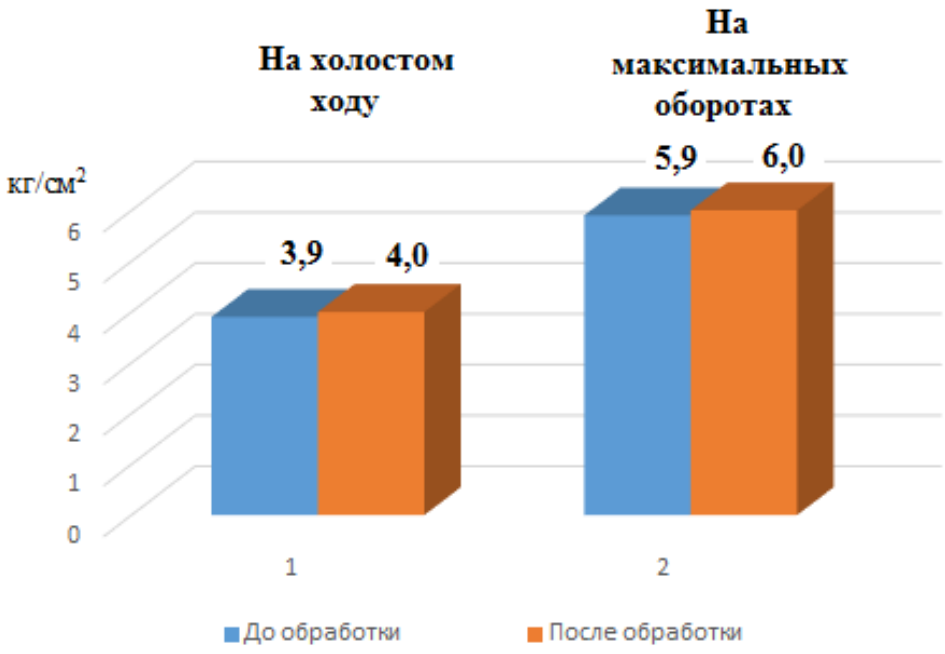


Рисунок 8 – График изменения давления масла в масляной магистрали ДВС КАМАЗ-740 до и после обработки АСМ

Проанализировав полученные графики можно сделать вывод, что произошло увеличение давление масла на 0,1 кг/см^2.

Также были проведены замеры дымности выхлопных газов до и после обработки АСМ, результаты которых представлены на рисунке 9.

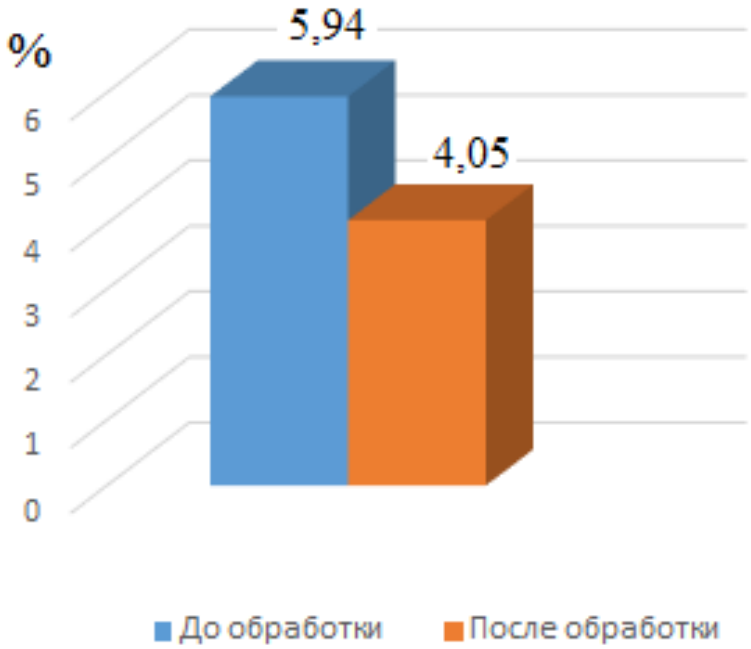


Рисунок 9 – Диаграмма дымности выхлопных газов ДВС до и после обработки АСМ

Сравнивая полученную диаграмму можно сделать вывод, что произошло существенное снижение дымности выхлопных газов двигателя. Согласно полученных результатов проведенных измерений было установлено, что во всех цилиндрах двигателя определено выравнивание компрессии до заводских параметров; произошло существенное снижение содержание сажи и углеводородов в ОГ.

Далее испытания проводились на бензиновом ДВС ЗИЛ-131 автомобиля ЗИЛ-131 при слитом масле из системы смазки двигателя и снятом поддоне картера, при температуре окружающего воздуха минус 23 ^{0}С (рисунок 10).

Рисунок 10 – Работа ДВС ЗИЛ-131 при слитом масле и снятом поддоне картера

Результаты испытаний ДВС автомобиля ЗИЛ-131 при обработке АСМ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний ДВС ЗИЛ-131 при обработке АСМ

№ п/п	Диагностические показатели	До обработки								После 4 –ой обработки							
		№ цилиндра								№ цилиндра							
1	Компрессия в цилиндрах ДВС, кг/см^2	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
		5	4,5	3,8	6	4	5,5	6,2	6,5	6,8	6,5	6,3	6,7	6,6	6,5	6,7	6,9
2	Средняя компрессия в цилиндрах, кг/см^2	5,2								6,6							
3	Максимальный разброс компрессии по цилиндрам, кг/см^2	2,7								0,6							
4	Содержание СО в выхлопных газах: – на хол. оборотах, %	0,84								0,71							
	– на ср. оборотах (3000 мин$^{-1}$), %	1,22								0,81							

После обработки ДВС АСМ были проведены испытания двигателя ЗИЛ-131 автомобиля ЗИЛ-131 при слитом масле из системы смазки двигателя и снятом поддоне картера. Цель испытаний – определение максимального времени работы ДВС без смазки для доказательства влияния разработанного состава АСМ. Испытания проводились при температуре окружающего воздуха минус 23 °С.

Порядок проведения испытаний заключался в следующем.

1. Автомобиль устанавливается на полуэстакаду.
2. Запускается двигатель автомобиля и прогревается до рабочей температуры 85…90 °С.
3. Двигатель глушится.
4. Сливается масло из поддона картера двигателя через сливную пробку.
5. Снимается поддон картера двигателя.
6. Запускается двигатель и работает на оборотах холостого хода до остановки (заклинивания).

В результате проведения испытаний двигатель ЗИЛ-131 проработал в течение 51 минуты без заклинивания и поломок. После завершения испытаний работы ДВС ЗИЛ-131 без смазки на холостом ходу, проверялась его работоспособность под нагрузкой – при движении автомобиля вплоть до полной его остановки.

До проведения испытаний двигатель автомобиля ЗИЛ-131 был повторно пятикратно обработан АСМ, согласно разработанной методике, в течение 25 мото-часов. Испытания были проведены при температуре окружающего воздуха минус 22 °С. В ходе проведения испытаний велся хронометраж движения автомобиля с фото и видео фиксацией состояния его работы.

С целью более точной оценки результатов пробега автомобиля в его кабине был установлен ПК модели «Самсунг» с программным обеспечением «Навигатор», позволяющим при помощи системы «ГЛОНАС» отслеживать пройденный маршрут и скорость движения автомобиля (рисунок 11).

За это время работы ДВС:

- автомобиль проехал расстояние L = 1,37 км;
- максимальная скорость движения автомобиля составилаV_{max} = 18 км/ч;
- средняя скорость движения автомобиля составила$V_{ср.движ.}$ = 13,47 км/ч.

Было зафиксировано, что после полной остановки ДВС произошло заклинивание коленчатого вала, то есть он полностью перестал вращаться при прокрутки вначале стартером, а затем рукояткой стартера за храповик маховика.

Таким образом, проведенные испытания ДВС ЗИЛ-131 подтвердили тот факт, что обработка разработанным АСМ изношенных в процессе эксплуатации узлов и деталей кривошипно-шатунного механизма и цилиндро-поршневой группы двигателя приводит к улучшению основных технических параметров ДВС.

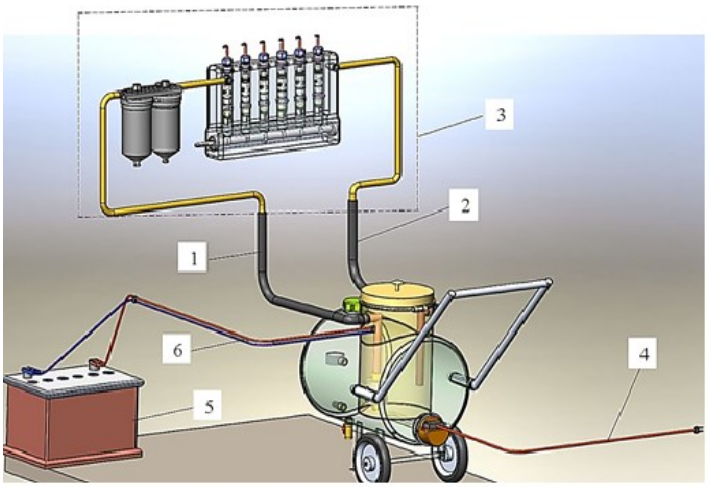
Рисунок 11 – Данные, полученные с помощью программы «ГЛОНАС»

Также проводились исследования по восстановлению плунжерной пары ТНВД дизельного ДВС ЯМЗ-236. Мобильное, малогабаритное устройство подключается к топливной системы ДВС и к аккумуляторной батарее автомобиля, представлено на рисунке 12а [15].

Запускают двигатель и в процессе его работы на топливе разогретого до необходимой температуры и обогащенном (АСМ), осуществляется процесс восстановления изношенных рабочих поверхностей прецизионных пар трения за счет образования на них металлокерамического защитного покрытия.

В результате прокачки через топливную аппаратуру ДВС разогретого состава на поверхностях пар трения (плунжерной паре) ТНВД образуется износостойкое металлокерамическое покрытие.

Схема подключения устройства и внешний вид представлены на рисунке 12б.



а

б

Рисунок 12 – Схема подключения *(а)* и внешний вид устройства *(б)* на дизельном ДВС ЯМЗ-236

Устройство подключается: в разрыв системы питания ДВС 3 с помощью подводящего 1 и сливного 2 трубопровода, снабженных штуцерами; к электрической сети 220 В, 50 Гц с помощью электропровода 4 и к аккумуляторной батарее 12 В 5 с помощью электропровода 5.

Основные характеристики устройства представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные характеристики устройства

№ п/п	Наименование параметра, ед. измерения	Значение
1	Напряжение питания: постоянный ток, В переменный ток, В	 12 220
2	Потребляемая мощность: постоянный ток, Вт переменный ток, Вт	 200 2000
3	Емкость топливного бака, л	6
4	Емкость бака блока нагрева, л	8
5	Время подготовки к работе, мин	15
6	Время восстановления агрегата, мин	30…50
7	Условия эксплуатации, ^{0}С	–50…+50
8	Габаритные размеры, мм	800x400x600
9	Масса в снаряженном состоянии, кг	20

Предлагаемое устройство позволяет:

- до 100 % повысить величину и давление подачи топлива, значительно улучшить запуск ДВС;
- повысить мощность ДВС при одновременном снижении расхода топлива на 3 – 5 %;
- снизить шум и вибрацию ДВС;
- уменьшить количество вредных выбросов по СО и СН до 50 %;
- в 1,5 – 2 раза продлить ресурс топливной аппаратуры дизелей;
- в 2 – 3 раза снизить сроки и затраты на их ремонт, продления ресурса АТТ и снижение стоимости ее жизненного цикла при эксплуатации АТТ в отдаленных районах, в условиях низких температур, куда поставка оборудования и запчастей затруднительна, высокозатратна и отсутствует высококвалифицированный персонал, а также в условиях Арктики [17 – 19].

Выводы. Разработанный АСМ рекомендуется использовать в качестве ремонтно-восстановительного состава на парах трения ДВС АТТ. Применение данного состава для ДВС АТТ позволит обеспечить:

1) восстановление поверхности пар трения узлов и агрегатов ДВС во всем диапазоне рабочих температур за счет формирования на поверхностях пар трения высокопрочного ЗПМК обладающего высокой износостойкостью;

2) возможность длительного функционирования ВВСТ при условии полного отсутствия масла в системе смазки.

Применение данного состава в целом для ДВС АТТ позволит обеспечить:

- продление ресурса восстанавливаемой АТТ на 50 – 60%;
- снижение расхода топлива ДВС АТТ до 7 %;
- улучшение экологических характеристик ДВС АТТ от 25 %.

Список литературы

1. Болгов В.Ю., Балабанов В.И. Автомобильные присадки и добавки. М.: Транспорт, – 2009. – 154 с.

2. Балабанов В.И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля. Методы и средства. М.: ООО «Издательство АСТ», – 2003. – 61 с.

3. Добавки к моторным маслам // [Электронный ресурс] / URL: http: // www.a-vital.ru/prisadki-i-dobavki-k-motornym-maslam.html (дата обращения: 10.10.2016).

4. Повышение ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным материалам. Технологические рекомендации (временные). М: ФГНУ «Росинформагротех», 2013. 260 с.

5. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. Производственно-практ. издание. М.: За рулем, – 2005. – 154 с.

6. Ладиков В.В., Маркелов Г.А., Чечет В.А., Дунаев А.В., Хмелевой Н.М., Суслов Д.А. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники. М.: VICCO, – 2004. – 52 с.

7. Гаркунов Д.Н. Износ и безызносность. М.: Машиностроение, – 2001. – 616 с.

8. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Сафонов В.В., Рощин А.В., Хохлов С.С., Куткин А.В., Балабанов В.И. Исследование механизма трансформации и переноса контактных слоев в системе смазочная среда - поверхность трибопары. // Российский журнал физической химии Б. – 2018. – Вып. 12. – № 2. – с. 336-342.

9. Агафонов А.К., Агафонов Д.А. Антифрикционный смазочный материал. Патент РФ. № 2410415 МПК C10M 125/10, C10M 125/26, C10N 50/02. Заявка № 2009128013/04 опубл. 27.01.2011, – Бюл. № 3. – 6 с.

10. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н. Определение антиоксидантной присадки и продуктов ее разложения в рабочих моторных топливах. // Химия и технология топлив и масел. – 2019. – Т. 55. – № 2. – с. 145-150.

11. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Головченко А.О., Остриков В.В., Вигдорович М.В. Использование данных весовых испытаний и импедансной спектроскопии для оценки защитной эффективности масляных покрытий с высоким содержанием цинка от коррозии углеродистой стали. // Международный журнал по ингибированию коррозии и образования отложений. – 2019. – Т. 8. – № 2. – с. 212-224.

12. ГОСТ 23435-79. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Изд-во стандартов, – 1979. – 16 с.

13. ГОСТ 52033-2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. М.: Изд-во стандартов, – 2003. – 11 с.

14. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов, – 1981. – 11 с.

15. ГОСТ Р 52408-2005. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с ОГ. М.: Изд-во стандартов, – 2005. – Часть 2. – 14 с.

16. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, – 2013. – 24 с.

17. Гергенов С.М. Испытания автомобильных двигателей. Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, – 2002. – 65 с.

18. Агафонов А.К., Берестевич Г.В., Илларионов В.В., Чернухо И.И.; Устройство для восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных двигателей внутреннего сгорания. Патент РФ № 2579308 МПК F02M F02B. Заявка № 2019102293; заявл. 28.01.2019; опубл. 10.02.2020, – Бюл. № 10. – 10 с.

19. Агафонов А.К., Колтаков А.А., Ломовских А.Е. Илларионов В.В. Антифрикционный смазочный материал ВПК-АЗ. // Приоритетные направления и актуальные проблемы развития средств технического обслуживания летательных аппаратов: сб. ст. по материалам II Всероссийская НТК (15–16 марта 2016 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», – 2016. – 304 с. – С. 6-9.

References

1. Bolgov V.Ju., Balabanov V.I. Avtomobil'nye prisadki i dobavki. M.: Transport, – 2009. – 154 s.

2. Balabanov V.I. Bezrazbornoe vosstanovlenie trushhihsja soedinenij avtomobilja. Metody i sredstva. M.: OOO «Izdatel'stvo AST», – 2003. – 61 s.

3. Dobavki k motornym maslam // [Jelektronnyj resurs] / URL: http: // www.a-vital.ru/prisadki-i-dobavki-k-motornym-maslam.html (data obrashhenija: 10.10.2016).

4. Povyshenie resursa agregatov traktorov remontno-vosstanovitel'nymi dobavkami k smazochnym materialam. Tehnologicheskie rekomendacii (vremennye). M: FGNU «Rosinformagroteh», 2013. 260 s.

5. Hrulev A.Je. Remont dvigatelej zarubezhnyh avtomobilej. Proizvodstvenno-prakt. izdanie. M.: Za rulem, – 2005. – 154 s.

6. Ladikov V.V., Markelov G.A., Chechet V.A., Dunaev A.V., Hmelevoj N.M., Suslov D.A. Bezrazbornye tehnologii uvelichenija jekspluatacionnogo resursa avtotransportnoj tehniki. M.: VICCO, – 2004. – 52 s.

7. Garkunov D.N. Iznos i bezyznosnost'. M.: Mashinostroenie, – 2001. – 616 s.

8. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Safonov V.V., Roshhin A.V., Hohlov S.S., Kutkin A.V., Balabanov V.I. Issledovanie mehanizma transformacii i perenosa kontaktnyh sloev v sisteme smazochnaja sreda - poverhnost' tribopary. // Rossijskij zhurnal fizicheskoj himii B. – 2018. – Vyp. 12. – № 2. – s. 336-342.

9. Agafonov A.K., Agafonov D.A. Antifrikcionnyj smazochnyj material. Patent RF. № 2410415 MPK S10M 125/10, S10M 125/26, S10N 50/02. Zajavka № 2009128013/04 opubl. 27.01.2011, – Bjul. № 3. – 6 s.

10. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Orobinskij V.I., Afonichev D.N. Opredelenie antioksidantnoj prisadki i produktov ee razlozhenija v rabochih motornyh toplivah. // Himija i tehnologija topliv i masel. – 2019. – T. 55. – № 2. – s. 145-150.

11. Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., Shel' N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorovich M.V. Ispol'zovanie dannyh vesovyh ispytanij i impedansnoj spektroskopii dlja ocenki zashhitnoj jeffektivnosti masljanyh pokrytij s vysokim soderzhaniem cinka ot korrozii uglerodistoj stali. // Mezhdunarodnyj zhurnal po ingibirovaniju korrozii i obrazovanija otlozhenij. – 2019. – T. 8. – № 2. – s. 212-224.

12. GOST 23435-79. Tehnicheskaja diagnostika. Dvigateli vnutrennego sgoranija. M.: Izd-vo standartov, – 1979. – 16 s.

13. GOST 52033-2003. Avtomobili s benzinovymi dvigateljami. Vybrosy zagrjaznjajushhih veshhestv s otrabotavshimi gazami. M.: Izd-vo standartov, – 2003. – 11 s.

14. GOST 14846-81. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovyh ispytanij. M.: Izd-vo standartov, – 1981. – 11 s.

15. GOST R 52408-2005. Dvigateli vnutrennego sgoranija porshnevye. Vybrosy vrednyh veshhestv s OG. M.: Izd-vo standartov, – 2005. – Chast' 2. – 14 s.

16. GOST R 8.736-2011 Izmerenija prjamye mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenij. Osnovnye polozhenija. M.: Standartinform, – 2013. – 24 s.

17. Gergenov S.M. Ispytanija avtomobil'nyh dvigatelej. Ulan-Udje: Izdatel'stvo VSGTU, – 2002. – 65 s.

18. Agafonov A.K., Berestevich G.V., Illarionov V.V., Chernuho I.I.; Ustrojstvo dlja vosstanovlenija precizionnyh par trenija agregatov sistemy pitanija dizel'nyh dvigatelej vnutrennego sgoranija. Patent RF № 2579308 MPK F02M F02V. Zajavka № 2019102293; zajavl. 28.01.2019; opubl. 10.02.2020, – Bjul. № 10. – 10 s.

19. Agafonov A.K., Koltakov A.A., Lomovskih A.E. Illarionov V.V. Antifrikcionnyj smazochnyj material VPK-AZ. // Prioritetnye napravlenija i aktual'nye problemy razvitija sredstv tehnicheskogo obsluzhivanija letatel'nyh apparatov: sb. st. po materialam II Vserossijskaja NTK (15–16 marta 2016 g.). Voronezh: VUNC VVS «VVA», – 2016. – 304 s. – S. 6-9.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Агафонов Андрей Константинович – доктор технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: agafonov111@list.ru.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, rodionow.u.w@rambler.ru.

Берестевич Глеб Викторович – кандидат технических наук, начальник отдела Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Свиридов Алексей Алексеевич – кандидат педагогических наук, старший преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Армянинов Иван Сергеевич – оператор научной роты Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-

научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Author credentials
Affiliations

Agafonov Andrey – Full Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: agafonov111@list.ru.

Lomovsky Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Berestevich Gleb – Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Sviridov Aleksey – Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Armyaninov Ivan – scientific company operator of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 21.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 22.10.2020

УДК 534.143, 536.242
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-95-104

О МЕХАНИЗМЕ МАССОПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА ЧЕРЕЗ ГРАНИЦУ РАЗДЕЛА ФАЗ В СИСТЕМЕ «ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ» ПРИ РЕАКЦИИ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ

[1]Королев Владимир Николаевич
[2]Левина Екатерина Юрьевна
[3]Нагорнов Станислав Александрович
[3]Корнев Алексей Юрьевич

[1]ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н Ельцина»
[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
[3]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *При реакции переэтерификации жиры и низкомолекулярные спирты, представляют собой разнородные несмешивающиеся жидкости, разделенные друг от друга подвижной границей раздела фаз. Рассматривали особенности массопереноса через границу раздела фаз при получении биодизельного топлива в системе «жидкость-жидкость». При исследовании факторов, обуславливающих эффективность использования моторных топлив в растениеводстве использовали информационные методы исследования: аналитические, статистические, сравнительные и информационно-логические методы обработки и анализа исходной информации, методы системного подхода. Предложен вариант механизма*

массопереноса через границу раздела фаз. В первом приближении допустили, что для интенсификации процесса переэтерификации нужно создать условия для улучшения растворимости компонентов системы «жиры-спирт» наряду с изменением площади их взаимодействия посредством создания высокой степени турбулентности в этой системе. Установлено, что для этих целей целесообразно использовать акустические колебания. Выявлено, что по степени интенсификации процессов акустические способы в несколько раз превосходят электромагнитные. Доказано, что кинетику процесса в начале реакции контролирует массопередача реагентов путем диффузии. При появлении в реакционной массе сложных эфиров высших алифатических кислот и одноатомных спиртов, растворимых как в растительном масле, так и в спирте, кинетику процесса начинает контролировать химическая реакция. Отмечено, что точный расчет процесса массопередачи осложняется существованием в системе «жиры-спирт» поверхностно-активных веществ и различных включений. Установлено, что образующиеся эфиры соответствующих жирных кислот, с одной стороны, играют роль сорастворителей системы, способствуя интенсификации процесса, а с другой – выступают как поверхностно-активные вещества, сдерживающие массоперенос.

Ключевые слова: *жиры, спирт, фаза, переэтерификация, катализатор, массоперенос, ультразвук, турбулентность.*

ON THE MECHANISM OF MASS TRANSFER OF MATTER ACROSS THE PHASE INTERFACE IN THE "LIQUID-LIQUID" SYSTEM DURING THE TRANSESTERIFICATION REACTION

[1]Korolev Vladimir
[2]Levina Ekaterina
[3]Nagornov Stanislav
[3]Kornev Alexey

[1]FSAEI HE "Ural Federal University named after First President of Russia Boris Yeltsin"
[2]FSBEI HE "Bauman Moscow State Technical University"
[3]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract*. Fats and low molecular weight alcohols in the transesterification reaction are heterogeneous immiscible liquids separated from each other by a mobile phase boundary. The features of mass transfer across the phase boundary when producing biodiesel fuel in the "liquid-liquid" system were considered. Information research methods: analytical, statistical, comparative and information-logical methods of processing and analysis of initial information, methods of a systematic approach, were used in the study of factors that determine the effectiveness of the use of motor fuels in crop production. A variant of the mechanism of mass transfer across the interface is proposed. As a first approximation, it was assumed that in order to intensify the transesterification process, it is necessary to create conditions for improving the solubility of the components of the fat-alcohol system along with a change in the area of their interaction by creating a high degree of turbulence in this system. It was found that for these purposes it is advisable to use acoustic vibrations. It was revealed that in the degree of intensification of processes, acoustic methods are several times superior to electromagnetic ones. It has been proven that the kinetics of the process at the beginning of the reaction is controlled by the mass transfer of reagents by diffusion. The kinetics of the process begins to be controlled by the chemical reaction when esters of higher aliphatic acids and monohydric alcohols appear in the reaction mass, which are soluble both in vegetable oil and in alcohol. It is noted that an accurate calculation of the mass transfer process is complicated by the existence of surfactants and various inclusions in the "fat-alcohol" system. It was found that the resulting esters of the corresponding fatty acids, on the one hand, play the role of co-solvents of the system, contributing to the intensification of the process, and on the other hand, they act as surfactants that inhibit mass transfer.*

Keywords*: fats, alcohol, phase, transesterification, catalyst, mass transfer, ultrasound, turbulence.*

Введение. Как известно, в качестве самостоятельного вида топлива или как добавку к нефтяному дизельному топливу можно использовать биодизельное топливо – сложные эфиры жирных кислот, входящих в состав растительных масел и животных жиров, получаемые реакцией переэтерификации жиров со спиртом [1 – 12].

Для структурных преобразований в обрабатываемой среде на микро- и нано уровнях в целях изменения ее физико-химических параметров, прежде всего, необходим научно обоснованный выбор путей интенсификации химико-диффузионных процессов и массопередачи в системе «жиры-спирт». Проведённые эксперименты и анализ литературных данных [13 – 20] показали, что трансформация жиров возрастает с увеличением температуры системы, концентрации ее компонентов и продолжительности переэтерификации. Эти способы позволяют достигнуть высоких значений конверсии, близких к 100 %, однако влекут за собой увеличение эксплуатационных (электроэнергия) и капитальных (увеличение размеров реактора) затрат при заданной производительности по биодизельному топливу. Таким образом, многие проблемы, связанные с повышением эффективности процесса получения биодизельного топлива, пока остаются нерешёнными. Можно предположить, что при производстве биодизельного топлива из жиров растительного и животного происхождения проявляются новые, порой – неочевидные факторы, которые требуют внесения дополнительных корректировок при научном обосновании путей интенсификации рассматриваемого процесса.

Существенную трудность в модернизацию механизма протекания реакции переэтерификации вносит зависимость ее интенсификации от гидродинамических и массообменных условий. По-видимому, помимо учета соотношения объемов и составов жировой и спиртовой фаз, нужно учитывать и особенности массопереноса в рассматриваемой системе. В научно-технической литературе такие вопросы не только не решались, но пока и не ставились.

Таким образом, основные проблемы, связанные с производством биодизельного топлива, в настоящее время остаются нерешёнными. Поскольку экспериментально исследовать и наблюдать явления в области, непосредственно примыкающей к границе раздела фаз разнородных несмешивающихся жидкостей, весьма затруднительно, то необходимо разработать математическую модель процесса, основанную на известных проверенных фактах. В нашем случае при рассмотрении механизма переноса вещества через подвижную границу раздела фаз «жиры-спирт» и интенсивном перемешивании поток рассматриваем как турбулентный, а поле скоростей – неустановившимся. Особенностью турбулентного массопереноса является то, что пограничная зона рассматриваемой системы является главным препятствием перемещения масс ее компонентов.

К настоящему времени разработаны различные представления о механизме переноса вещества через границу раздела фаз, подробный анализ которых приведен в известных информационных источниках.

Цель исследования заключается в раскрытии особенностей и разработки варианта механизма массопереноса через границу раздела фаз при получении биодизельного топлива в системе «жидкость-жидкость».

Материалы и методы. При исследовании факторов, обуславливающих эффективность использования моторных топлив в растениеводстве, использованы информационные методы исследования: аналитические, статистические, сравнительные и информационно-логические методы обработки и анализа исходной информации, методы системного подхода.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим процесс массопередачи на основе представлений о существовании в объеме жидкости однородных вихрей, равномерности диссипации энергии, положения Danckwerts P.V. об обновлении поверхности контакта фаз, а также о передаче массы вещества внутри изотропного турбулентного потока жидкости через контакт наружных слоев вихрей. За основу этой диссипативной модели принято допущение о том, что коэффициент перемежаемости (для турбулентного движения) равен единице, а на границе раздела фаз отсутствует поверхностно-активное вещество. При этом считаем, что вследствие действия сил поверхностного натяжения σ у поверхности раздела фаз «жиры-спирт» происходит некоторое торможение вихревого движения, свидетельствующее о наличии в этой локальной зоне своеобразного тонкого пограничного слоя толщиной z (соответствующей размеру турбулентных вихрей d_B), который и обуславливает снижение скорости массопереноса.

При рассмотрении процесса переэтерификации наиболее полезной при оценке изменения массовой скорости переноса или коэффициента массоотдачи β, обусловленного изменением некоторых условий работы реактора, является пенетрационная модель при одновременном с массоотдачей протекании химической реакции. Для пенетрационной модели характерным

является поведение частицы среды при контакте с межфазной границей в течение времени τ. Концентрация на границе раздела поддерживается постоянной, что достигается за счет десорбции из второй фазы вещества. С течением времени интенсивность диффузии снижается, а процесс массоотдачи обуславливается, в основном, частотой смены контакта фаз. Один из разработчиков модели Higbie R. предложил выражение для определения усредненного по времени коэффициента массоотдачи для жидкой фазы (при известном коэффициенте молекулярной диффузии D) в виде

$$\beta = 2\sqrt{\frac{D}{\pi \cdot \tau}}. \quad (1)$$

Для всех повторяющихся случаев контакта среды с границей раздела фаз Higbie R. принимал время контакта одинаковым. Однако на практике время обновления поверхности контакта фаз τ является трудноопределимой величиной, в силу чего формула (1) модели Higbie R. не пригодна для практического определения скорости массоотдачи.

Впоследствии Danckwerts P.V. в разработанной им модели обновления поверхности исходил из более широкого спектра времен контакта и усреднил изменяющиеся степени проницания. Он выбирал время контакта τ из интервала (0, ∞), а скорость обновления поверхности, доступной для проницания (т.е. доли поверхности, обновляемой в единицу времени), оставалась неизменной. Однако и в этой модели значения скорости обновления поверхности оставались неизвестными.

Предполагаем, что ускорение вихревого движения на границе раздела фаз системы «жиры-спирт», в которой сосредоточено основное сопротивление переносу массы реагентов реакции, неизбежно приведет и к интенсификации процесса массопередачи в локальной зоне. При определении механизма массопереноса через поверхность раздела фаз, считаем, что в системе «жиры-спирт» поток можно представить в виде гомогенных турбулентных вихрей, взаимодействие которых приводит к некоторой диссипации энергии вихрей G, обусловленной значительной динамической вязкостью μ липидов по сравнению с вязкостью спирта. Для определения скорости диссипации энергии G выделим элементарную кубическую ячейку объемом dV. Диссипацию энергии вихрей в объеме системы «жиры-спирт» при градиенте скорости $\frac{dW}{dx}$ представим в виде

$$G = gdF\frac{dz}{\tau dV} = \mu\left(\frac{dW}{dx}\right)^2, \quad (2)$$

где dV – объем произвольно взятой элементарной кубической ячейки (м^3), составленной из ребер длиной dx, dy, dz (м); $\tau = \frac{dz}{dW}$ – время (с) перемещения (сдвига) противоположной грани куба на расстоянии dz при градиенте скорости $\frac{dW}{dx}$; dF – площадь боковой грани ячейки (м^2), $dF = dy \cdot dz$; $g = \mu\frac{dW}{dx}$ – касательное напряжение трения, Па.

Поскольку турбулентные вихри (размером d_B) вызывают пульсации скорости потока ΔW, то градиент скорости можно представить в виде

$$\frac{dW}{dx} = k_w\frac{\Delta W}{d_B}, \quad (3)$$

где k_w – коэффициент.

Объединив (3) и (2), получим значение диссипации энергии в турбулентном потоке:

$$G = k_w^2\mu\left(\frac{\Delta W}{d_B}\right)^2. \quad (4)$$

Из уравнения (4) получим

$$\frac{\Delta W}{d_B} = \frac{1}{k_w}\sqrt{\frac{G}{\mu}}. \quad (5)$$

В соответствии с предложенной моделью время обновления гомогенных турбулентных вихрей у поверхности раздела фаз «жиры-спирт» выразим в виде

$$\tau = k_\tau\frac{d_B}{\Delta W}, \quad (6)$$

где k_τ – коэффициент.

Подставив (5) в (6), получим выражение для времени обновления поверхности контакта вихрей

$$\tau = k_\tau k_w \sqrt{\frac{\mu}{G}}. \quad (7)$$

Подставив время τ из (7) в (1), получим теоретическое значение коэффициента массоотдачи в виде

$$\beta = 2\sqrt{\frac{D}{\pi k_\tau k_w}\sqrt{\frac{G}{\mu}}}, \quad (8)$$

После преобразований, получим

$$\beta = k\sqrt{D\sqrt{\frac{G}{\mu}}}, \quad (9)$$

где коэффициент k представлен в виде $k = \frac{2}{\sqrt{\pi k_\tau k_w}}$. Величина этого коэффициента обычно изменяется в пределах от 0,2 до .0,56. Для нашего случая принимаем $k \approx 0{,}4$.

Точный расчет процесса массопередачи осложняется существованием в системе «жиры-спирт» поверхностно-активных веществ и различных включений, которые заметно сдерживают массоперенос вещества через поверхность раздела фаз. В ходе реакции переэтерификации образуются эфиры соответствующих жирных кислот, которые, с одной стороны, играют роль сорастворителей нашей системы, способствующей некоторой интенсификации процесса, а с другой – могут выступать как поверхностно-активные вещества, которые как указано выше, сдерживают массоперенос.

Из-за влияния поверхностного натяжения σ интенсивность турбулентности снижается. Поэтому на поверхности раздела фаз образуются две меняющиеся во времени и по размерам зоны: в одной образуется постоянно обновляющаяся поверхность, а в другой – пограничный слой толщиной z [21]. Исходя из (5), примем толщину слоя равной размеру вихря

$$z = d_B = k_w \Delta W \sqrt{\frac{\mu}{G}}. \quad (10)$$

Интенсифицировать рассматриваемый процесс целесообразно путем акустического воздействия на систему «жиры-спирт» для разрушения ламинарного пограничного слоя, которое создает в жидкой фазе волны, способствующие лучшему перемешиванию фаз нашей системы особенно в поверхностном слое на глубину высоты волны. В настоящее время отсутствует общепризнанная теория, описывающая достаточно полно процесс и объясняющая механизм влияния акустических колебаний на массоперенос. Известны противоречивые мнения о влиянии на процесс массопереноса амплитуды и частоты акустических колебаний. В основу нашего анализа процесса взят принцип соответствия параметров акустических колебаний характеристикам пограничного слоя, который, как показано выше, обуславливает основное сопротивление переносу массы вещества.

Допустим, что для ускорения перемешивания в пограничном слое и разрушения поверхностной пленки поверхностно-активных веществ наиболее эффективными являются акустические колебания, которые создают на границе раздела фаз своеобразные волны, способствующие перемешиванию жидкости в этой зоне на глубину высоты волны при времени контакта вихрей в слое, равном периоду колебаний.

Определим зависимость толщины пленки от акустических параметров и физических свойств жидкостей без учета энергии, требуемой на создание новой пленки. При действии звукового давления акустических колебаний на пленку возникают своеобразные волны, и элементарные участки поверхности системы «жиры–спирт» будут совершать синусоидальные колебания в направлении y

$$\rho\delta \frac{d^2y}{d\tau^2} = P_a sin(\omega\tau), \quad (11)$$

где ρ – плотность соответствующей фазы, кг/м^3; τ – время, с; P_a – максимальная амплитуда звукового давления, Па; ω – круговая частота акустических колебаний, рад/с; δ – толщина колеблющегося пограничного слоя, м.

Толщину колеблющегося пограничного слоя принимаем равной

$$\delta = \sqrt{\frac{2\mu}{\rho\omega}}. \quad (12)$$

Находим общий интеграл уравнения (11)

$$y = -\frac{P_a}{\rho\delta\omega^2} sin(\omega\tau) + \frac{P_a}{\rho\delta\omega}\tau + C_1\tau + C_2. \quad (13)$$

Для определения постоянных C_1 и C_2 задаемся начальными условиями $\frac{dy}{d\tau} = 0$ при $\tau = \frac{\pi}{2\omega}$; $y = 0$ при $\tau = 0$.

В этом случае частное решение, удовлетворяющее начальным условиям, представим в виде

$$y = \frac{P_a}{\rho\delta\omega^2} \cdot sin(\omega\tau). \quad (14)$$

Подставив значение δ из (12) в (14), получим максимальное значение амплитуды колебаний

$$y_{max} = \frac{P_a}{\sqrt{2\rho\mu\omega^3}}. \quad (15)$$

Для обеспечения требуемой интенсивности перемешивания в пограничном слое достаточно выполнить условие

$$y_{max} \geq z. \quad (16)$$

Подставив (10) и (15) в (16), получим пороговое значение звукового давления акустических колебаний

$$P_a = k_\omega \Delta W \mu \sqrt{\frac{2\rho\omega^3}{G}}. \quad (17)$$

Для турбулизации пограничного слоя и создания равного по толщине сопротивления переносу массы вещества в объеме системы «жиры-спирт» нужно обработать ее акустическими волнами частотой f. Оптимальную частоту f определим из условия, при котором период акустических колебаний будет равен времени τ контакта вихрей

$$f = \frac{1}{k_\tau k_\omega}\sqrt{\frac{G}{\mu}}. \quad (18)$$

При акустическом воздействии на поверхность раздела фаз прирост коэффициента массоотдачи

$$\Delta\beta = k_т\sqrt{Df}\frac{y}{z}. \quad (19)$$

Зависимость (19) получена с учетом формулы (9), в которой значение частоты обновления поверхности раздела фаз принято равным частоте акустических колебаний и прирост коэффициента массоотдачи пропорционален той доле *y/z* толщины пограничного слоя, которая обусловлена влиянием акустических колебаний на перемешивание в поверхностной пленке контакта фаз на глубину высоты волны при акустическом воздействии.

Интегральный коэффициент массоотдачи при воздействии акустических колебаний β_a представим в виде

$$\beta_a = \beta + \Delta\beta = \beta\left(1 + \frac{k_т}{k}\frac{y}{z}\sqrt{f\sqrt{\frac{\mu}{G}}}\right). \quad (20)$$

Поскольку основное сопротивление массопереносу сосредоточено в слое толщиной *z*, то увеличение интенсивности акустических колебаний для случая $y > z$ не приведет к дальнейшему существенному росту β_a. Поэтому в уравнении (20) при $y > z$ принимаем $y = z$, т.е. дальнейшее увеличение мощности акустических колебаний нецелесообразно.

С увеличением скорости диссипации энергии для перемешивания жидкостей системы «жиры-спирт» влияние акустических колебаний на интенсификацию процесса массопереноса существенно ослабевает. С ростом частоты колебаний значительно возрастают энергетические затраты на создание акустических колебаний. С уменьшением *G* наблюдается возрастание роли акустических колебаний на увеличение скорости массопередачи.

Для структурных преобразований в обрабатываемой среде на микро- и нано уровнях в целях изменения ее физико-химических параметров нужно разработать способ акустического воздействия на подаваемые в реактор исходные компоненты системы «жиры-спирт».

Перенос компонентов нашей системы к границе раздела фаз является лимитирующей стадией. Ультразвук вызывает образование кавитационных пузырьков вблизи границы раздела фаз. Асимметричное разрушение кавитационных пузырьков нарушает границы раздела фаз. Столкновение исходных компонентов создает микроструи, приводящие к интенсивному перемешиванию системы вблизи границы раздела фаз. Кавитация может привести к локальному повышению температуры на границе раздела фаз и, как следствие, ускорению реакции, а в некоторых случаях и к крекингу молекул путем изменения молекулярного состава продуктов (деструкция) на более легкие молекулы за счет создания вихревых потоков с максимальной энергией акустического резонансного возбуждения этих компонентов в заданном частотном диапазоне. При этом локальная плотность подводимой энергии, которая зависит главным образом от удельной акустической мощности J, также не должна быть ниже определенного значения, чтобы обеспечить при ультразвуковой обработке разрыв связей атомов в углеводородных молекулах. Установлено, что при удельной акустической мощности ниже 0,1 – 0,15 МВт/м^2 заметных деструктивных изменений в углеводородах, представляющих технологический интерес, не наблюдалось. Полагают, что значение J = 15 – 20 МВт/м^2 является нижней границей удельной акустической мощности для рассматриваемой задачи низкотемпературного крекинга углеводородов. Максимальное значение мощности, достигаемой путем фокусировки акустической энергии в жидкой среде, также не может быть беспредельно большим. С увеличением значения J растут потери акустической энергии (пропорционально J^2) в кавитационной зоне, затрудняющие дальнейшую концентрацию энергии путем ее фокусировки. Поэтому предполагаем, что обеспечить обработку сырья ультразвуком с удельной акустической мощностью более 50 – 100 Вт/см^2 вряд ли технически возможно. Частотный диапазон акустических полей также имеет определенные ограничения. С повышением частоты затрудняется процесс образования кавитационных пузырьков в волне разряжения. При озвучивании при частоте выше 15 – 20 кГц начинает заметно возрастать порог амплитуды звукового давления, соответствующий началу кавитации. Поэтому можно ожидать, что процессы обработки углеводородов ультразвуком с частотой выше 50-100 кГц окажутся энергетически затратными.

Заключение. Поднятые в настоящей работе проблемы развития теоретических положений интенсификации процесса получения биотоплива посредством раскрытия особенностей и разработки варианта механизма массопереноса через границу раздела фаз в системе «жидкость-жидкость» могут стать основой для использования в ДВС моторного топлива из возобновляемого сырья и разработки энергосберегающей политики в сельскохозяйственном производстве России в целом.

Для интенсификации массообменных процессов целесообразно использовать акустические колебания, способствующие увеличению скорости массопереноса до семи раз. Простота конструкции акустических контактных устройств обуславливает целесообразность их использования как в новых реакторах для получения биодизельного топлива, так и при модернизации действующих.

Известно, что лимитирующую стадию гетерогенного процесса можно определить опытным путем, изучая влияние различных факторов технологического режима на общую скорость процесса [22]. Показано, что если суммарная скорость процесса возрастает с повышением температуры, то определяющей стадией является химическая реакция. Если же суммарная скорость процесса возрастает с увеличением скоростей потоков реагирующих фаз или с развитием межфазной поверхности, то определяющей стадией является массообмен между фазами и процесс идет в диффузионной области, причем скорости потоков влияют только во внешнедиффузионной области. Доказано, что кинетику процесса в начале реакции контролирует массопередача реагентов путем диффузии.

Найдено, что сложные эфиры высших алифатических кислот и одноатомных спиртов растворимы как в растительном масле, так и в спирте. При появлении их в реакционной массе они действуют как сорастворитель, поэтому через некоторое время после начала реакции система становится гомогенной и кинетику процесса контролирует химическая реакция (реакция переходит из диффузионной области в кинетическую).

Выявлено, что по степени интенсификации процессов акустические способы в несколько раз превосходят электромагнитные.

Список литературы

1. Nabi, M.N. Energy, exergy, performance, emission and combustion characteristics of diesel engine using new series of non-edible biodiesels / M.N. Nabi, M.G. Rasul, M. Anwar // Renewable energy. – 2019. V. 140/ – P. 647-657.

2. Higgins, B.S. Measurements of Fuel Effects on Liquid-Phase Penetration in DI Sprays / B.S. Higgins, C.J. Mueller, D.L. Siebers // SAE Technical Paper Series. – 1999. – № 1999-01-0519. – P.1-14.

3. Гречкін, О.М. Досвід застосування біодизельного палива / О.М. Гречкін // Матеріали I Междунар. наук.-техн. конф. «Проблеми хіммотології». – К.: Кн. вид-во НАУ. – 2006. − С. 154-156.

4. Марков, В.А. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизелей / В.А. Марков, А.И. Гайворонский, С.Н. Девянин, Е.Г. Пономарёв // Автомобильная промышленность. – 2006.− № 2. – С. 1-3.

5. Кухарёнок Г.М., Бармин В.А. Влияние смесевого биотоплива на рабочий процесс дизеля // Вісник Національного авіаційного університету. – 2009. – №1. – С. 122-125.

6. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Преимущества биодизельного топлива. // Инновационная наука. – 2016. – № 5 (17). – С. 72-74.

7. Варнаков Д.В., Варнаков В.В., Варнакова Е.А. Результаты исследований низкотемпературных свойств и цетанового числа биодизельного топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2 (34). – С. 168-173.

8. Плотников, С.А. Определение эксплуатационных показателей трактора "Беларус-922" при работе на смесевом топливе / С.А. Плотников, Ш.В. Бузиков, В.С. Товстыка, П.Н.Черемисинов // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – № 3. – С. 445-458.

9. Torres, B.A. The Production of Biodiesel from Blended Commercial Oil in Mexico: A Comparative Study / B.A. Torres, B. Facio, A. Jimenez, E. Rogel-Hernández, H. Espinoza-Gómez // Journal of the Mexican Chemical Society. – 2008. – V. 52. – № 2. – P. 136-139.

10. Graboski, M.S. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines / M.S. Graboski, R.L. McCormick // Progress in Energy and Combustion Science. – 1998. – V. 24. – №. 2. – P. 125-164.

11. İlkiliç, C. Investigation of the Effect of Sunflower Oil Methyl Ester on the performance of a Diesel Engine / C. İlkiliç, H.S. Yücesu // Energy Sources. – 2006. – V. 27. – №. 13. – P. 1225-1234.

12. Kinoshita, E. Diesel Combustion of Single Compositions of Palm Oil Methyl Ester / E. Kinoshita, K. Hamasaki, C. Jaqin // SAE Technical Paper Series. – 2003. – №. 2003-01-1929. – P. 1-10.

13. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Рязанцева И.А. Интенсификация синтеза биодизельного топлива вращающимся электромагнитным полем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 5. – С. 8-10.

14. Дворецкий Д.С., Нагорнов С.А., Ермаков А.А., Неизвестная С.В. Технология получения биодизельного топлива с использованием гетерофазных катализаторов и СВЧ-нагрева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – № S (39). – С. 136-143.

15. Нагорнов, С.А. Исследование процесса получения биодизельного топлива в проточном аппарате с магнито-вихревым слоем ферромагнитных частиц / С.А. Нагорнов, С.И. Дворецкий, С.В. Романцова, Д.С. Дворецкий, А.А. Ермаков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19. – № 2. – С. 316-324.

16. Нагорнов, С.А. Моделирование процесса метанолиза растительных масел в аппарате вихревого слоя ферромагнитных частиц / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий, А.А. Ермаков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 944-953.

17. Марков, В.А. Использование биотоплива на основе растительных масел в дизельных двигателях / В.А. Марков, Н.А. Иващенко, С.Н. Девянин, С.А. Нагорнов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 10 (10). – С. 8-15.

18. Нагорнов, С.А. Сбалансированный состав экологически чистого топлива из растительного сырья как одно из условий механизации в садоводстве / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.Н. Зазуля // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С. 63-65.

19. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Романцова С.В. О молекулярном составе биодизельного топлива // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С. 70-73.

20. Систер, В.Г. Способы стабилизации биодизельного топлива при хранении / В.Г. Систер, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, С.В. Бодягина // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 7 (87). – С. 77-81.

21. Ермаков П.П., Тигденко Г.П. Исследование влияния акустических колебаний на массопередачу газ-жидкость // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1991. – № 1 – 3, – С. 177 – 180.

22. Общая химическая технология. В 2-х ч. / Под ред. И.П. Мухленова. Ч. 1. Теоретические основы химической технологии. – Москва: Высшая школа, – 1984. – 256 с.

References

1. Nabi, M.N. Energy, exergy, performance, emission and combustion characteristics of diesel engine using new series of non-edible biodiesels / M.N. Nabi, M.G. Rasul, M. Anwar // Renewable energy. – 2019. V. 140/ – P. 647-657.

2. Higgins, B.S. Measurements of Fuel Effects on Liquid-Phase Penetration in DI Sprays / B.S. Higgins, C.J. Mueller, D.L. Siebers // SAE Technical Paper Series. – 1999. – № 1999-01-0519. – P.1-14.

3. Grechkin, O.M. Dosvid zastosuvannja biodizel'nogo paliva / O.M. Grechkin // Materiali I Mezhdunar. nauk.-tehn. konf. «Problemi himmotologiї». – K.: Kn. vid-vo NAU. – 2006. − S. 154-156.

4. Markov, V.A. Rapsovoe maslo kak al'ternativnoe toplivo dlja dizelej / V.A. Markov, A.I. Gajvoronskij, S.N. Devjanin, E.G. Ponomarjov // Avtomobil'naja promyshlennost'. – 2006.− № 2. – S. 1-3.

5. Kuharjonok G.M., Barmin V.A. Vlijanie smesevogo biotopliva na rabochij process dizelja // Visnik Nacional'nogo aviacijnogo universitetu. – 2009. – №1. – S. 122-125.

6. Gafurov N.M., Hismatullin R.F. Preimushhestva biodizel'nogo topliva. // Innovacionnaja nauka. – 2016. – № 5 (17). – S. 72-74.

7. Varnakov D.V., Varnakov V.V., Varnakova E.A. Rezul'taty issledovanij nizkotemperaturnyh svojstv i cetanovogo chisla biodizel'nogo topliva // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2016. – № 2 (34). – S. 168-173.

8. Plotnikov, S.A. Opredelenie jekspluatacionnyh pokazatelej traktora "Belarus-922" pri rabote na smesevom toplive / S.A. Plotnikov, Sh.V. Buzikov, V.S. Tovstyka, P.N.Cheremisinov // Vestnik Mordovskogo universiteta. – 2018. – T. 28. – № 3. – S. 445-458.

9. Torres, B.A. The Production of Biodiesel from Blended Commercial Oil in Mexico: A Comparative Study / B.A. Torres, B. Facio, A. Jimenez, E. Rogel-Hernández, H. Espinoza-Gómez // Journal of the Mexican Chemical Society. – 2008. – V. 52. – № 2. – P. 136-139.

10. Graboski, M.S. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines / M.S. Graboski, R.L. McCormick // Progress in Energy and Combustion Science. – 1998. – V. 24. – №. 2. – P. 125-164.

11. İlkiliç, C. Investigation of the Effect of Sunflower Oil Methyl Ester on the performance of a Diesel Engine / S. İlkiliç, H.S. Yücesu // Energy Sources. – 2006. – V. 27. – №. 13. – P. 1225-1234.

12. Kinoshita, E. Diesel Combustion of Single Compositions of Palm Oil Methyl Ester / E. Kinoshita, K. Hamasaki, C. Jaqin // SAE Technical Paper Series. – 2003. – №. 2003-01-1929. – P. 1-10.

13. Nagornov S.A., Romancova S.V., Rjazanceva I.A. Intensifikacija sinteza biodizel'nogo topliva vrashhajushhimsja jelektromagnitnym polem // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2010. – № 5. – S. 8-10.

14. Dvoreckij D.S., Nagornov S.A., Ermakov A.A., Neizvestnaja S.V. Tehnologija poluchenija biodizel'nogo topliva s ispol'zovaniem geterofaznyh katalizatorov i SVCh-nagreva // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2012. – № S (39). – S. 136-143.

15. Nagornov, S.A. Issledovanie processa poluchenija biodizel'nogo topliva v protochnom apparate s magnito-vihrevym sloem ferromagnitnyh chastic / S.A. Nagornov, S.I. Dvoreckij, S.V. Romancova, D.S. Dvoreckij, A.A. Ermakov // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2013. – T. 19. – № 2. – S. 316-324.

16. Nagornov, S.A. Modelirovanie processa metanoliza rastitel'nyh masel v apparate vihrevogo sloja ferromagnitnyh chastic / S.A. Nagornov, D.S. Dvoreckij, S.I. Dvoreckij, A.A. Ermakov // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – 2010. – T. 16. – № 4. – S. 944-953.

17. Markov, V.A. Ispol'zovanie biotopliva na osnove rastitel'nyh masel v dizel'nyh dvigateljah / V.A. Markov, N.A. Ivashhenko, S.N. Devjanin, S.A. Nagornov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. N.Je. Baumana. – 2012. – № 10 (10). – S. 8-15.

18. Nagornov, S.A. Sbalansirovannyj sostav jekologicheski chistogo topliva iz rastitel'nogo syr'ja kak odno iz uslovij mehanizacii v sadovodstve / S.A. Nagornov, S.V. Romancova, A.N. Zazulja // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 3. – S. 63-65.

19. Nagornov S.A., Zazulja A.N., Romancova S.V. O molekuljarnom sostave biodizel'nogo topliva // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 3. – S. 70-73.

20. Sister, V.G. Cposoby stabilizacii biodizel'nogo topliva pri hranenii / V.G. Sister, S.A. Nagornov, S.V. Romancova, S.V. Bodjagina // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Al'ternativnaja jenergetika i jekologija. – 2010. – № 7 (87). – S. 77-81.

21. Ermakov P.P., Tigdenko G.P. Issledovanie vlijanija akusticheskih kolebanij na massoperedachu gaz-zhidkost' // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija. – 1991. – № 1 – 3, – S. 177 – 180.

22. Obshhaja himicheskaja tehnologija. V 2-h ch. / Pod red. I.P. Muhlenova. Ch. 1. Teoreticheskie osnovy himicheskoj tehnologii. – Moskva: Vysshaja shkola, – 1984. – 256 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Королев Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, e-mail: korolev_vn133@mail.ru.

Левина Екатерина Юрьевна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Россия, г. Москва, e-mail: hensi-l@yandex.ru.

Нагорнов Станислав Александрович – 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: snagornov@yandex.ru.

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.

Author credentials

Affiliations

Korolev Vladimir – Full Doctor of Technical sciences, Professor of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Ural Federal University named after First President of Russia Boris Yeltsin”, Russia, Ekaterinburg, e-mail: korolev_vn133@mail.ru.

Levina Ekaterina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”, Russia, Moscow, e-mail: hensi-l@yandex.ru.

Nagornov Stanislav – 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: snagornov@yandex.ru.

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.

Поступила в редакцию (Received): 04.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 22.10.2020

УДК 665.11
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-105-111

РАСЧЁТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

[1,2]Романцова Светлана Валерьевна
[2]Гладышева Ирина Владимировна
[2]Вервекина Наталья Владимировна
[1]Нагорнов Станислав Александрович
[1]Ликсутина Анна Павловна
[3]Романцова Анастасия Анатольевна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
[3]МАОУ «Средняя общеобразовательная школа № 33»

Реферат. *Удешевление технологического процесса синтеза биодизельного топлива требует более широкого применения систем автоматизации, а для их внедрения требуются математические зависимости, связывающие физико-химические характеристики компонентов биодизельного топлива со строением его молекул. Наиболее востребованные показатели качества биотоплива: плотность, кинематическая вязкость, йодное число. Исследованы зависимости плотности и кинематической вязкости биодизельного топлива от температуры и жирнокислотного состава топлива. Установлено, что с увеличением молекулярной массы метилового эфира его вязкость увеличивается, а плотность уменьшается. Увеличение числа двойных связей в радикале влечёт за собой увеличение плотности и уменьшение вязкости. Проведены расчёты йодного числа, плотности и кинематической вязкости по формулам, связывающим эти величины с молекулярной массой и степенью непредельности компонентов биотоплива. Установлено, что в формуле для определения йодного числа топлива необходимо выражать массовую долю сложного эфира в смеси в процентах, а при расчёте плотности и кинематической вязкости в долях от единицы. Определено, что расчётная величина кинематической вязкости соответствует температурному интервалу от 40 °С до 50 °С, причём находится ближе к величине вязкости при 50 °С, ошибка составляет от 1 до 4 %. Ошибка по отношению к величине вязкости, измеренной при 40 °С (в соответствии с требованиями ГОСТ), больше – от 13 до 20 %. Расчётная величина плотности соответствует температурному интервалу от 20 °С до 30 °С, ошибка составляет от 0,2 до 0,5 %.*

Ключевые слова*: биодизельное топливо, плотность, кинематическая вязкость, йодное число, молекулярная масса, степень непредельности.*

CALCULATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIODIESEL FUEL

[1,2]Romantsova Svetlana
[2]Gladysheva Irina
[2]Vervekina Natalia
[1]Nagornov Stanislav
[1]Liksutina Anna
[3]Romantsova Anastasia
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"
[3]MAEI "Middle School of General Education № 33"

Abstract. *Reducing the cost of the technological process for the synthesis of biodiesel fuel requires a wider application of automation systems, and their implementation requires mathematical relationships linking the physicochemical characteristics of the components of biodiesel fuel with the structure of its molecules. The most demanded indicators of biofuel quality: density, kinematic viscosity, iodine number.*

The dependences of the density and kinematic viscosity of biodiesel fuel on temperature and fatty acid composition of the fuel were investigated. It was found that with an increase in the molecular weight of methyl ester, its viscosity increases and its density decreases. An increase in the number of double bonds in a radical entails an increase in density and a decrease in viscosity. Calculations of the iodine number, density and kinematic viscosity were carried out using formulas linking these values with the molecular masst and the degree of unsaturation of biofuel components. It was found that in the formula for determining the iodine number of fuel, it is necessary to express the mass fraction of the ester in the mixture in %, and when calculating the density and kinematic viscosity – in fractions of unity. It was determined that the calculated value of the kinematic viscosity corresponds to the temperature range from 40 °C to 50 °C, and is closer to the value of viscosity at 50 °C; the error is from 1 to 4%. The error in relation to the viscosity value measured at 40 °C (in accordance with the GOST requirements) is greater – from 13 to 20%. The calculated value of the density corresponds to the temperature range from 20 °C to 30 °C; the error is from 0.2 to 0.5%.

***Keywords**: biodiesel fuel, density, kinematic viscosity, iodine number, molecular weight, degree of unsaturation.*

Введение. Биодизельное топливо на сегодняшний день можно рассматривать как эффективную добавку к нефтяному дизельному топливу, улучшающую его экологические и эксплуатационные свойства. Особенно необходима такая добавка для современных глубокоочищенных дизельных топлив, отвечающих требованиям стандартов Евро. Введение биодизельного топлива позволяет одновременно повысить цетановое число нефтяного топлива, улучшить его смазывающие свойства и снизить содержание вредных компонентов в выхлопных газах. Широкое распространение биодизельного топлива сдерживает относительно высокая себестоимость и некоторые отличия физико-химических свойств (плотность, вязкость, йодное число, теплота сгорания и др.) по сравнению с традиционным нефтяным топливом.

В состав биодизельного топлива входят эфиры метанола и высших карбоновых кислот. К высшим относят кислоты, молекулы которых содержат 12 и более атомов углерода. Обычно в составе биодизельного топлива присутствую эфиры преимущественно непредельных карбоновых кислот с числом атомов углерода от 18 до 24. Углеводороды нефтяного топлива имеют меньший размер и их молекулы содержат меньше кратных связей. Различия в строении приводят к увеличению значения таких характеристик биодизельного топлива, как йодное число, плотность, вязкость, температура кипения. Всё это может негативно сказаться на работоспособности двигателя [1 – 4] и привести к сокращению сроков хранения горючего, в состав которого входит биодизельное топливо. Последнее особенно важно для сельскохозяйственных предприятий, вынужденных хранить топливо в период межсезонья. Наличие в эфирах двух атомов углерода, с одной стороны, способствует более полному сгоранию топлива, что приводит к снижению содержания сажи и несгоревших углеводородов в выхлопных газах, а с другой стороны уменьшает высшую теплоту сгорания биодизельного топлива.

В настоящее время во всём мире активно идёт поиск всё новых возобновляемых источников для синтеза биодизельного топлива. Это отработанные (например, фритюрные) масла, жировые отходы пищевой промышленности, масла водорослей, бактерий и грибов [5-6]. У каждого масла свой неповторимый жирнокислотный состав, следовательно, в состав образцов биодизельного топлива, синтезированного из разных масел, будут входить эфиры разных жирных кислот. Именно от этого состава зависят свойства топлива. Кроме того, методы селекции и генной инженерии позволяют целенаправленно менять жирнокислотный состав масел так, чтобы получить биодизельное топливо с составом, позволяющим получить требуемые характеристики топлива. Поэтому очень важно уметь прогнозировать свойства биодизельного топлива в зависимости от его состава. Это позволит быстро и правильно оценить соотношения нефтяного и биодизельного топлива при их смешивании.

Кроме того, к недостаткам способов получения биодизельного топлива, удорожающим этот процесс, можно отнести несовершенные режимы управления технологическим процессом. Одним из способов, который позволит усовершенствовать управление технологическим процессом получения биодизельного топлива и позволит перейти к оптимальным режимам работы, является автоматизация установок для получения биодизельного топлива. Для этого необходимо иметь

математические зависимости, связывающие основные физико-химические характеристики биодизельного топлива со строением его молекул.

Цель работы – исследование зависимости физико-химических характеристик биодизельного топлива от его состава.

Материалы и методы. Синтез биодизельного топлива и индивидуальных метиловых эфиров жирных кислот проводили с помощью методов тонкого органического синтеза. Для реакции этерификации как катализатор использовали серную кислоту, переэтерификацию растительных масел проводили в условиях гомогенного щелочного катализа (использовали гидроксид калия). В качестве сырья для синтеза образцов биодизельного топлива использовали по два сорта масел рыжика и рапса, льняное и подсолнечное масла. Для определения физико-химических характеристик биодизельного топлива использовали методы, закреплённые в ГОСТ Р 52368-2005. Для установления жирнокислотного состава биодизельного топлива использовали методы газовой хроматографии (хроматограф «Кристалл-2000м»), снабжённый программным обеспечением «Хроматэк-Аналитик», которое обрабатывало результаты хроматографического анализа.

Результаты и их обсуждение. В состав триацилглицеринов растительных масел, а значит, и в состав биодизельного топлива входят эфиры высших алифатических предельных и непредельных кислот. Если биодизельное топливо синтезировано из жидких масел (растительного происхождения), в его составе будут преобладать метиловые эфиры непредельных кислот, преимущественно олеиновой, линолевой, линоленовой, в меньшей мере пальмитолеиновой, эруковой и арахидоновой. Если синтез биодизельного топлива проводили на основе твердых жиров (животного происхождения), в его составе будут преобладать эфиры предельных кислот, преимущественно пальмитиновой и стеариновой, реже миристиновой и бегеновой.

Жирнокислотный состав синтезированных образцов биодизельного топлива приведён в таблице 1. Кислоты имеют общепринятое обозначение: после буквы «С» указано число атомов углерода в молекуле кислоты, затем через двоеточие число двойных связей в её радикале. Так, обозначение «С18:0» относится стеариновой кислоте, имеющей 18 атомов углерода в молекуле и предельное строение, а «С18:2» – к линолевой кислоте, в молекуле которой присутствуют 18 атомов углерода и две двойные связи.

Таблица 1 – Жирнокислотный состав образцов биодизельного топлива

Масло для синтеза	Метиловые эфиры кислот, %														
	С14:0	С16:0	С16:1	С18:0	С18:1	С18:2	С18:3	С20:0	С20:1	С20:4	С22:0	С22:1	С22:2	С24:0	С24:1
рапсовое 1	–	6,4	0,3	2,7	50,0	24,0	12,0	0,5	1,6	–	0,1	0,9	–	–	–
рапсовое 2	0,33	3,99	–	–	59,53	20,29	6,03	–	0,66	4,32	0,25	4,60	–	–	–
рыжиковое 1	0,29	5,65	–	–	67,46	2,39	–	–	1,6	17,9	0,59	4,12	–	–	–
рыжиковое 2	0,49	1,67	0,78	2,76	3,0	31,82	–	–	–	–	3,84	41,13	8,49	1,09	2,4
подсолнечн.	4,56	8,61	0,6	4,77	49,25	9,42	18,12	–	0,34	2,43	1,9	–	–	–	–
льняное	7,56	6,46	–	2,25	7,89	23,32	46,73	–	–	2,14	–	–	–	–	–
редьки масло	10,64	11,85	–	3,53	31,82	24,59	9,38	–	8,19	–	–	–	–	–	–

При анализе данных хроматографического исследования видно, что даже разные сорта одной и той же масличной культуры могут иметь довольно сильно различающийся набор высших кислот. Рыжиковое масло, выращенное в Черноземье (образец 1), содержит в качестве основного компонента линолевую кислоту, а выращенное в Крыму (образец 2) – чуть больше 40 % эруковой кислоты. Льняное масло содержит больше всего линоленовой кислоты, а рапсовое – олеиновой. Метиловые эфиры соответствующих кислот преобладают в биодизельном топливе, синтезированном из этих масел. Это определяет различие в физико-химических, а, следовательно, и в эксплуатационных свойствах топлив. Так, биодизельное топливо с высоким содержанием эфиров полиеновых кислот (содержащих в радикале две и более двойных связей) имеют более высокую плотность, но меньшую вязкость; они легче окисляются, что может привести к сокращению сроков хранения топлива.

Проведённые нами ранее исследования и анализ литературных данных [7] показали, что с увеличением молекулярной массы метилового эфира его вязкость увеличивается, а плотность уменьшается. Так, например, для метилкаприлата и метиллаурата относительные молекулярные

массы равны 158 и 214, а плотность при 20°С составляет 0,8775 г/см^3 и 0,8702 г/см^3 соответственно. Значения кинематической вязкости при 40°С для этих же соединений составляет 1,16 мм^2/с и 2,38 мм^2/с.

Увеличение числа двойных связей в радикале влечёт за собой увеличение плотности и уменьшение вязкости. Так, для метиловых эфиров олеиновой и линолевой кислот, содержащих одну и две двойные связи, плотность при 18 °С равна 0,879 г/см^3 и 0,888 г/см^3, а вязкость при 40°С 4,45 мм^2/с и 3,64 мм^2/с соответственно.

В литературе предлагаются различные математические зависимости, позволяющие рассчитать величины таких характеристик, как плотность, вязкость, йодное и цетановое число, наивысшую теплоту сгорания и другие величины в зависимости от молекулярной массы и степени ненасыщенности метиловых эфиров жирных кислот. Так, в [8] предлагается вести расчёт йодного числа по формуле (1):

$$ИЧ = \sum(254 \cdot N_i \cdot w_i) / M_i, \quad (1)$$

где N_i – число двойных связей в молекуле эфира, M_i – его относительная молекулярная масса, а w_i – массовая доля данного сложного эфира в смеси (биодизельном топливе).

Для расчёта плотности биодизельного топлива предлагается выражение (2):

$$\rho = \sum \rho_i \cdot w_i, \quad (2)$$

где $\rho_i = 0{,}8463 + 4{,}9/M_i + 0{,}0118 \cdot N_i$

Для расчёта кинематической вязкости биодизельного топлива предлагается выражение (3):

$$\eta = exp\ (\sum w_i \cdot ln(\eta_i)), \quad (3)$$

где $ln(\eta_i) = -12.53 + 2.496 \cdot ln(M_i) - 0{,}178 \cdot N_i$

Проверка предлагаемых формул показала следующее.

Йодное число является характеристикой степени непредельности биодизельного топлива. Численно оно равно массе йода (в г), которая может присоединиться к 100 г топлива. Если выражать массовую долю данного сложного эфира в смеси в долях от единицы, величина ИЧ получается очень маленькой – чуть больше или чуть меньше единицы, нормируемая размерность гI_2/100г наблюдается только в том случае, если долю вещества в смеси выражать в процентах (таблица 2). Расчётные значения хорошо коррелируют со степенью непредельности эфиров, входящих в состав биодизельного топлива.

Таблица 2 – Йодное число образцов биодизельного топлива

Йодное число (гI_2/100г) для биодизельного топлива, синтезированного из масла					
подсолнечника	рапса	льна	редьки	рыжика (образец 1)	рыжика (образец 2)
114	119	176	101	123	103

При расчёте плотности и вязкости порядок цифр удовлетворительный при использовании массовой доли компонента биодизельного топлива в долях от единицы, но авторы не указывают, к какой температуре привязаны эти формулы.

Ранее мы исследовали зависимость плотности и вязкости биодизельного топлива от температуры [7]. Для плотности установлена линейная зависимость, а для вязкости – экспоненциальная.

Нами был проведён расчёт плотности (таблица 3) и вязкости (таблица 4) различных образцов биодизельного топлива по формулам (2) и (3). Исходными величинами для расчёта являлись данные хроматографического анализа (таблица 1). Полученные значения сравнивали с этими же характеристиками, измеренными при различных температурах в интервале от 20 °С до 80 °С.

Видно, что расчётная величина плотности соответствует температурному интервалу от 20 °С до 30 °С (кроме масла рыжика с высоким содержанием эруковой кислоты), ошибка расчёта составляет от 0,2 до 0,5 %. Следовательно, полученную при расчёте величину можно соотносить с плотностью, измеренной при 20 °С или 30 °С. Это не очень удобно, т.к. ГОСТ Р 53605-2009 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метиловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования» нормирует плотность при 15 °С, т.е. расчётная величина будет заведомо меньше нормируемой.

Таблица 3 – Плотность образцов биодизельного топлива

Температура	Плотность (г/см^3) для биодизельного топлива, синтезированного из масла				
	подсолнечника	рапса	льна	редьки	рыжика
20	0,880	0,883	0,890	0,877	0,893
30	0,875	0,876	0,882	0,872	0,886
40	0,870	0,870	0,877	0,866	0,880
50	0,862	0,862	0,868	0,860	0,874
60	0,855	0,855	0,862	0,854	0,867
70	0,848	0,849	0,852	0,847	0,862
80	0,840	0,841	0,845	0,840	0,856
Расчёт по формуле (2)	0,877	0,879	0,887	0,877	0,876

Таблица 4 – Кинематическая вязкость образцов биодизельного топлива

Температура	Кинематическая вязкость (мм^2/с) для биодизельного топлива, синтезированного из масла				
	подсолнечника	рапса	льна	редьки	рыжика
20	6,59	6,55	5,55	7,41	10,264
30	6,30	6,35	5,23	6,15	7,99
40	5,08	5,00	4,44	4,94	6,38
50	3,98	4,15	3,54	4,07	5,26
60	3,2	3,50	2,91	3,46	4,46
70	2,61	2,91	2,32	2,93	3,74
80	2,24	2,45	2,09	2,45	3,27
Расчёт по формуле (3)	4,14	4,32	3,51	4,15	5,48

Видно, что расчётная величина вязкости соответствует температурному интервалу от 40 °С до 50 °С, причём находится ближе к величине вязкости при 50 °С, ошибка расчёта для этой температуры составляет от 1 до 4 %. Ошибка по отношению к величине вязкости, измеренной при 40°С, намного больше – от 13 до 20 %. Следовательно, полученную при расчёте величину можно соотносить с плотностью, измеренной при 50 °С. Это тоже не очень удобно, т.к. ГОСТ Р 53605–2009 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метиловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования» нормирует кинематическую вязкость при 40 °С, т.е. расчётная величина будет заведомо меньше нормируемой.

Однако данные зависимости можно использовать для прогнозирования соответствующих параметров биодизельного топлива, для которого известен жирнокислотный состав. Это может помочь при планировании генетических и селекционных экспериментов – можно понять, в каком направлении вести работу, содержание каких кислот требуется увеличить или уменьшить. Также они могут быть использованы для создания программ для систем автоматизации процессов синтеза биодизельного топлива и его смешения с товарным нефтяным топливом.

Заключение. Экспериментально определены плотность и кинематическая вязкость индивидуальных метиловых эфиров жирных кислот с разной молекулярной массой и числом двойных связей. Те же параметры определены и для образцов биодизельного топлива различного жирнокислотного состава в широком температурном интервале (от 20 °С до 80 °С). Проведены расчёты йодного числа, плотности и кинематической вязкости по формулам, связывающим эти величины с молекулярной массой и степенью непредельности компонентов биотоплива.

Установлено, что вязкость сложных эфиров метанола и жирных кислот увеличивается, а их плотность уменьшается с ростом молекулярной массы эфира. Увеличение числа двойных связей в радикале приводит к увеличению плотности и уменьшению вязкости эфиров.

Установлено, что в формуле для определения йодного числа топлива необходимо выражать массовую долю сложного эфира в смеси в процентах, а при расчёте плотности и кинематической вязкости в долях от единицы.

Определено, что расчётная величина кинематической вязкости ближе всего к величине вязкости при 50°С, ошибка составляет от 1 до 4 %. Ошибка по отношению к величине вязкости, измеренной при 40°С, больше – от 13 до 20 %.

Расчётная величина плотности соответствует температурному интервалу от 20°С до 30°С, ошибка составляет от 0,2 до 0,5 %.

Список литературы

1. Мифтахова Л.Х. Промышленные методы производства биодизельного топлива // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – Т. 16. – № 12. – С. 80-83

2. Дидманидзе О.Н., Варнаков Д.В., Варнаков В.В., Карев А.М., Варнакова Е.А., Платонов А.В. Результаты определения оптимального соотношения компонентов биодизельного топлива при условии обеспечения низкотемпературных свойств и цетанового числа // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина», 2016. – № 5 (75). – С. 30-35.

3. Улюкина Е.А. Перспективы применения биотоплива при эксплуатации сельскохозяйственной и мобильной техники // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2019. – № 4 (57). – С. 183-193.

4. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Преимущества биодизельного топлива // Инновационная наука, 2016. – № 5. – С. 72-74.

5. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А., Акимов В.С. Биодизельные топлива из различных сырьевых ресурсов // Транспорт на альтернативном топливе, 2011. – № 3 (21). – С. 25-31.

6. Белозерцева Н.Е., Богданов И.А., Алтынов А.А., Бальжанова А.Т., Белинская Н.С. и др Выбор наиболее предпочтительного сырья для синтеза биодизельного топлива с позиции его выхода и физико-химических свойств // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2020. – № 1(32). – С. 114-123.

7. Романцова С.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А. Ликсутина А.П. Физико-химические свойства биодизельного топлива и способы их изменения // Наука в центральной России, 2019. – № 5 (41). – С. 110-118.

8. Сергеева Я.Э. и др. Расчет характеристик биодизельного топлива на основе жирнокислотного состава липидов некоторых биотехнологически значимых микроорганизмов // Биотехнология, 2017. – Т. 33. – № 1. – С. 53-61.

References

1. Miftahova L.H. Promyshlennye metody proizvodstva biodizel'nogo topliva // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta, 2013. – T. 16. – № 12. – S. 80-83

2. Didmanidze O.N., Varnakov D.V., Varnakov V.V., Karev A.M., Varnakova E.A., Platonov A.V. Rezul'taty opredelenija optimal'nogo sootnoshenija komponentov biodizel'nogo topliva pri uslovii obespechenija nizkotemperaturnyh svojstv i cetanovogo chisla // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Gorjachkina», 2016. – № 5 (75). – S. 30-35.

3. Uljukina E.A. Perspektivy primenenija biotopliva pri jekspluatacii sel'skohozjajstvennoj i mobil'noj tehniki // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019. – № 4 (57). – S. 183-193.

4. Gafurov N.M., Hismatullin R.F. Preimushhestva biodizel'nogo topliva // Innovacionnaja nauka, 2016. – № 5. – S. 72-74.

5. Markov V.A., Devjanin C.N., Nagornov S.A., Akimov V.S. Biodizel'nye topliva iz razlichnyh syr'evyh resursov // Transport na al'ternativnom toplive, 2011. – № 3 (21). – S. 25-31.

6. Belozerceva N.E., Bogdanov I.A., Altynov A.A., Bal'zhanova A.T., Belinskaja N.S. i dr Vybor naibolee predpochtitel'nogo syr'ja dlja sinteza biodizel'nogo topliva s pozicii ego vyhoda i fiziko-himicheskih svojstv // Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija, 2020. – № 1(32). – S. 114-123.

7. Romancova S.V., Kornev A.Ju., Nagornov S.A. Liksutina A.P. Fiziko-himicheskie svojstva biodizel'nogo topliva i sposoby ih izmenenija // Nauka v central'noj Rossii, 2019. – № 5 (41). – S. 110-118.

8. Sergeeva Ja.Je. i dr. Raschet harakteristik biodizel'nogo topliva na osnove zhirnokislotnogo sostava lipidov nekotoryh biotehnologicheski znachimyh mikroorganizmov // Biotehnologija, 2017. – T. 33. – № 1. – S. 53-61.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Гладышева Ирина Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru.

Вервекина Наталья Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: vervekinanv@mail.ru.

Нагорнов Станислав Александрович – 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: snagornov@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: liksutina68@gmail.com.

Романцова Анастасия Анатольевна – преподаватель Муниципальногое автономного общеобразовательного учреждения «Средняя общеобразовательная школа № 33», Россия, г. Тамбов, e-mail: romantsova.aa@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Romantsova Svetlana – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Gladysheva Irina – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru.

Vervekina Natalia – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: vervekinanv@mail.ru.

Nagornov Stanislav – 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: snagornov@yandex.ru.

Lixutina 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: liksutina68@gmail.com.

Romantsova Anastasia – Teacher of Municipal Autonomous Educational Institution “Middle School of General Education № 33” , Russia, Tambov, e-mail: romantsova.aa@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 28.08.2020 Принята к публикации (Accepted): 02.10.2020

УДК 662.76, 620.97
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-111-118

СПОСОБ СИНТЕЗА БИОГАЗА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В КАЧЕСТВЕ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА

[1,2]Романцова Светлана Валерьевна
[3]Якунина Ирина Владимировна
[3]Галкин Павел Александрович
[3]Милосердов Алексей Михайлович

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Предлагается способ получения метана, как компонента газомоторного топлива, при утилизации промышленных и бытовых отходов с использованием метода анаэробного сбраживания Представлены результаты эксперимента по получению биогаза из осадка, отобранного с иловой площадки очистных сооружений г. Тамбова. Определены различные характеристики этого вида отходов, включая содержание катионов металлов, нефтепродуктов, канцерогенных полициклических ароматических углеводородов, радионуклидов и патогенных микроорганизмов. Определён класс опасности отходов. Показано, что содержание опасных компонентов в изучаемом осадке сточных вод ниже требований ГОСТ. Определен состав и объем выделяющегося биогаза. Основным его компонентом является метан, в качестве побочных компонентов присутствуют кислород (около 20 %) и углекислый газ (от 0,2 до 9,7 %). Содержание сероводорода, аммиака и оксида углерода (II) менее 1 %. Установлено, что пик объемного выхода метана наступает на 9-11 сутки в зависимости от соотношения осадка и ила. Максимальный объем биогаза был получен в том случае, когда для сбраживания смешивали в соотношении 1:1 избыточный активный ил и осадок бытовых сточных вод. Утилизация осадка бытовых сточных вод и активного ила позволит освободить большие земельные участки, на которых в настоящий момент находятся илонакопители и иловые карты. Эти земли могут вернуться в сельскохозяйственный оборот.*

Ключевые слова*: газомоторное топливо, биогаз, осадок сточных вод, избыточный активный ил, анаэробное сбраживание.*

METHOD FOR SYNTHESIS OF BIOGAS, USED AS GAS ENGINE FUEL

[1,2]Romantsova Svetlana
[3]Yakunina Irina
[3]Galkin Pavel
[3]Miloserdov Alexey
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"
FSBEI HE "Tambov State Technical University"

Abstract*. A method for producing methane, as a component of gas engine fuel, when utilizing industrial and domestic waste using the method of anaerobic digestion is proposed. The results of an experiment on obtaining biogas from sludge taken from the sludge site of the treatment facilities in Tambov are presented. Various characteristics of this type of waste have been determined, including the content of metal cations, oil products, carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons, radionuclides and pathogenic microorganisms. Wastes hazard class determined. It is shown that the content of hazardous components in the studied wastewater sludge is lower than the requirements of GOST. The composition and volume of emitted biogas have been determined. The main component is methane; oxygen (around 20%) and carbon dioxide (from 0.2 to 9.7%) are present as side components. The content of carbon monoxide (II), ammonia and hydrogen sulfide is less than 1%. It was found that the peak of the volumetric yield of methane occurs on days 9-11, depending on the ratio of sediment and silt. The maximum volume of biogas was obtained when excess activated sludge and sewage sludge were mixed for fermentation in a 1: 1 ratio. Utilization of sewage sludge and activated sludge will free up large land plots where sludge ponds and sludge maps are currently located. These lands can return to agricultural use.*

Keywords*: gas engine fuel, biogas, sewage sludge, excess activated sludge, anaerobic digestion.*

Введение. Многочисленная сельскохозяйственная техника использует в качестве топлива продукты, получаемые переработкой нефти. Агропромышленный комплекс можно назвать одним из основных потребителей нефтяного дизельного топлива. Использование традиционного топлива уже сейчас влечёт за собой существенные проблемы, которые будут только усугубляться в будущем. Нефть – невозобновляемый источник энергии, сейчас перерабатываются всё более тяжёлые её виды, что требует увеличения числа стадий очистки и удорожает конечный продукт. Компоненты выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания попадают в окружающую нас среду, и она становится менее пригодной для жизни, прежде всего для производства продуктов питания. Увеличение стоимости топлив сказывается на цене сельскохозяйственной продукции, т.к. транспортные затраты в её себестоимости составляют в среднем 20 % [1].

Поэтому во многих странах ведётся активный поиск более экономичных и экологичных видов топлива. Желательно, чтобы исходным сырьём для этих видов топлива являлись возобновляемые ресурсы или отходы различных производств и жизнедеятельности человека. Парк сельскохозяйственных машин и стационарных установок в Российской Федерации требует обновления и модернизации. Новые трактора, комбайны и другие машины по надёжности, долговечности, экологическим характеристикам должны отвечать международным стандартам.

Уменьшить токсичность выхлопных газов может применение биодизельного топлива, синтезируемого из возобновляемого растительного сырья. Однако стоимость этого вида топлива пока выше, чем нефтяного аналога. Ещё одним вариантом снижения содержания токсичных веществ в отработавших газах при одновременном уменьшении стоимости топлива является использование газомоторного топлива. В настоящее время уже разработаны различные схемы переоборудования дизельного двигателя для того, чтобы он мог работать, используя газодизельный цикл [2]. Это позволит расширить сырьевую базу для производства моторных топлив и будет способствовать улучшению экологических характеристик двигателей и снижению затрат на производство сельскохозяйственной продукции. Сотрудники многих машинно-испытательных станций на основании многочисленных исследований сделали вывод о возможности и целесообразности применения альтернативных видов топлива в агрохозяйствах [3].

Для широкого применения газомоторного топлива на агропромышленных предприятиях необходимо создание газовых и газодизельных модификаций сельскохозяйственной техники, расширение инфраструктуры по заправке и обслуживанию такой техники и разработка нормативно-технической документации, регламентирующей все стороны использования нового вида топлива [4].

В настоящее время также актуален поиск новых способов получения биогаза, основным компонентом которого является метан. Нами предлагается способ утилизации промышленных и бытовых отходов с использованием метода анаэробного сбраживания.

В настоящее время на очистных сооружениях существует ряд стандартных способов переработки осадка городских сточных вод. Обычно их обезвоживают и направляют на иловые карты и илонакопители. Там происходит их биоразложение, которое происходит в течение довольно долгого времени. Иловые площадки отличаются простотой и лёгкостью эксплуатации, но часто регламент их эксплуатации не соблюдается, климатические факторы оказывают своё влияние на процесс обезвоживания, что приводит к неэффективному использованию земельных площадей. Поэтому неизбежно встаёт вопрос об утилизации осадков и избыточного ила с переполненных площадок, ведь необходимо складировать вновь образующиеся осадки.

Одним из вариантов является анаэробное сбраживание отходов с иловых площадок, в результате получается метансодержащий биогаз, который можно использовать как компонент газомоторного топлива. В настоящей работе исследован этот процесс на примере осадка сточных вод, образовавшихся на очистных сооружениях г. Тамбова.

Материалы и методы. Объекты исследования: образцы осадка бытовых сточных вод и избыточного активного ила, отобранные на площадке СХПК «Комсомолец» Тамбовского района.

Объем биогаза, выделившегося при сбраживании образцов определяли с помощью лабораторного лизиметра. С помощью термостата обеспечивали постоянную температуру экспериментального сбраживания 35^0С. Три герметично закрытые емкости содержали смесь избыточного активного ила и осадка бытовых сточных вод в соотношении: 1:1, 5:1, 10:1. С помощью силиконовых шлангов каждую емкость с исходным сырьем соединили с герметично закрытой вытеснительной емкостью, заполненной 5 % раствором NaCl, которые размещались вне термостата. В свою очередь вытеснительные емкости, также с помощью силиконовых шлангов соединили с градуированными измерительными емкостями. Объем выделившегося биогаза измеряли методом вытеснения жидкости. Продолжительность эксперимента – 32 суток.

Анализ проб газа проводился с помощью хроматографа «ХРОМОС ГХ1000».

Результаты и их обсуждение. Существует ряд факторов, оказывающих влияние на ход процесса анаэробного сбраживания. Соответственно, те же факторы влияют на объём синтезируемого микроорганизмами метана. К таким факторам, безусловно, относятся температура реакционной массы, соотношение реагентов, компонентный и элементный состав ила и осадка, в том числе концентрация содержащихся в них катионов тяжелых металлов, ведь именно они снижают скорость анаэробного процесса. Объём, состав и физико-химические свойства выделяющегося при этом биогаза зависят от качественного и количественного состава осадка и избыточного активного ила.

Жизненный цикл микробов, обеспечивающих анаэробное брожение, возможен в довольно широком интервале температур: от 10 до 60 °С. Однако экспериментальные данные показывают, что оптимальная температура мезофильного брожения составляет 35 °С [5].

По литературным данным определены оптимальные параметры избыточного активного ила, направляемого на анаэробное сбраживание [6]. Так, влажность исходного сырья не должна превышать 98 %, а соотношение органических и неорганических компонентов должно находиться в границах 75-85 / 15-25 объёмных %. Верхняя граница концентрации твердых веществ в сырье для анаэробного сбраживания может колебаться в пределах от 55 % до 80 %. Такой показатель, как щёлочность исходной не должен быть ниже 1500 мг $CaC0_3$ на 1 л смеси и выше 5000 мг $CaC0_3$ на 1 л смеси. Содержание побочных продуктов брожения (летучих кислот) может находиться в интервале 600-1500 мг на 1 л смеси.

Очень важным фактором является соотношение питательных веществ, обеспечивающих жизнедеятельность микроорганизмов, наилучшее отношение углерода к азоту и фосфору составляет 21,4 : 5 : 1.

Экспериментально определённые характеристики осадка бытовых сточных вод, отобранного на иловых площадках очистных сооружений г. Тамбова, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика состава осадка сточных вод

Наименование показателя	Значение	Допустимое значение [7]
Агрегатное состояние и физическая форма	твердый	твердый
Массовая доля влаги, %	28-86	не нормир.
Массовая доля сухого вещества, %	14-72	не нормир.
Реакция среды, ед. pH	5,7-6,6	5,5-8,5
Массовая доля золы (неорг. вещества), %	32-84	не более 80
Потери при прокаливании (орг. вещества), %	16-68	не менее 20
Массовая доля, % на сух. в-во / % на факт. вл.		
общего фосфора	2,0 / 0,86	не ниже 1,5
общего азота	0,6 / 0,26	не ниже 0,6
общего кремния	50,1 / 21,54	–
общего алюминия	9,6 / 4,13	–
общего магния	1,6 / 0,69	–
общего кальция	3,8 / 1,63	–
общего железа	4,1 / 1,76	–
Валовые формы, мг/кг сух. в-ва / % на факт. вл.:		не более:
Ртуть	0,54/0,00005	15
Свинец	69,2/0,00498	500
Хром	18,1 / 0,0013	1000
Кадмий	1,53/0,00011	30
Медь	171 / 0,0123	1500
Никель	25 / 0,0018	400
Мышьяк	0,87/0,00006	20
Цинк	300 / 0,0216	3500
Подвижные формы, мг/кг сух. в-ва / % на факт. вл:		не более:
Свинец	2,37/0,00017	6
Цинк	195 / 0,014	4
Никель	2,95/0,00021	3
Хром	0,15/0,00001	6
Нефтепродукты г/кг сух. в- ва/% на факт. вл.	0,43 / 0,00003	не более 30
Полициклические ароматические углеводороды, мг/кг	< 0,005	0,02
Метаболиты дихлордифенилтрихлорметилметана, мг/кг	< 0,007	0,14
Гептахлор, мг/кг	< 0,001	0,05
Изомеры гексахлорциклогексана, мг/кг	< 0,001	0.01
Техногенные радионуклиды (удельная активность), отн. ед.	<1	не более 1

Представленные данные показывают, что содержание опасных компонентов в осадке сточных вод, отобранном на очистных сооружениях г. Тамбова, ниже требований ГОСТ. В осадке не обнаружены патогенные микроорганизмы, жизнеспособные яйца гельминтов, личинки и куколки синантропных мух и цисты простейших, бактерии группы кишечной палочки. Химическое и биохимическое и потребление кислорода (ХПК и БПК) относят к одним из важнейших характеристик уровня загрязнения. По данным анализа, их величины в 6-10 раз ниже нормируемых.

Определено, что исследуемые отходы можно отнести к V классу опасности для окружающей природной среды. Следовательно, они могут быть подвергнуты дальнейшей переработке и площади, освобожденные в результате утилизации, можно использовать для сельскохозяйственных нужд.

Динамика метанообразования в течение 32 суток представлена на рисунке 1.

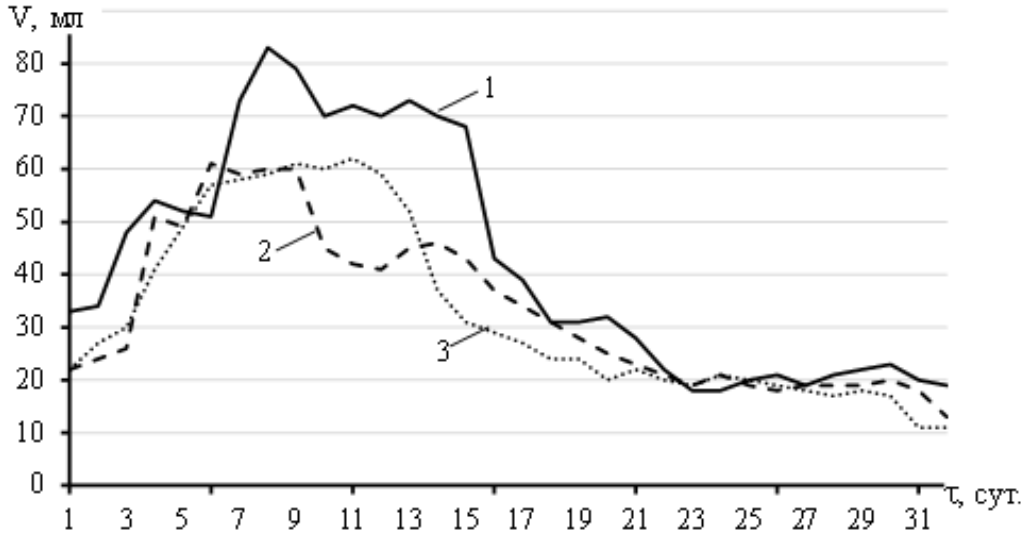


Рисунок 1 – Динамика метанобразования для смеси избыточного активного ила и осадка бытовых сточных вод в соотношениях: 1:1 – линия 1, 5:1 – линия 2, 10:1 – линия 3

На 2-е сутки становится заметным начало метанообразования при всех трёх соотношениях избыточного активного ила и осадка бытовых сточных вод. Так, при соотношении исходных компонентов 1:1 на вторые сутки выделилось 33 мл биогаза, при двух других соотношении несколько меньше – 22 мл. Увеличение выхода биогаза наблюдалось в течение восьми-девяти суток для соотношения ила и осадка 1:1 и 5:1 и несколько дольше – до одиннадцати суток для соотношения 10:1.

С девятых суток наблюдается уменьшение объёма выделившегося биогаза для смеси избыточного активного ила и осадка бытовых сточных вод в соотношении 1:1 и 5:1. Для смеси избыточного активного ила и осадка бытовых сточных вод в соотношении 10:1 оно наблюдается с двенадцатых суток.

На рисунке 2 представлена динамика увеличения количества метанообразования из избыточного активного ила и осадка бытовых сточных вод за 32 суток.

Самый большой объема биогаза был получен при сбраживании смеси активного ила и осадка бытовых сточных вод в соотношении 1:1, что составило 1357 мл, самый маленький объем был достигнут при соотношении тех же компонентов 10:1, что составило 1041 мл. Различия объема выделившегося биогаза можно объяснить тем, что при большем содержании активного ила в смеси присутствует больше ингибирующих компонентов.

После завершения экспериментального сбраживания наблюдалось расслоение содержимого каждой ёмкости на осветленную жидкость и осадок.

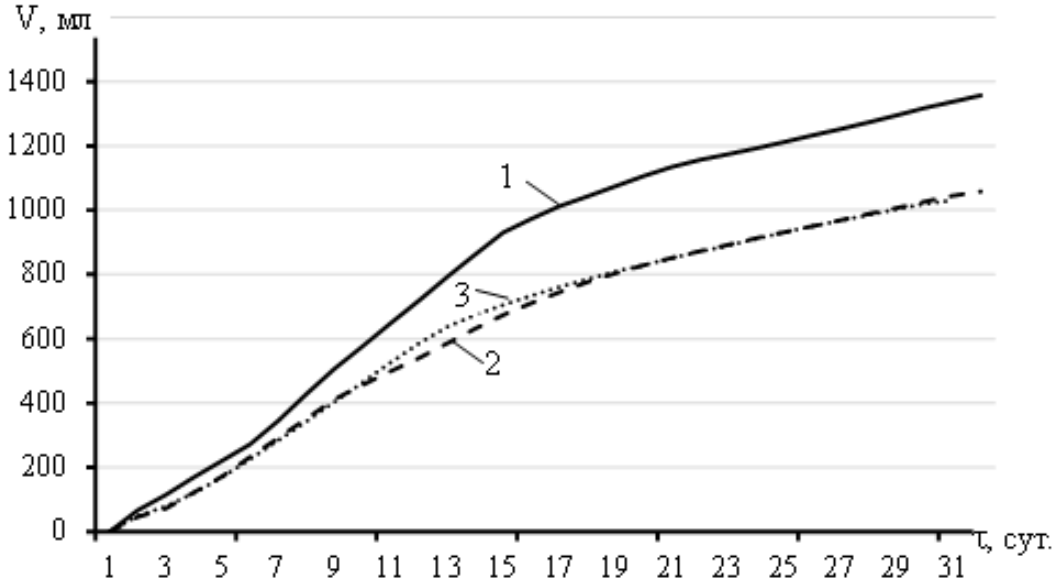


Рисунок 2 – Динамика увеличения количества метанобразования смеси активного ила и осадка бытовых сточных вод за 32 суток в соотношениях: 1:1 – линия 1, 5:1 – линия 2, 10:1 – линия 3

В ходе эксперимента разложилось 60-70 % органических соединений, который были загружены изначально.

В таблице 2 представлены результаты измерения массовой концентрации метана при выходе биогаза на 24 сутки.

Таблица 2 – Результаты измерения концентрации метана при выходе биогаза на 24 сутки в соотношениях избыточного активного ила (ИАИ) и осадка сточных вод (ОСВ) 1:1, 5:1, 10:1

Соотношение исходного сырья	Концентрация, мг/м^3
ОСВ и ИАИ 1:1	95722,927
ОСВ и ИАИ 1:5	94925,887
ОСВ и ИАИ 1:10	93697,728

Максимальная массовая концентрация выхода биогаза наблюдается в емкости в соотношении 1:1 избыточного активного ила и осадка бытовых сточных вод.

По данным хроматографического анализа основным компонентом биогаза является метан, кроме того, в газовой смеси присутствуют кислород (около 20 %) и углекислый газ (от 0,2 до 9,7 %). Содержание токсичных для окружающей среды примесей, например, сероводорода, аммиака и оксида углерода (II) не превышает 1 %. Оксиды азота отсутствуют.

Заключение. Показано, что получение биогаза путём утилизации избыточного активного ила и осадка бытовах сточных вод позволяет освободить большие земельные участки, на которых в настоящий момент находятся илонакопители и иловые карты. Эти земли могут вернуться в сельскохозяйственный оборот.

Установлено, что биогаз, полученный в результате анаэробного сбраживания отходов, после дополнительного концентрирования, может быть использован как компонент газомоторного топлива, так как основным его компонентом является метан.

Установлено, что в качестве побочных компонентов присутствуют кислород (около 20 %) и углекислый газ (от 0,2 до 9,7 %). Содержание сероводорода, аммиака и оксида углерода (II) менее 1 %.

Установлено, что пик объемного выхода метана наступает на 9-11 сутки в зависимости от соотношения осадка и ила.

Для получения наибольшего объёма биогаза необходимо смешивать избыточный активный ил и осадок бытовых сточных вод в соотношении 1:1.

Список литературы

1. Al-Maidi A.A.H., Chernetsov D.A., Vdovina E.S. Study of a combined device to reduce the toxicity of ex-haust gases of diesel engines, agricultural technology // Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 2019. – № 50(5). – P. 1259-1268.

2. Аль-Майди А.А.Х., Чернецов Д.А., Родионов Ю.В., Селиванова П.И. Перспективы переоборудования сельскохозяйственных дизельных машин на газомоторное топливо // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2017. – №4 (66). – С. 200-206.

3. Ефремов С.Б., Гусев В.Г. Газомоторный опыт // Агротехника и технологии, 2015. – № 5. – С. 50-54.

4. Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В., Коклин И.М. Использование природного газа в качестве моторного топлива для сельскохозяйственной техники // Транспорт на альтернативном топливе, 2014. – № 1 (37). – С. 40-52.

5. А.А. Кадысева, Р.М. Гильмутдинов, А.С. Тарапатова, В.В. Токарев, С.А. Безухова. Влияние температуры на анаэробное сбраживание органического субстрата // Вестник Омского государственного аграрного университета, 2013. – № 3(11). – С. 35-38.

6. Байбурский В., Паслен В., Шаповалов В. Биоэнергетика. Альтернативные энергетические системы: теперь и в России // The Chemical Journal. – 2007. – № 5. – С. 44-48.

7. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

References

1. Al-Maidi A.A.H., Chernetsov D.A., Vdovina E.S. Study of a combined device to reduce the toxicity of ex-haust gases of diesel engines, agricultural technology // Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 2019. – № 50(5). – P. 1259-1268.

2. Al'-Majdi A.A.H., Chernecov D.A., Rodionov Ju.V., Selivanova P.I. Perspektivy pereoborudovanija sel'skohozjajstvennyh dizel'nyh mashin na gazomotornoe toplivo // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo, 2017. – №4 (66). – S. 200-206.

3. Efremov S.B., Gusev V.G. Gazomotornyj opyt // Agrotehnika i tehnologii, 2015. – № 5. – S. 50-54.

4. Savel'ev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Koklin I.M. Ispol'zovanie prirodnogo gaza v kachestve motornogo topliva dlja sel'skohozjajstvennoj tehniki // Transport na al'ternativnom toplive, 2014. – № 1 (37). – S. 40-52.

5. A.A. Kadyseva, R.M. Gil'mutdinov, A.S. Tarapatova, V.V. Tokarev, S.A. Bezuhova. Vlijanie temperatury na anajerobnoe sbrazhivanie organicheskogo substrata // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2013. – № 3(11). – S. 35-38.

6. Bajburskij V., Paslen V., Shapovalov V. Biojenergetika. Al'ternativnye jenergeticheskie sistemy: teper' i v Rossii // The Chemical Journal. – 2007. – № 5. – S. 44-48.

7. GOST R 17.4.3.07-2001. Ohrana prirody. Pochvy. Trebovanija k svojstvam osadkov stochnyh vod pri ispol'zovanii ih v kachestve udobrenij. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2001. – 10 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Якунина Ирина Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: yakunina-iv@mail.ru.

Галкин Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: arhsit@nnn.tstu.ru.

Милосердов Алексей Михайлович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: aleksej.miloserdov.96@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Romantsova Svetlana – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R.

Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Yakunina Irina – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: yakunina-iv@mail.ru.

Galkin Pavel – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: arhsit@nnn.tstu.ru.

Alexey Miloserdov – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: aleksej.miloserdov.96@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 28.08.2020 Принята к публикации (Accepted): 22.10.2020

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 31.10.2020. Заказ № 39.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 12,3 усл. печ. л. Тираж 100 экз.