ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2023 № 3 (63)

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

«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

№ 3 (63), 2023 г.

Основан в 2012 г. It is based in 2012.

Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

Учредитель и издатель журнала:

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

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 «Организации и технологии гидромелиоративных и строительных работ» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, профессор

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – заведующий отделом научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК ФГБНУ «Росинформагротех», доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Московской области

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

КАРТОШКИН Александр Петрович – профессор кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – главный научный сотрудник лаборатории хранения и защиты техники от коррозии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор химических наук, доцент

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

КОРНЕВ АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ – заместитель главного редактора, ведущий научный сотрудник лаборатории использования моторного топлива с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

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

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – главный редактор, заместитель директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

ОРОБИНСКИЙ Владимир Иванович – декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – заместитель главного редактора, исполняющий обязанности директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

САФОНОВ Валентин Владимирович – профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В.Вавилова», доктор технических наук, профессор

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

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

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2023

«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
№ 3 (63), 2023 г.

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

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

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

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

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

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

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

НАГОРНОВ Станислав Александрович – главный научный сотрудник лаборатории использования моторного топлива ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

ЧЕРНИКОВ Дмитрий Вячеславович – ведущий программист ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

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: Машков А.Н.; заместитель главного редактора: Корнев А.Ю.
№3 (63). Дата выхода в свет 30.06.2023. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.
Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская обл., г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.
Печатное издание журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

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

Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСХОДНОЙ ЗАСОРЕННОСТИ ЗЕРНОСМЕСИ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЗАГРУЗКИ ТРИЕРА И ПАРАМЕТРАМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КОРОБОВ 7

Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В.
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОЗИРОВАНИЯ ПРИМЕСНОГО КОМПОНЕНТА ЛЕНТОЧНЫМ ПИТАТЕЛЕМ 17

Ожерельев В.Н., Сомин В.В.
СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕРЕКАТЫВАНИЮ КОЛЕС УБОРОЧНОЙ ТЕЛЕЖКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ТИПОРАЗМЕРА И АГРОФОНА.....24

Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О.
ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ПОЛИВЕ ДМ «КУБАНЬ-ЛК1» УЧАСТКОВ НА СЛОЖНОМ РЕЛЬЕФЕ..... .32

Балашов А.В., Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В.
К ОБОСНОВАНИЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ СЕЯЛКИ 40

Ведищев С.М., Хольшев Н.В., Прохоров А.В., Глазков А.Ю., Выгузов М.Е.
ОТБОР ПРОБ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ.....48

Михеев Н.В., Козюков А.В.
РЫХЛЕНИЕ ПОЧВЫ ПЕРЕД РАБОТОЙ СВЕКЛОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ.....57

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

Киров Ю.А., Блинков Р.А.
ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ В ДЕКАНТЕРЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМА ЖИВОТНЫМ.....63

Родионов Ю.В., Данилин С.И., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Волокитин А.А.
ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ПОДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ.....72

Смирнов Д.Н., Чернопятова С.А., Малютин А.И., Панов С.Ю.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОСТИ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....87

Шувалов А.М., Машков А.Н., Попов М.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЕ В ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩЕМ ВАРОЧНОМ КОТЛЕ 94

Никитин Л.А., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б.
ТЕХНОЛОГИЯ РАЗДАЧИ ЖИДКОГО КОРМА НА ОСНОВЕ ШТАНГОВОГО РАЗДАТЧИКА 101

ФИЗИЧЕСКОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ, РОБОТИЗИРОВАННЫХ И БИОМАШИНЫХ СИСТЕМ

Ерохин Г.Н., Коновский В.В., Першин И.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ЗЕРНОУБОРОЧНЫМИ КОМБАЙНАМИ НА УБОРКЕ СОИ 109

Пятибрат М.А., Балабанов В.И.
СИМУЛЯТОР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ 118

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

Князева Л.Г., Курьято Н.А., Дорохов А.В., Брыксина В.А.
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ 131
Романцова С.В., Гладышева И.В., Вервекина Н.В., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П.
ЭКСПРЕСС-СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ 143
Малютин А.И., Татаренков Е.А., Панов С.Ю., Гасанов З.С.
МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО МАСЛА ПО НАКОПЛЕНИЮ НЕРАСТВОРИМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ..... 153

CONTENTS

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

Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovich S.
MODELING OF THE INITIAL POLLUTION OF THE GRAIN MIX BY THE LOADING OF THE TRIERE AND THE PARAMETERS OF THE DISTRIBUTION BOXES 7

Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovich S.
EVALUATION OF THE QUALITY OF DOSING OF THE IMPURITY COMPONENT BY A BELT FEEDER 17

Ozherelev V., Somin V.
RESISTANCE TO ROLLING OF WHEELS OF A HARVEST TROLLEY DEPENDING ON THEIR SIZE AND AGROPHONE 24

Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A.
ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF THE SOIL WHEN WATERING DM «KUBAN-LK1» ON SLOPING AREAS 32

Balashov A., Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V.
INVESTIGATION OF CONTROLLED PARAMETERS OF THE SEEDING APPARATUS OF AN ELECTRIFIED SEEDER 40

Vedishchev S., Holshev N., Prokhorov A., Glazkov A., Vyguzov M.
SAMPLING WHEN ASSESSING THE QUALITY OF MIXING 48

Mikheyev N., Kozyukov A.
LOOSENING THE SOIL BEFORE THE WORK OF BEET HARVESTERS 57

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

Kirov Yu., Blinkov R.
DEHYDRATION OF BEER PELLETS IN A DECANTER FOR ANIMAL FEED PREPARATION 63

Rodionov Y., Danilin S., Lomovskih A., Sviridov A., Volokitin A.
TECHNOLOGY OF PREPARATION AND SUPPLY OF COMPLEX FUEL TO IMPROVE THE OPERATIONAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINES OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT 72

Smirnov D., Chernopjatova S., Malyutin A., Panov S.
MATHEMATICAL MODEL OF THE EFFICIENCY OF REPAIR OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT 87

Shuvalov A., Mashkov A., Popov M.
USE OF SEMICONDUCTOR PELTIER ELEMENTS IN A GAS-USED BOILER 94

Nikitin L., Nikiforov V., Simonov G., Filippova O.
TECHNOLOGY FOR DISTRIBUTION OF LIQUID FODDER BASED ON A ROD DISPENSER 101

PHYSICAL, MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING MECHANIZED, AUTOMATED, ROBOTIC AND BIOMACHINE SYSTEMS

Erokhin G., Konovskiy V., Perchin I.
MODELING OF FUEL CONSUMPTION BY COMBINE HARVESTERS FOR SOYBEAN HARVESTING 109

Pyatibrat M., Balabanov V.
VIRTUAL REALITY SIMULATOR OF RECLAIM WOR 118

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

Knyazeva L., Kur`yato N., Dorokhov A., Bryksina V.
ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS FOR CORROSION PROTECTION..... 131
Romantsova S., Gladysheva I., Vervekina N., Nagornov S., Lixutina A.
EXPRESS METHOD FOR DETERMINATION OF BIODIESEL FUEL IN MIXED FUEL BY THIN LAYER CHROMATOGRAPHY 143
Malyutin A., Tatarenkov E., Panov S., Gasanov Z.
MONITORING OF ENGINE OIL QUALITY BY ACCUMULATION OF INSOLUBLE MECHANICAL IMPURITIES 153

Тип статьи: научная
УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-7-16

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСХОДНОЙ ЗАСОРЕННОСТИ ЗЕРНОСМЕСИ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЗАГРУЗКИ ТРИЕРА И ПАРАМЕТРАМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КОРОБОВ

Николай Петрович Тишанинов [1], Александр Витальевич Анашкин [2], Сергей Владимирович Емельянович [3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Витальевич Анашкин, av-anashkin@mail.ru
Corresponding author: Alexander Anashkin, av-anashkin@mail.ru

Реферат. *Выполнены исследования качества дозирования примесного компонента при малых режимах загрузки экспериментального триера и малой исходной засоренности длинной примесью с помощью трех распределительных коробов с размерами: 600×14×13 мм; 600×24×13 мм; 600×24×21 мм. Установлены показатели качества дозирования – среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации для единичных, парных, тройных, четверных и пятерных выгрузок распределительных коробов, характеризующих требуемую погонную плотность распределения примесного компонента на ленте питателя. Установлено, что применение указанных коробов обеспечивает высокую стабильность дозирования. Коэффициент вариации при разных условиях их загрузки не превышает 4,75 %. Заполнение коробов с размерами 600×14×13 мм со встряхиванием примеси обеспечивает более высокое качество дозирования: среднеквадратическое отклонение ниже на 18,9 – 47,32 %, коэффициент вариации – на 23,96 – 49,45 % для разной кратности выгрузки коробов при формировании линейной плотности примесного слоя на ленте. На основе выполненных расчетов установлен ряд модельных составов зерносмесей, обеспечивающих для подачи 1,2 т/ч вариативность исходной засоренности в диапазоне 0,46 – 6,65 %; для подачи 1,83 т/ч диапазон исходной засоренности 0,3 – 4,3 %; для подачи 2,45 т/ч диапазон исходной засоренности 0,22 – 3,25 %; для подачи 3,07 т/ч диапазон исходной засоренности 0,18 – 2,6 %; для подачи 3,71 т/ч диапазон исходной засоренности 0,15 – 2,15 %; для подачи 4,35 т/ч диапазон исходной засоренности 0,125 – 1,8 %. Для каждого диапазона исходной засоренности распределительные короба малого поперечного сечения обеспечивают 20 интервальных значений с минимальным шагом, что позволяет качественно управлять экспериментом при использовании зерносмеси с малыми значениями засоренности зерносмеси и производительности триера.*

Ключевые слова: *экспериментальный триер, зерносмесь, примесный компонент, исходная засоренность, дозирование, качество, моделирование.*

MODELING OF THE INITIAL POLLUTION OF THE GRAIN MIX BY THE LOADING OF THE TRIERE AND THE PARAMETERS OF THE DISTRIBUTION BOXES

Nikolai Tishaninov [1], Alexander Anashkin [2], Sergey Emelyanovich [3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Abstract. *Investigation of the dosing quality of the impurity component at low loading conditions of the experimental trier and low initial clogging with a long impurity using three distribution boxes with dimensions: 600 × 14 × 13 mm; 600×24×13 mm; 600×24×21 mm are made. Dosing quality indicators - the standard deviation and the coefficient of variation for single, pair, triple, quadruple and five*

distributing boxes, characterizing the required linear density of the distribution of the impurity component on the feeder belt, have been established. It has been established that the use of these boxes provides high dosing stability. The coefficient of variation under different conditions of their loading does not exceed 4.75%. Filling boxes with dimensions of 600×14×13 mm with shaking of impurities provides a higher quality of dosing: the standard deviation is lower by 18.9 - 47.32%, the coefficient of variation is by 23.96 - 49.45% for different frequency of unloading boxes at formation of the linear density of the impurity layer on the tape. A number of model compositions of grain mixtures, providing for the supply of 1.2 t / h, the variability of the initial contamination in the range of 0.46 - 6.65%; for the supply of 1.83 t/h, the range of initial contamination is 0.3 - 4.3%; for the supply of 2.45 t/h, the range of initial contamination is 0.22 - 3.25%; for the supply of 3.07 t/h, the range of initial contamination is 0.18 - 2.6%; for the supply of 3.71 t/h, the range of initial contamination is 0.15 - 2.15%; for the supply of 4.35 t/h, the range of initial contamination is 0.125 - 1.8%. established on the basis of the performed calculations. Distribution boxes of small cross section provide 20 interval values with a minimum step for each range of initial contamination, which allows you to qualitatively control the experiment when using a grain mixture with low values of contamination of the grain mixture and productivity of the trier.

Keywords: *experimental trier, grain mixture, impurity component, initial contamination, dosing, quality, modeling.*

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Моделирование исходной засоренности зерносмеси по величине загрузки триера и параметрам распределительных коробов // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 7-16. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-7-16.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A., Emelyanovisch S. Modeling of the initial pollution of the grain mix by the loading of the triere and the parameters of the distribution boxes. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 7-16. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-7-16.

Введение. Серийно выпускаемые триеры и триерные блоки [1–4] имеют существенные ограничения эффективности использования по показателям производительности и качества технологического процесса [5–7]. Совершенствование триерных технологий возможно лишь на основе глубоких исследований взаимосвязей качественных показателей процесса триерной очистки зерна с настроечными и режимными параметрами работы триера [8, 9]. Однако таких исследований крайне мало из-за недостатков существующих методов и средств экспериментальных исследований [10]. В частности, возникают сложности в обеспечении воспроизводимости экспериментов по стабильности состава исследуемой зерносмеси в течение времени опытов. При использовании бункерных питателей это условие обеспечить невозможно из-за сегрегации компонентов зерносмеси при опорожнении бункера – концентрация примесного компонента во время опыта изменяется в несколько раз [11, 12]. Для исключения указанного недостатка нами предложен экспериментальный триер [13], в котором реализована раздельная подача компонентов зерносмеси. Длинная примесь подается с помощью ленточного транспортера. Однако, для обеспечения условий опытов с невысокими значениями $З_и$ и W необходимы дополнительные исследования качества дозирования примесного компонента с помощью распределительных коробов малого поперечного сечения при разных условиях их заполнения.

Материалы и методы. Исследования проводили с помощью частной методики оценки погрешности дозирования примесного компонента с использованием распределительных коробов длиной 600 мм и малыми размерами поперечных сечений: 14 × 13 мм, 24 × 13 мм и 24 × 21 мм, рисунок 1.

Оценку качества дозирования производили в следующем порядке. Поочередно каждый из распределительных коробов заполняли примесным компонентом 25 раз, выгружали опрокидыванием и взвешивали с точностью до сотых долей грамма. Затем по пяти первым взвешиванием с использованием общепринятой методики [14, 15] определяли показатели качества дозирования – среднеквадратическое отклонение (σ) и коэффициент вариации (v).

Рисунок 1 – Общий вид распределительных коробов

Далее, предполагая набирать необходимую погонную плотность распределения примесного компонента на ленте питателя числом выгрузок (от одной до пяти) соответствующих распределительных коробов производили оценки σ и *v* по парным, тройным, четверным и пятерным выгрузкам применительно к каждому из 3-х числовых рядов из 25-ти взвешиваний. Заполнение распределительных коробов производили свободнонасыпным способом и со встряхиванием. Лишние частицы примеси удаляли с распределительных коробов плоским разравнивателем, рисунок 2.

Рисунок 2 – Заполнение распределительных коробов примесью

Результаты и их обсуждение. Принципиальное отличие исследований качества дозирования примесного компонента в указанных выше условиях реализации технологического процесса заключается в том, что для распределения примесного компонента на ленте питателя используются распределительные короба малого сечения с днищем и возможностью опорожнения опрокидыванием. Такой вариант не мог быть использован при больших дозировках примесей, так как опрокидывание распределительных коробов с площадью поперечного сечения 42 см^2 привело бы к большим технологическим потерям на ленте питателя шириной 180 мм. Более того, такой способ распределения примесного компонента на ленте при больших дозировках существенно снижал бы показатель равномерности распределения.

Вторым принципиальным отличием оценки качества дозирования примесного компонента при малых режимах загрузки триера и малой исходной засоренности зерносмеси заключается в том, что из суммарной погрешности процесса дозирования исключены две составляющие – погрешность контроля времени и погрешность реакции оператора на звуковой сигнал. Они не характеризуют реальный технологический процесс, который является непрерывным и дозировка примесного компонента в нем зависит только от качества распределения примесного слоя на ленте питателя.

Исключенные составляющие суммарной погрешности характерны для традиционного метода оценки качества дозирования, когда качество процесса не предопределено подготовительными работами, когда не вполне ясны источники формирования суммарной погрешности отводимого

потока рабочей среды, когда к показателям равномерностей отводимого потока не предъявляются высокие требования.

При исследовании качества работы ленточного питателя, когда используются распределительные короба без днища с большим поперечным сечением опасения за качество дозирования рабочей среды не возникают даже при традиционном методе его оценки. Результаты исследований показали, что независимо от погрешности отсчета времени и реакции оператора на звуковой сигнал суммарная погрешность при максимальной загрузке ленты питателя не выходит за допустимые пределы – она не превышает 5%. Это достаточный уровень для исследования процесса дозирования примесного компонента.

Другим основанием для использования традиционного метода оценки качества дозирования отводимых потоков рабочей среды является знание зависимости оценочных показателей от интервалов времени контроля отбираемых проб. Это взаимосвязь обратная – чем меньше интервал времени отбора проб, тем выше показатели неравномерности. Поэтому она может быть учтена и выделена из суммарной.

В реальных технологических процессах интервалы времени контроля навесок при оценке неравномерности материальных потоков обосновываются. Например, для конкретного рабочего органа кормораздающих машин ориентиром выбора интервала времени замеров навесок будет норма выдачи корма конкретному животному согласно технологическому регламенту. Аналогичные подходы используются при назначении интервалов времени контроля отбираемых навесок рабочей среды при исследовании питателей, включенных в состав расфасовочных технологических линий в пищевой промышленности, в производстве промышленных материалов и др. Чаще всего в этих технологиях используется объемный способ дозирования при расфасовке материалов, а после нее проводится весовой контроль с указанием его результатов и цены на упаковке.

Исследуемый ленточный питатель используется для раздельной подачи примесного компонента в зерносмесь при изучении ячеистых поверхностей. Для этого процесса характерен длительный промежуток времени стабилизации по основным характеристикам, а отбор проб по оценке остаточной засоренности зерна производится после стабилизации процесса и не имеет жесткого регламента по времени. Поэтому выбранный способ оценки качества дозирования примесного компонента в зерносмесь, когда источником погрешности является только качество распределения примесного слоя на ленте питателя, является приемлемым.

Особенностями методики оценки равномерности дозирования примесного компонента ленточным питателем на малых дозировках является следующее: используются короба длиной 0,6 м с днищем; разгрузка их производится опрокидыванием; короба имеют вариативность по параметрам сечения (ширина × высота) – 14 × 13 мм, 24 × 13 мм, 24 × 21 мм. Состав сечений коробов выбран с тем, чтобы расширить диапазон моделирования дозировок примесного компонента в зерносмесь на малых режимах загрузки.

Моделируемые варианты дозировки примесного компонента в зерносмесь на малых режимах подачи основной культуры могут быть реализованы кратной разгрузкой конкретного короба на одном и том же участке ленты питателя. Этот подход упрощает методику исследований.

Качество дозирования при формировании слоя примеси на ленте коробами сечением 14×13 мм оценивали по вариативности массы примеси в коробах, таблица 1.

Для оценки качества дозирования единичными выгрузками на участок ленты определено среднее значение масс пяти навесок $\bar{m}_{n_1} = 45,51 г$, среднеквадратическое отклонение (σ_1) по формуле (1) и коэффициент вариации (ν_1) по формуле (2):

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(m_{n_i} - \bar{m}_n)^2}{5}} = 2,16\ г\ ; \quad (1)$$

$$\nu_1 = \sigma_1 / \bar{m}_n \times 100\% = 4,75\% \quad (2)$$

где i – 1; 2; 3; 4; 5; m_{n_i} – масса примеси в i-м коробе, г.

Таблица 1 – Замеры масс примеси в коробах $l_к$ = 600 мм; $b_к$ = 14 мм; $h_к$ = 13 мм при их свободнонасыпном заполнении

Масса примеси по номерам коробов, г													
№ зам.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_п$, г	45,04	43,6	49,47	43,61	45,85	43,89	43,31	44,16	44,44	42,92	42,06	40,92	49,98
№ зам.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
$m_п$, г	43,65	39,18	40,61	39,47	46,22	42,33	42,11	44,31	42,96	42,99	40,91	43,64	

Для оценки качества дозирования попарными выгрузками на участок ленты определены значения их масс: $m_{n_1}+m_{n_2}=88,64\,г$; $m_{n_3}+m_{n_4}=93,08\,г$; $m_{n_5}+m_{n_6}=89,74\,г$; $m_{n_7}+m_{n_8}=87,47\,г$; $m_{n_9}+m_{n_{10}}=87,36\,г$.

Среднее значение для попарных масс определяется по формуле:

$$\bar{M}_{n_2}=\sum_{i=1}^{9}(m_{n_i}+m_{n_{i+1}})/5=89,26\,г \qquad (3)$$

где i – нечетные числа;

Среднеквадратическое отклонение для попарных масс (σ_2) определяется по формуле (4), коэффициент вариации (ν_2) – по формуле (5).

$$\sigma_2=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(M_{n_{i_2}}-\bar{M}_{n_2})^2}{5}}=2,10\,г \qquad (4)$$

$$\nu_2=\sigma_2/\bar{M}_{n_2}\times 100\%=2,35\% \qquad (5)$$

Далее определены показатели дозирования тройными массами:

$m_{n_1}+m_{n_2}+m_{n_3}=138,11г$; $m_{n_4}+m_{n_5}+m_{n_6}=133,35г$; $m_{n_7}+m_{n_8}+m_{n_9}=131,91г$;

$m_{n_{10}}+m_{n_{11}}+m_{n_{12}}=125,9\,г$; $m_{n_{13}}+m_{n_{14}}+m_{n_{15}}=132,81г$.

Среднее значение для тройных масс определяется по формуле (6), среднеквадратическое отклонение (σ_3) – по формуле (7), коэффициент вариации (ν_3) – по формуле (8).

$$\bar{M}_{n_3}=\sum_{j=1}^{13}(m_{n_j}+m_{n_{j+1}}+m_{n_{j+2}})/5=132,42\,г; \qquad (6)$$

где j – числа ряда – 1; 4; 7; 10; 13.

$$\sigma_3=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(M_{n_{i_3}}-\bar{M}_{n_3})^2}{5}}=3,90\,г; \qquad (7)$$

$$\nu_3=\sigma_3/\bar{M}_{n_3}\times 100\%=2,95\%. \qquad (8)$$

Аналогично определены показатели дозирования четверными массами: $m_{n_1}+m_{n_2}+m_{n_3}+m_{n_4}=181,72г$; $m_{n_5}+m_{n_6}+m_{n_7}+m_{n_8}=177,2$ $m_{n_9}+m_{n_{10}}+m_{n_{11}}+m_{n_{12}}=170,34\,г$; $m_{n_{13}}+m_{n_{14}}+m_{n_{15}}+m_{n_{16}}=173,42\,г$; $m_{n_{17}}+m_{n_{18}}+m_{n_{19}}+m_{n_{20}}=170,13г$.

Среднее значение для четверных масс определяется по формуле (9), среднеквадратическое отклонение (σ_4) – по формуле (10), коэффициент вариации (ν_4) – по формуле (11).

$$\bar{M}_{n_4}=\sum_{i=1}^{17}(m_{n_i}+m_{n_{i+1}}+m_{n_{i+2}}+m_{n_{i+3}})/5=174,56\,г; \qquad (9)$$

где i – числа ряда – 1; 5; 9; 13; 17.

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(M_{n_{i_4}} - \bar{M}_{n_4})^2}{5}} = 4,41\ г; \quad (10)$$

$$\nu_4 = \sigma_4 / \bar{M}_{n_4} \times 100\% = 2,52\ \%. \quad (11)$$

Для пятерных масс получены следующие результаты: $m_{n_1} + m_{n_2} + m_{n_3} + m_{n_4} + m_{n_5} = 227,57\ г$; $m_{n_6} + m_{n_7} + m_{n_8} + m_{n_9} + m_{n_{10}} = 218,72\ г$; $m_{n_{11}} + m_{n_{12}} + m_{n_{13}} + m_{n_{14}} + m_{n_{15}} = 215,79\ г$; $m_{n_{16}} + m_{n_{17}} + m_{n_{18}} + m_{n_{19}} + m_{n_{20}} = 210,74\ г$; $m_{n_{21}} + m_{n_{22}} + m_{n_{23}} + m_{n_{24}} + m_{n_{25}} = 214,81\ г$.

Среднее значение для пятерных масс определяется по формуле (12), среднеквадратическое отклонение (σ_5) – по формуле (13), коэффициент вариации (ν_5) – по формуле (14).

$$\bar{M}_{n_5} = \sum_{i=1}^{21}(m_{n_i} + m_{n_{i+1}} + m_{n_{i+2}} + m_{n_{i+3}} + m_{n_{i+4}}) / 5 = 217,53\ г; \quad (12)$$

где i – числа ряда – 1; 6; 11; 16; 21.

$$\sigma_5 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(M_{n_{i_5}} - \bar{M}_{n_5})^2}{5}} = 5,64\ г; \quad (13)$$

$$\nu_5 = \sigma_5 / \bar{M}_{n_5} \times 100\% = 2,59\ \%. \quad (14)$$

Аналогичные замеры масс примеси были произведены для коробов с размерами $l_к$ = 600 мм; $b_к$ = 14 мм; $h_к$ = 13 мм (таблица 2); $l_к$ = 600 мм; $b_к$ = 24 мм; $h_к$ = 13 мм (таблица 3); $l_к$ = 600 мм; $b_к$ = 24 мм; $h_к$ = 21 мм (таблица 4) при их заполнении со встряхиванием.

Таблица 2 – Замеры масс примеси в коробах $l_к$ = 600 мм; $b_к$ = 14 мм; $h_к$ = 13 мм при их заполнении со встряхиванием

Масса примеси по номерам коробов, г													
№ зам.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_п$, г	47,94	46,68	46,02	47,37	48,97	48,98	47,16	47,66	47,34	48,45	48,74	48,60	48,40
№ зам.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
$m_п$, г	48,28	47,53	49,32	49,34	46,73	49,26	48,80	47,02	48,22	46,75	46,32	47,44	

Таблица 3 – Масса примеси в коробах $l_к$ = 600 мм; $b_к$ = 24 мм; $h_к$ = 13 мм при их заполнении со встряхиванием

Масса примеси по номерам коробов, г													
№ зам.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_п$, г	72,01	70,95	70,17	73,98	71,24	71,41	73,52	71,42	72,61	71,24	71,95	71,53	71,12
№ зам.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
$m_п$, г	74,34	73,63	71,23	73,94	72,90	72,40	71,87	70,71	72,19	72,39	73,56	69,82	

Таблица 4 – Масса примеси в коробах $l_к$ = 600 мм; $b_к$ = 24 мм; $h_к$ = 21 мм при их заполнении со встряхиванием

Масса примеси по номерам коробов, г													
№ зам.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_п$, г	132,4	133,5	127,9	131,7	134,6	133,4	135,1	134,7	132,3	136,6	133,1	134,2	135,8
№ зам.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
$m_п$, г	135,5	137,3	133,5	134,6	129,8	128,7	128,3	129,1	128,7	128,7	135,6	129,6	

Расчеты статистических показателей проводили по формулам (1) – (14).

Сводные результаты исследований качества дозирования примеси представлены в таблице 5

Таблица 5 – Показатели качества дозирования примесного компонента

Кратность линейной плотности слоя	Размеры короба (способ заполнения)											
	14x13 (без встряхивания)			14x13 (со встряхиванием)			24x13 (со встряхиванием)			24x21 (со встряхиванием)		
	$\bar{M}_n$	σ	ν	$\bar{M}_n$	σ	ν	$\bar{M}_n$	σ	ν	$\bar{M}_n$	σ	ν
1	45,51	2,16	4,75	47,40	1,14	2,40	71,67	1,45	2,02	132,02	2,55	1,93
2	89,26	2,1	2,35	95,31	1,70	1,79	143,71	0,92	0,64	266,44	4,09	1,53
3	132,42	3,9	2,95	143,62	2,18	1,52	216,22	2,34	1,08	401,62	5,45	1,36
4	174,56	4,41	2,52	192,31	2,46	1,28	288,69	1,88	0,65	532,60	8,75	1,64
5	217,53	5,64	2,59	239,46	3,17	1,32	360,43	1,98	0,55	662,94	10,62	1,60

Результаты исследований показали, что заполнение малых коробов (сечение *14×13* мм) со встряхиванием примеси обеспечивает более высокий качественный уровень дозирования: по стандартному отклонению выше на 18,9 – 47,32 %; по коэффициенту вариации – на 23,96 – 49,45 %.

Расчетная масса подачи примеси ($m_{пр}$) ленточным питателем в триер определялась по формуле:

$$m_{пр} = V_л t_п \bar{q}_{l_{ij}} = V_л t_п \overline{M}_{п_{ij}} к_i / l_{кi}, \quad (15)$$

где $V_л$ – скорость ленты питателя, м/с;

$t_п$ – время подачи, с;

$\bar{q}_{l_{ij}}$ – средняя погонная масса примеси на ленте, сформированная *i*-ым распределительным коробом с *j*-ым способом его заполнения, кг/м.п.;

$\overline{M}_{п_{ij}}$ – средняя масса примеси в *i*-ом распределительном коробе при *j*-ом способе его заполнения, кг;

$к_i$ – кратность выгрузки примеси на ленту из *i*-го распределительного короба, раз;

$l_{кi}$ – длина *i*-го распределительного короба, м.

При наличии расчетных данных по секундной подаче основной культуры в триер (целесообразно принять $t_п$ = 1 с) исходная засоренность зерносмеси ($З_и$) для вариативного формирования примесного слоя на ленте питателя будет рассчитываться по формуле:

$$З_и = (m_{пр} / W) \times 100\% \quad (16)$$

Результаты моделирования исходной засоренности представлены в таблице 6.

По таблице 6 подбирали вариант распределения примеси на ленте питателя с использованием распределительных коробов с малыми размерами поперечных сечений.

Например, для малой подачи основной культуры (W = 1,2 т/ч) необходимо обеспечить исходную засоренность на уровне $З_и$ = 1%. Для этого подходит распределительный короб с размерами поперечного сечения $b_к$ = 14 мм и $h_к$ = 13 мм при его заполнении со встряхиванием и 2-х кратной выгрузкой на один участок ленты длиной 600 мм.

Таблица 6 – Результаты моделирования исходной засоренности зерносмеси ($З_и$), %

№ п/п	Сечение короба ($b_к$×$h_к$), мм	Способ заполнения	Кратность выгрузки (к), раз	Подача основной культуры в триер (W), т/ч (кг/с)					
				1,20 (0,33)	1,83 (0,51)	2,45 (0,68)	3,07 (0,85)	3,71 (1,03)	4,35 (1,21)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	14×13	Свободно-насыпной	1	0,46	0,3	0,22	0,18	0,15	0,125
			2	0,92	0,6	0,44	0,36	0,30	0,25
			3	1,38	0,9	0,66	0,54	0,45	0,375
			4	1,84	1,2	0,88	0,72	0,60	0,500
			5	2,3	1,5	1,1	0,90	0,75	0,625
2	14×13	со встряхиванием	1	0,48	0,31	0,23	0,19	0,153	0,13
			2	0,96	0,62	0,46	0,38	0,306	0,26
			3	1,44	0,93	0,69	0,57	0,459	0,39
			4	1,92	1,24	0,92	0,76	0,612	0,52
			5	2,4	1,55	1,15	0,95	0,765	0,65
3	24×13	со встряхиванием	1	0,72	0,47	0,35	0,28	0,232	0,20
			2	1,44	0,94	0,70	0,56	0,464	0,40
			3	2,16	1,41	1,05	0,84	0,696	0,60
			4	2,88	1,88	1,40	1,12	0,928	0,80
			5	3,6	2,35	1,75	1,40	1,16	1,00
4	24×21	со встряхиванием	1	1,33	0,86	0,65	0,52	0,43	0,36
			2	2,66	1,72	1,3	1,04	0,86	0,72
			3	3,99	2,58	1,95	1,56	1,29	1,08
			4	5,32	3,44	2,6	2,08	1,72	1,44
			5	6,65	4,3	3,25	2,6	2,15	1,8

Он обеспечит близкую к требуемой исходной засоренность – 0,96%. Для эксперимента целочисленное значение исследуемых факторов не столь важно. По результатам исследований, приведенным выше, выбранный распределительный короб обеспечит при $\overline{M}_{п2}$ = 95,31 г величины σ_2 = 1,70%, ν_2 = 1,79%. Это очень высокий результат, который нельзя обеспечить по традиционной методике с контролем интервалов времени замеров навесок и подачей звукового сигнала.

Выбранные навески примеси оператор размещает на ленте питателя по разметке на боковых буртиках и производит поперечное смещение соседних выгрузок с тем, чтобы сохранять продольную привязку навесок, исключая наложение стыков, рисунок 3.

Рисунок 3 – Размещение навесок примеси на ленте питателя

Выводы. Использование распределительных коробов с малыми размерами поперечных сечений позволяют моделировать значения исходной засоренности зерносмеси на минимальных подачах основной культуры с высокой точностью, которая достигается исключением погрешностей отсчета времени и подачи сигнала, характерных для традиционных методик.

Список источников

1. Федоренко, В.Ф. Зерноочистка – состояние и перспективы / В.Ф. Федоренко, Е.П. Ревякин. – М.: ФГНУ Росинформагротех. – 2006. – 204 с.

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

3. Приставка триерная ПТ-600. Руководство по эксплуатации. ОЗТ 00.000РЭ. – ОАО «Воронежсельмаш». – 2004. – 42 с.

4. Блоки триерные БТМ-800-8Б и БТО-800-16. Триеры цилиндрические ТК-800-8 и ТО-800-8. Руководство по эксплуатации. БТМ 00.000В РЭ. – ЗАО «Техника-Сервис». – Воронеж. – 2016. – 53 с.

5. Бурков, А.И. Модернизация цилиндрических триеров / А.И. Бурков, Д.В. Одинцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 1. – С. 15-16.

6. Абидуев, А.А. Интенсификация процесса сепарации семенного зерна / А.А. Абидуев. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА. – 2007. – 131 с.

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

8. Одинцов, Д.В. Пути совершенствования конструкции овсюжного триерного цилиндра / Д.В. Одинцов // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. Межвузовский сборник научных трудов. – Киров. Вятская ГСХА. – 2005. – Вып. 5. – С. 128-132.

9. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей // Наука в центральной России. – 2014. – № 6 (12). – С. 28-38.

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

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

12. Анашкин А.В. Методические особенности экспериментальных исследований процесса сегрегации зерносмесей при истечении из технологических емкостей / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК. Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции. 2019. С. 87-91.

13. Тишанинов Н.П., Емельянович С.В. Обоснование параметров ленточного питателя для подачи примеси в экспериментальный триер // Наука в центральной России. − 2023. − № 1 (61). – С. 5-13.

14. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос. – 1973. – 199 с.

15. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. - Л. Колос, 1972. - 202 с.

References

1. Fedorenko, V.F. Grain cleaning - state and prospects / V.F. Fedorenko, E.P. Revyakin. – M.: FGNU Rosinformagrotech. - 2006. - 204 p.

2. Cylinder separators ST series. Voronezhselmash operation manual. [Electronic resource] / Access mode: http: //vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2 /Seporatory+ST/

3. Trier prefix PT-600. Manual. OST 00.000RE. - OAO "Voronezhselmash". - 2004. - 42 p.

4. Trier blocks BTM-800-8B and BTO-800-16. Triremes cylindrical TK-800-8 and TO-800-8. Manual. BTM 00.000V RE. – CJSC Tekhnika-Service. - Voronezh. - 2016. - 53 p.

5. Burkov, A.I. Modernization of cylindrical triers / A.I. Burkov, D.V. Odintsov // Tractors and agricultural machines. - 2007. - No. 1. - S. 15-16.

6. Abiduev, A.A. Intensification of the separation process of seed grain / A.A. Abiduev. - Ulan-Ude: Publishing house of BSHA. - 2007. - 131 p.

7. Urkhanov, N.A. Intensification of the technological process of cleaning grain from impurities along their length: dis. … doctor of tech. Sciences: 05.20.01 / Urkhanov N.A. - Ulan-Ude, 1998. - 472 p.

8. Odintsov, D.V. Ways to improve the design of the oatmeal trier cylinder / D.V. Odintsov // Improving the operational performance of agricultural energy. Interuniversity collection of scientific papers. - Kirov. Vyatka GSHA. - 2005. - Issue. 5. - S. 128-132.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Theoretical prerequisites for the search for reserves to control the processes of screen cleaning of grain mixtures // Science in Central Russia. - 2014. - No. 6 (12). - S. 28-38.

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

11. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. New reserves of grain cleaning quality management / In the collection: Scientific and technological progress in agricultural production. Materials of the international scientific and technical conference: in 3 volumes. - 2014. - S. 266-272.

12. Anashkin A.V. Methodological features of experimental studies of the process of segregation of grain mixtures when flowing out of technological tanks / In the collection: Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products - new technologies and new generation equipment for the agro-industrial complex. Collection of scientific reports of the XX International Scientific and Practical Conference. 2019. S. 87-91.

13. Tishaninov N.P., Emelyanovich S.V. Substantiation of the parameters of a belt feeder for feeding impurities into an experimental trier // Science in Central Russia. - 2023. - No. 1 (61). - P. 5-13.

14. Vedenyapin, G.V. General methodology for experimental research and processing of experimental data / G.V. Vedenyapin. – M.: Kolos. - 1973. - 199 p.

15. Melnikov, S.V. Experimental planning in research of agricultural processes / S.V. Melnikov, V.R. Aleshkin, P.M. Roshchin. - L. Kolos, 1972. - 202 p.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор; А.В. Анашкин - доктор технических наук; С.В. Емельянович – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A.Anashkin - Doctor of Technical Sciences; S. Emelyanovich – junior researcher.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 28.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-17-23

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОЗИРОВАНИЯ ПРИМЕСНОГО КОМПОНЕНТА ЛЕНТОЧНЫМ ПИТАТЕЛЕМ

Николай Петрович Тишанинов [1], Александр Витальевич Анашкин [2], Сергей Владимирович Емельянович [3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Витальевич Анашкин, av-anashkin@mail.ru
Corresponding author: Alexander Anashkin, av-anashkin@mail.ru

Реферат. *Установлена необходимость раздельной подачи в экспериментальный триер компонентов зерносмесей при исследовании процесса выделения длинных примесей из пшеницы. Распределительные короба без днища с размерами 0,6×0,06×0,07 м и разравниватель с регулируемым вылетом шибера предложено использовать для обеспечения равномерного распределения примесного компонента. Структура суммарной погрешности дозирования примесного компонента при интервальном контроле его потока установлена. Наибольший вес имеют погрешности отсчета интервалов времени и реакции оператора с мерными емкостями на звуковой сигнал. Установлены Взаимосвязи показателей качества дозирования: среднего квадратического отклонения (σ) и коэффициента вариации (v) с интервалом времени контроля навесок сходом с ленточного питателя при массе примеси в распределительном коробе 0,360 кг установлены, при этом с уменьшением интервала времени контроля навесок (tom) v возрастала. С изменением tom от 25 до 5 с v отобранных навесок примеси увеличивался в 5,25 раза. Вычленение двух наиболее весомых погрешностей путем суммирования масс примеси по повторностям нивелирует погрешность дискретного дозирования – отличие от эквивалентных распределенных масс составляет 0,67 – 2,33%, что вполне приемлемо для исследуемого непрерывного дозирования примеси. Тенденция снижения погрешности установлена при оценке качества дозирования примесного компонента с массой примеси в распределительном коробе mп = 0,725 кг. При росте mп в 2 раза величина коэффициента вариации для интервала времени отбора навесок tom = 5 с сократилось в 1,94 раза.*

Ключевые слова: *ленточный питатель, экспериментальный триер, примесный компонент, слой, дозирование, качество.*

EVALUATION OF THE QUALITY OF DOSING OF THE IMPURITY COMPONENT BY A BELT FEEDER

Nikolai Tishaninov [1], Alexander Anashkin [2], Sergey Emelyanovich [3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Abstract. *The necessity of separate supply of grain mixture components to the experimental trier in the study of the process of separating long impurities from wheat was established. It is proposed to use distribution boxes without a bottom with dimensions of 0.6×0.06×0.07 m and a screeder with adjustable gate reach to ensure uniform distribution of the impurity component. The structure of the total error in the dosing of the impurity component during the interval control of its flow has been established. The errors in counting time intervals and the reaction of the operator with measuring containers to the sound signal have the greatest weight. Relationships between the dosing quality indicators: the standard*

deviation (σ) and the coefficient of variation (v) with the time interval for monitoring samples leaving the belt feeder with an impurity mass in the distribution box of 0.360 kg were established, while with a decrease in the time interval for monitoring samples (toot) v increased . With a change in t from 25 to 5 s, v of the sampled impurities increased by 5.25 times. Isolation of the two most significant errors by summing the masses of the impurity over repetitions eliminates the error of discrete dosing - the difference from equivalent distributed masses is 0.67 - 2.33%, which is quite acceptable for the continuous dosing of the impurity under study. with the mass of impurities in the distribution box mp = 0.725 kg. With an increase in mp by 2 times, the value of the coefficient of variation for the time interval for sampling samples tot = 5 s decreased by 1.94 times.

Keywords: *belt feeder, experimental trier, impurity component, layer, dosing, quality*.

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Оценка качества дозирования примесного компонента ленточным питателем // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 17-23. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-17-23.

For citation: Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovisch S. Evaluation of the quality of dosing of the impurity component by a belt feeder. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 17-23. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-17-23.

Введение. При исследовании ячеистых поверхностей до сих пор остается нерешенной задача качественного приготовления зерносмеси и обеспечения постоянства ее состава на протяжении времени опытов. Ранее нами было установлено, что при свободном истечении зерносмеси из технологических емкостей вследствие сегрегации компонентов их соотношение может существенно меняться [1, 2], что исключает обеспечение воспроизводимости условий опытов и искажает результаты. В связи с этим для исследований качественных параметров процесса триерной очистки пшеницы от длинных примесей нами предложен экспериментальный триер, обеспечивающий раздельную подачу компонентов зерносмеси: основную культуру (пшеницу) – с помощью накопительного бункера с оттарированной шиберной заслонкой, длинную примесь (овес) – с помощью ленточного питателя [3].

Преимуществами ленточного питателя по сравнению с другими рабочими органами [4 - 7] являются отсутствие травмирования частиц примеси и получение заданного соотношения компонентов зерносмеси при качественном распределении примесного слоя на ленте питателя. Вместе с тем процесс дозирования сыпучих материалов имеет ряд особенностей [8 - 10], что обуславливает необходимость дополнительных исследований качества дозирования примесного компонента ленточным питателем.

Материалы и методы. Исследования проводили на натурном ленточном питателе. Длина ленты питателя составляла 2 м, ширина ленты – 180 мм, буртики по краям ленты шириной 10 мм и высотой 12 мм. Привод питателя осуществлялся от электродвигателя мощностью 1,5 кВт с частотой вращения 1480 об/мин через червячный редуктор с передаточным числом 40, одну клиноременную и две цепные понижающие передачи, что обеспечивает движение ленты со скоростью 0,02 м/с. Общий вид питателя представлен на рисунке 1.

Для распределения примесного слоя по длине ленты питателя изготовлены распределительные короба длиной 0,6 м, высотой 0,07 м и шириной внутри 0,06 м. Короба имеют на передней стенке по ходу ленты перекрывающие боковые ограничители, которые при подъеме предыдущего распределительного короба предотвращают перетекание примесного компонента в зону последующего.

Питатель смонтирован на раме, охватывающей исследуемый ячеистый цилиндр. Он имеет возможность осевого (продольного) перемещения, что позволяет вариативно по условиям привязки подавать примесный компонент в триер. Для удобства работы оператора ниже полотна ленты (на 0,25 м) размещена полка, на которой размещаются временно снимаемые с ленты распределительные короба и лейка с примесным компонентом. Оператор при обслуживании питателя перемещается по установленной подставке высотой 0,6 м и длиной, соизмеримой с ленточным питателем.

В качестве примесного компонента использован овес с массой 1000 частиц 35,14 г, насыпной плотностью 529 кг/м^3 и влажностью 11,5%. Расчетная высота слоя примесного компонента в коробе шириной 0,06 м и высотой 0,07 м применительно к моделированию процесса с исходной засоренностью зерносмеси в 3% составляет 0,0384 м, а вылет регулируемого шибера разравнивателя составил 0,031 м.

Настройка разравнивателя позволяет при минимальных движениях оператора выравнивать примесный слой в распределительном коробе не контролируя процесс, что позволяет сокращать оперативное время на эту наиболее трудоемкую операцию. На рисунке 1 оператор производит операцию заполнения примесным компонентом распределительного короба, а на рисунке 2 − разравнивание примесного слоя устройством шиберного типа.

Рисунок 1 – Общий вид ленточного питателя

Рисунок 2 − Разравнивание примесного слоя устройством шиберного типа

Аналогичные расчеты были проведены для моделирования исходной засоренности зерносмеси в 2%, когда высота слоя в распределительном коробе составила 0,0256 м, а рабочая длина шибера разравнивателя − 0,044 м. При исходной засоренности зерносмеси в 1% расчетная толщина примесного слоя в распределительном коробе составила 0,0128 м, а вылет шибера разравнивателя – 0,057 м.

В начале опытов производили первичное распределение примесного слоя по всей его длине, начиная с первого распределительного короба от схода примеси. При выполнении операции разравнивания корректировали расчетный вылет шибера. Необходимость в этом объясняется тем, что насыпная плотность примеси при ее размещении в распределительных коробах имеет несколько другое значение, она на 2-3% отличается от исходной.

Отбор навесок примесного компонента производили мерными емкостями, устанавливаемыми под его сходом с ленты питателя. Интервалы времени отбора навесок примеси составляли – 5, 10,

15, 20 и 25 с. Опыты проводили с 5-ти кратной повторностью. Величины навесок контролировались с точностью до 1 г. Оценку качества дозирования примесного компонента проводили с помощью общепринятых показателей – среднеквадратического отклонения (σ) и коэффициента вариации (*v*).

Результаты и обсуждение. Суммарная погрешность дозирования рабочей среды при интервальном по времени контроле ее потока складывается из нескольких составляющих. Применительно к рассматриваемому случаю они будут следующими:

$$\delta_{\sum} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4, \quad (1)$$

где $\delta_{\sum}$ – суммарная погрешность дозирования примесного компонента, %;

δ_1 – погрешность отсчета интервалов времени, %;

δ_2 – погрешность реакции операторов с мерными емкостями на звуковой сигнал, %.

δ_3 – погрешность заполнения распределительных коробов примесным компонентом, %;

δ_4 – погрешность размещения распределительных коробов на ленте питателя, %.

При непрерывном отборе навесок контролер интервалов времени одновременно отсчитывает повторности с целью своевременного перехода на следующий интервал. Поэтому он отвлекается и допускает существенные отклонения (δ_1) в отсчете времени и подаче сигналов оператору с мерными емкостями. Кроме того, отсчет меняющихся интервалов времени дополнительно дезориентирует его, что передается оператору с мерными емкостями и дополняет погрешность его реакции (δ_2) на их смену под потоком сходящей с ленты примеси.

Погрешность δ_3 даже при значительных параметрах сечения распределительных коробов ($b_к$ = 0,06 м; $h_к$ = 0,07 м) может достигать существенных значений (2-3%), так как соотношение размеров частиц примеси (см. рисунок 3 и таблицу 1) и сечения распределительных коробов по М. Рейнеру [11] не соответствует требованиям однородности рабочей среды (для условно однородной среды соотношение должно быть не менее 10). Кроме того, погрешность дозирования примеси δ_3 увеличивается при многократном использовании примесного материала, когда подминается внешняя цветковая оболочка зерновок овса.

Таблица 1 – Вариационный ряд распределения длины частиц овса

Интервал	7,0-7,9	8,0-8,9	9,0-9,9	10,0 - 10,9	11,0 - 11,9	12,0 - 12,9	13,0 - 13,9	14,0 - 14,9	15,0 - 15,9
Частота (*f*), %	3	4	7	11	23	28	16	6	2

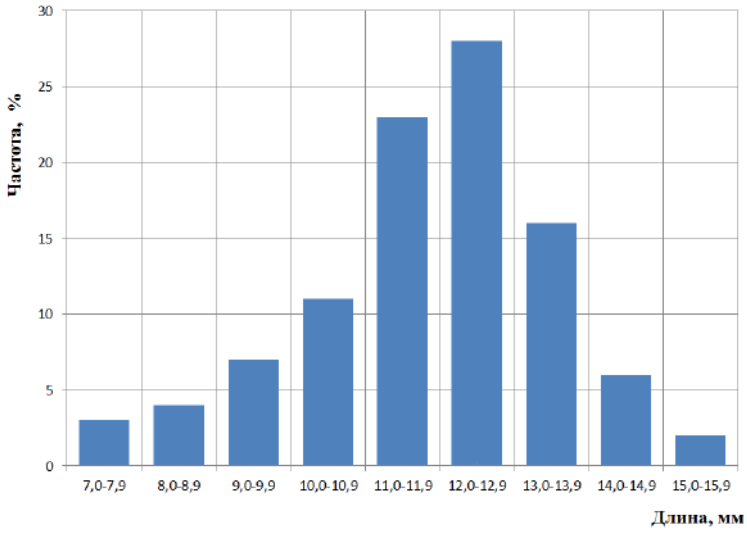


Рисунок 3 – Распределение длины примесных частиц

Поэтому плотность формируемых в распределительных коробах примесных монолитов будет варьировать в некотором диапазоне. Погрешность дозирования примеси (δ_4) обусловлена вариативностью параметров сечения распределительных коробов и точности их стыковки торцевыми поверхностями на ленте питателя. Она незначительна в сравнении с δ_1 и δ_2 при качественном изготовлении распределительных коробов и неспешной их установке на ленте питателя, что позволяет обеспечить резерв оперативного времени при совмещении основных операций распределения примеси на ленте с временем ожидания и резервировании перевалочных емкостей.

Взаимосвязь показателей качества дозирования примеси при ее массе $m_п$ = 0,360 кг в распределительном коробе с интервалами времени отбора навесок представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость σ и v от $t_{от}$ при $m_п$ = 0,360 кг

Интервалы времени отбора ($t_{от}$) навесок, с	$m_{\sum расч}$	$m_{\sum факт}$	Навески в повторностях (q_1), г					$\bar{q}$, г	σ, г	v, г
			1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	300	298	50	60	71	62	55	59,6	7,89	13,24
10	600	586	120	106	127	127	106	117,2	10,62	9,06
15	900	921	189	182	189	169	192	184,2	9,26	5,03
20	1200	1205	238	257	225	242	243	241,0	11,47	4,76
25	1200	1206	302	304	291	309	–	301,5	7,59	2,52

Из таблицы 2 видно, что с уменьшением интервала времени отбора навесок вариативность (v) их масс возрастает. При $t_{от}$ = 5 с коэффициент вариации отобранных масс примеси в 5,25 раз больше, чем при $t_{от}$ = 25 с. Данные таблицы 2 отражают общеизвестную логику взаимосвязи $v = f(t_{от})$ и подтверждают большой вклад составляющих δ_1 и δ_2 в вариативность навесок q_i.

Это подтверждается сопоставлением величин $m_{\sum расч}$ и $m_{\sum факт}$, когда составляющие суммарной погрешности дозирования δ_1 и δ_2 нивелируются. Величина $m_{\sum расч}$ определяется по формуле:

$$m_{\sum расч} = V_л\, t_{от}\, n_п\, m_п / l_к, \quad (2)$$

где $V_л$ – скорость ленты питателя, м/с;
$n_п$ – число повторностей в конкретном опыте, шт.;
$m_п$ – масса примеси в распределительном коробе, г;
$l_к$ – длина распределительного короба, м;
$t_{от}$ – интервал времени отбора навесок примеси, подаваемой лентой питателя, с.

Расчетные величины суммарных (по числу повторностей) масс примеси дана во 2-ом столбце таблицы 2, а суммарные фактические массы навесок (q_i) в столбцах 4-8 показаны в столбце 3. Их сопоставление показывает, что при нивелировании составляющих суммарной погрешности δ_1 и δ_2, качество дозирования примеси ленточным питателем несоизмеримо выше. Разница фактически отобранных мерными емкостями масс от расчетных составляет 0,67 – 2,33 %.

Произведенное выше нивелирование результатов эксперимента по погрешностям δ_1 и δ_2 вполне оправдано, так как в реальном технологическом процессе дозирование примесного компонента является непрерывным, для которого составляющие δ_1 и δ_2 не характерны. Структура формулы (1) адаптирована к дискретному дозированию рабочих сред и традиционным методикам оценки σ и v. При наличии совершенных средств отсчета времени опытов и исполнительных механизмов формула (1) имеет универсальное применение. В иных случаях (в том числе в изложенном выше) общий подход является ориентиром, но требует методической доработки.

Установленный уровень погрешности вполне подтверждает применимость разработанного ленточного питателя для подачи примеси в экспериментальный триер, обеспечивая воспроизводимость условий опытов по исходной засоренности. Выполненная выше процедура

нивелирования экспериментальных данных обоснована существенной продолжительностью опытов (до 20 мин) из-за значительного периода стабилизации процесса после смены условий опытов по определяющим факторам – подаче основной культуры (W), исходной засоренности ($З_и$), скорости вращения ячеистого цилиндра (n), углового положения выводного лотка (γ).

Взаимосвязь показателей качества дозирования примеси от интервала времени отбора навесок $t_{от}$ при $m_п$ = 0,725 кг представлены в таблице 3. Данные таблицы 3 подтверждают известное положение о снижении погрешности измерений при увеличении базы отсчета. При росте $m_п$ в 2 раза величина v для $t_{от}$ = 5 с сократилась в 1,94 раза.

Выводы. Оценка качества дозирования примеси, выполненная по традиционной методике, в большей степени подходящей к дискретным технологическим процессам, подтвердила логически обоснованные взаимосвязи результатов (σ, v) с условиями проведения эксперимента. Для непрерывного дозирования примеси ленточным питателем необходима доработка методики в части уточнения потенциального состава источников погрешностей и снижения их влияния на объективность оценки результативных показателей.

Таблица 3 – Зависимость σ и v от интервала замеров ($t_{от}$) при $m_п$ = 0,725 кг

Интервалы времени отбора ($t_{от}$) навесок, с	Навески в повторностях (q_i), г					$\bar{q}$, г	σ, г	v, %
	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	6	7	9	10
5	–	120	122	110	130	120,5	8,23	6,83
10	240	240	260	235	250	245	10	4,08
15	370	370	370	375	370	371	2,24	0,60
20	500	480	510	490	485	493	12,04	2,44
25	625	620	630	–	–	625	5	0,80

Список источников

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

2. Анашкин А.В. Методические особенности экспериментальных исследований процесса сегрегации зерносмесей при истечении из технологических емкостей / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК. Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции. 2019. С. 87-91.

3. Тишанинов Н.П., Емельянович С.В. Обоснование параметров ленточного питателя для подачи примеси в экспериментальный триер // Наука в центральной России. − 2023. − № 1 (61). – С. 5-13.

4. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос – 1983. − 495 с.

5. Кожевников С.Н., Есипенко Я.И., Раскин Я.М. Механизмы / Справочник. Изд. 4-е перераб. и доп. Под ред. С.Н. Кожевникова. – М.: Машиностроение. – 1976. – 784 с., ил.

6. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – Л.: Колос. – Ленингр. отд-ние. – 1978. – 560 с., ил.

7. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйстве. – М.: ГНУ ВНИИМЖ. – 2010. – 248 с.

8. Ведищев С.М., Прохоров А.В., Глазков А.Ю. Анализ дозаторов кормов // Вопросы современной науки и практики. Университет им В.И. Вернадского. - 2014. - №1(50). - С.103-108.

9. Кононов Б.В., Пульчев И.К. Классификация дозирующих устройств для сыпучих материалов // Механизация животноводческих ферм: Сб. науч. работ. СИМСХ им. М.И. Калинина. – Саратов, 1978. - С. 44-51.

10. Мороз Ю.Д, Ширшова В.В. Эффективность совершенствования системы управления дозированием кормов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.-№4.-1990.-С. 31-32.

11. Рейнер М. Реология. Пер. с англ. Н.И. Малинина. – М.: Наука, 1965. 224 с.

References

1. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. New reserves of grain cleaning quality management / In the collection: Scientific and technological progress in agricultural production. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference: in 3 volumes. 2014. S. 266-272.

2. Anashkin A.V. Methodological features of experimental studies of the process of segregation of grain mixtures when flowing out of technological tanks / In the collection: Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products - new technologies and new generation equipment for the agro-industrial complex. Collection of scientific reports of the XX International Scientific and Practical Conference. 2019. S. 87-91.

3. Tishaninov N.P., Emelyanovich S.V. Substantiation of the parameters of a belt feeder for feeding impurities into an experimental trier // Science in Central Russia. - 2023. - No. 1 (61). - P. 5-13.

4. Karpenko A.N., Khalansky V.M. Agricultural machines. Agricultural equipment. 5th ed. revised and additional - M.: Kolos - 1983. - 495 p.

5. S. N. Kozhevnikov, Ya. I. Esipenko, and Ya. Mechanisms / Handbook. Ed. 4th revision and additional Ed. S.N. Kozhevnikov. – M.: Mashinostroenie. - 1976. - 784 p., ill.

6. Melnikov S.V. Mechanization and automation of livestock farms. - L .: Kolos. - Leningrad. dept. - 1978. - 560 p., ill.

7. Syrovatka V.I. Machine technologies for the preparation of animal feed on the farm. – M.: GNU VNIIMZH. - 2010. - 248 p.

8. Vedischev S.M., Prokhorov A.V., Glazkov A.Yu. Analysis of feed dispensers // Questions of modern science and practice. University named after V.I. Vernadsky. - 2014. - No. 1 (50). - P.103-108.

9. Kononov B.V., Pulchev I.K. Classification of dosing devices for bulk materials // Mechanization of livestock farms: Sat. scientific works. SIMSH them. M.I. Kalinin. - Saratov, 1978. - S. 44-51.

10. Moroz Yu.D., Shirshova V.V. The efficiency of improving the feed dosing control system // Mechanization and electrification of agriculture.-№4.-1990.-S. 31-32.

11. Reiner M. Rheology. Per. from English. N.I. Malinin. – M.: Nauka, 1965. 224 p.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор; А.В. Анашкин - доктор технических наук; С.В. Емельянович – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Anashkin - Doctor of Technical Sciences; S. Emelyanovich – junior researcher.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 01.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 634.75: 631.358
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-24-31

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕРЕКАТЫВАНИЮ КОЛЕС УБОРОЧНОЙ ТЕЛЕЖКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ТИПОРАЗМЕРА И АГРОФОНА

Виктор Николаевич Ожерельев [1]***, Валерий Владимирович Сомин*** [2]
[1, 2] *Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия*
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]somin.valery@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Виктор Николаевич Ожерельев, vicoz@bk.ru
Corresponding author: Viktor Ozherelev, vicoz@bk.ru

Реферат. *Использование для перемещения сборщика при ручной уборке ягод земляники садовой специальной тележки существенно увеличивает производительность труда. При этом выбор размера ее колес, как правило, не связан с несущей способностью почвы междурядий и сопротивлением перекатыванию. Цель исследования заключалась в выявлении связи между параметрами агрофона, размерами колес и сопротивлением перекатыванию тележки. Испытаны колеса с пневматическими шинами диаметром 300, 400, 500 и 700 мм. В качестве комплексной характеристики колеса была принята площадь пятна контакта на твердой поверхности при давлении в шине 160 кПа. Испытания проведены на четырех типах агрофона, характерных для плантаций земляники. Тележку прокатывали по залуженным междурядьям, междурядьям, замульчированным соломой, по черному пару через три недели после обработки и уплотненному ногами сборщиков в конце сезона уборки. Критерием оценки несущей способности почвы в междурядьях была принята ее твердость на глубине 20 мм. При испытаниях тележку нагружали балластом, массой 72 кг, имитировавшим вес сборщика. Усилие фиксировали электронным динамометром DEXP BM-10 (Китай), с пределом измерения 500Н и ошибкой измерения, равной 0,5Н. Результаты испытаний были обработаны в программах Excel и STATISTICA 10. Получены уравнения регрессии, связывающие основные параметры процесса. Установлено, что влияние твердости почвы на конечный результат в 2,7 раза превышает влияние параметров колеса. При этом мульчирование междурядий соломой увеличивает сопротивление перекатыванию колес на 4,3 – 11,8%, в зависимости от их диаметра. Причем разница увеличивается по мере роста указанного параметра.*

Ключевые слова*: ягоды, земляника, ручной сбор, тележка, колесо, междурядья, сопротивление перекатыванию.*

RESISTANCE TO ROLLING OF WHEELS OF A HARVEST TROLLEY DEPENDING ON THEIR SIZE AND AGROPHONE

Viktor Ozherelev[1]***, Valery Somin***[2]
[1, 2] *Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation*
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]somin.valery@yandex.ru

Abstract. *The use of a special garden cart to move the picker during manual harvesting of strawberries significantly increases labor productivity. At the same time, the choice of the size of its wheels, as a rule, is not associated with the bearing capacity of the soil between rows and rolling resistance. The aim of the study was to identify the relationship between the parameters of the agrophone, the size of the wheels and the resistance to rolling of the trolley. Wheels with a diameter of 300, 400, 500 and 700 mm have been tested. The area of the contact patch on a hard surface at a tire pressure of 160 kPa was taken as a complex characteristic of the wheel. The tests were carried out on four types of*

agrophone typical for strawberry plantations. The cart was rolled over tinned aisles, aisles covered with straw, over black steam three weeks after processing and compacted with the collectors' feet at the end of the harvesting season. The criterion for assessing the bearing capacity of the soil in the aisles was its hardness at a depth of 20 mm. During the tests, the cart was loaded with ballast weighing 72 kg, simulating the weight of the collector. The force was recorded with an electronic dynamometer DEXP BM-10 (China), with a measurement limit of 500N and a measurement error of 0.5N. The test results were processed in Excel and STATISTICA 10. The regression equations connecting the main process parameters were obtained. It was found that the effect of soil hardness on the final result is 2.7 times higher than the effect of the wheel parameters. At the same time, mulching the row spacing with straw increases the rolling resistance of the wheels by 4.3 - 11.8%, depending on their diameter. Moreover, the difference increases with the growth of the specified parameter.

Keywords: *berries, strawberries, hand picking, cart, wheel, row spacing, rolling resistance*.

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Сомин В.В. Сопротивление перекатыванию колес уборочной тележки в зависимости от их типоразмера и агрофона // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 24-31. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-24-31.

For citation: Ozherelev V., Somin V. Resistance to rolling of wheels of a harvest trolley depending on their size and agrophone. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 24-31. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-24-31.

Введение. Земляника садовая является главной ягодной культурой как в России, так и в мире. В связи с этим ягоды отечественного производства неизбежно встречаются на рынке с импортными и результат конкурентной борьбы не всегда оказывается позитивным для российской продукции [1]. Отчасти это обусловлено тем, что затраты на ручную уборку ягод могут варьироваться в пределах от 40 до 70% всех издержек производства (в зависимости от технологии и способа его организации) [2-4]. Так, в условиях небольшого фермерского хозяйства (Брянская область) трудоемкость ручного сбора ягод в 2018 году составила 58% от суммарных сезонных трудозатрат. В связи с этим, важнейшей задачей науки является увеличение конкурентоспособности отечественных ягод за счет уменьшения трудоемкости уборки путем рационализации последней.

Зарубежный опыт свидетельствует о том, что наиболее эффективным средством рационализации ручного труда сборщиков ягод на плантациях земляники садовой является тележка индивидуального использования [5-8]. При этом эффективность указанного оборудования зависит от целого ряда конструктивных и компоновочных решений. В частности, большое значение имеет выбор количества, размещения, типоразмера колес, а также наличие или отсутствие их привода.

В самом простом варианте исполнения тележки размещенный на ней сборщик может перемещаться, отталкиваясь ногами от поверхности междурядий [9]. Встречаются варианты исполнения оборудования, в которых тележка приводится в движение посредством цепного привода [10]. Наиболее сложные тележки могут быть снабжены приводом от аккумуляторной батареи или микролитражного двигателя внутреннего сгорания [11]. В результате такой дифференциации конструкций существенным образом варьируются как условия труда, так и цена оборудования. Так, в странах Евросоюза цена может изменяться в пределах от 200 до 900 Евро.

При любом исполнении тележки с точки зрения рационализации процесса ее рабочего перемещения по плантации целесообразно обеспечить минимальное сопротивление перекатыванию опорных колес по междурядьям. При отсутствии привода излишние усилия утомительны для сборщика, что может негативно отразиться на производительности его труда, а при использовании аккумуляторной батареи не исключено, что она будет слишком быстро разряжаться.

Цель исследований: выявление связи между параметрами колес, состоянием агрофона и усилием, необходимым для перекатывания тележки индивидуального использования по плантации земляники садовой в период уборки ягод.

Материалы и методы. Объектом исследования являлась разработанная нами трехколесная тележка индивидуального использования, снабженная сменными комплектами колес четырех типоразмеров (рисунок 1) [5, 12]. Сборщик ягод размещается на сиденье 4 спиной по направлению движения 5. Собрав имеющиеся на ряду 8 ягоды, находящиеся в пределах доступности и обзора, он отталкивается ногами от поверхности междурядий 6 и 7 и перемещается вместе с тележкой по направлению стрелки 5. При этом развиваемые им мускульные усилия $P_п$ и $P_л$ должны быть в сумме не меньше суммы сил сопротивления перекатыванию колес R_1, R_2 и R_3.

Чтобы минимизировать физическую нагрузку на сборщика и его утомляемость целесообразно свести сопротивления перекатыванию колес тележки индивидуального использования к приемлемому минимуму. Поэтому предметом исследования являлся процесс взаимодействия колес указанной тележки с поверхностью междурядий при различных вариантах их содержания и его влияние на сопротивление перекатыванию. Испытания проводились на четырех вариантах агрофона: залужение, с высотой травы до 50 мм, мульчирование соломой, черный пар через три недели после его обработки и черный пар в конце уборки, уплотненный за этот период естественным образом ногами сборщиков. Таким образом были охвачены все варианты содержания плантации, характерные для условий небольшого фермерского хозяйства, расположенного в средней полосе России.

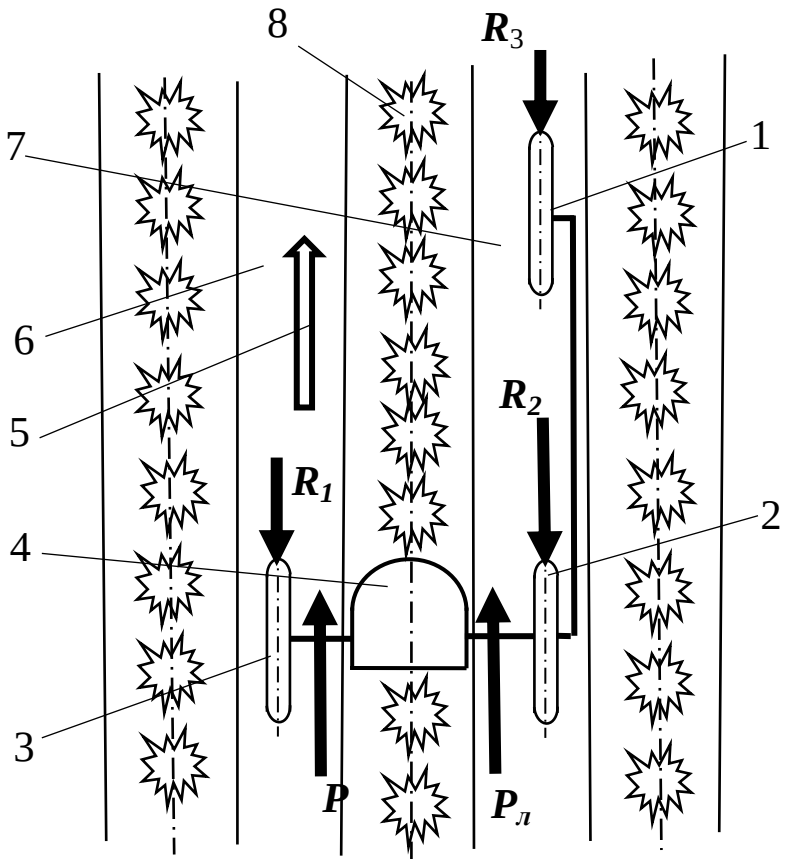


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на тележку при ее перемещении:
1 – 3 – колеса опорные; 4 – сиденье; 5 – направление движения;
6, 7 – междурядья; 8 – убираемый ряд земляники садовой

В связи со стремлением к минимизации цены оборудования выбор был остановлен на использовании колес от дорожных велосипедов и иного широко распространенного хозяйственного инвентаря. Поскольку ширина шин у колес разных типоразмеров варьируется в широких пределах (таблица 1) в качестве показателя их несущей способности было принято суммарное пятно контакта. Оно было получено для каждого типоразмера колес путем суммирования площади отпечатков на координатной бумаге всех трех шин ненагруженной весом сборщика тележки при давлении в них равном 160 кПа.

В качестве критерия оценки несущей способности почвы была принята ее твердость на глубине 20 мм (таблица 2). Выбор контрольной глубины обусловлен тем, что в поверхностном слое залуженного междурядья заметно искажающее влияние на показатель твердости растительных остатков, а на большей глубине деформирующее влияние колеса с пневматической шиной не ощутимо.

Таблица 1 - Характеристики сменных колес тележки

Параметр колеса	Наружный диаметр, мм	Ширина шины, мм	Давление в шине, кПа	Суммарная площадь пятна контакта (X_2), мм^2
Вариант 1	300	55	160	1790
Вариант 2	400	45	160	2210
Вариант 3	500	40	160	2270
Вариант 4	700	38	160	2430

В результате был спланирован и проведен полнофакторный эксперимент с двумя независимыми переменными X_1 (твердостью почвы на глубине 20 мм) и X_2 (суммарной площадью пятна контакта шин) при четырех уровнях варьирования каждой из них. При этом усилие перекатывания тележки фиксировали электронным динамометром *DEXP BM*-10 (Китай), с пределом измерения 500Н и ошибкой измерения, равной 0,5Н (рисунок 2а). Каждый вариант опыта был выполнен в четырехкратной повторности.

Таблица 2 - Твердость почвы (X_1) на глубине 20 мм в междурядьях земляники садовой при различных вариантах их содержания, МПа

Тип Агрофона	Черный пар через три недели после обработки	Междурядья, мульчированные соломой	Черный пар, уплотненный сборщиками	Залужение
Твердость почвы	0,533	0,581	0,679	1,211

Во время проведения опыта на сиденье тележки размещали балласт массой 72 кг, имитировавший действие части веса типичного сборщика, приходящейся на сиденье (рисунок 2а). Характер распределения веса сборщика между его давлением на сиденье и на поверхность почвы был заранее получен экспериментальным путем. Для этого электронные весы SCI-30P (Китай) устанавливали на сиденье тележки и осуществляли замеры при варьировании его высоты над уровнем почвы.

Эксперимент был проведен летом 2022 года на товарной плантации земляники садовой в крестьянском (фермерском) хозяйстве П. Ю. Стекачева (Почепский район Брянской области). Плантация заложена по схеме 1х0,3 м и включала участки разного возраста, что обеспечивало представительство всех указанных выше типов агрофона. Соответствующим образом была адаптирована к схеме посадки и ширина колеи задних колес тележки.

Результаты и их обсуждение. На основании результатов испытаний тележки индивидуального использования, оборудованной сменными колесами различных типоразмеров (таблица 3), можно сделать следующие предварительные выводы. Во-первых, сопротивление перекатыванию увеличивается, начиная от варианта залужения междурядий к их содержанию под черном паром (через три недели после механической обработки). При этом мульчирование уплотненных естественным образом междурядий соломой увеличивает сопротивление

перекатыванию колес на 4,3 – 11,8%, в зависимости от их диаметра. Причем по мере роста диаметра разница увеличивается.

Таблица 3 - Среднее усилие перекатывания тележки по вариантам опыта, Н

Вариант типоразмера колес	Тип агрофона			
	Залужение междурядий	Черный пар, уплотненный сборщиками	Междурядья, мульчированные соломой	Черный пар через три недели после обработки
1	93,6	159	165,9	203,3
2	71,8	149,6	156,9	199,3
3	67,4	133,2	144	179,5
4	55	111,2	123,6	159,3

Во-вторых, сопротивление перекатыванию уменьшается по мере роста диаметра колес. При этом в наибольшей степени (в 1,7 раза) уменьшается усилие перекатывания на залуженном междурядье по мере роста диаметра колеса от 300 до 700 мм. Наименьшее влияние на усилие перекатывания роста диаметра колес отмечено на черном паре через три недели после обработки междурядий (в 1,28 раза).

Существенное влияние на результат оказывает и величина вертикальной нагрузки, приходящейся на колесо. В результате изменения величины нагрузки меняется как площадь пятна контакта колес, так и глубина колеи (если рассматривать вариант движения по черному пару через три недели после его обработки). Так, для наиболее нагруженного бокового колеса (поз. 2 на рисунке 1) характерным является увеличение глубины колеи с 37 до 41 мм по мере уменьшения его диаметра с 700 до 300 мм (на 10,8%). При этом менее нагруженное заднее колесо (поз. 3 на рисунке 1) при аналогичном уменьшении диаметра показало большую степень увеличения глубины колеи (с 23 до 30 мм или на 30,4%) при меньшем абсолютном значении указанного параметра.

Для получения зависимости, наиболее адекватно отражающей связь между результатом и независимыми переменными X_1 (твердость почвы) и X_2 (суммарная площадь пятна контакта колес) был выполнен регрессионный анализ исходных данных, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 - Исходная матрица регрессионного анализа

№	X_1 (МПа)	X_2 (мм^2)	Y (Н)	№	X_1 (МПа)	X_2 (мм^2)	Y (Н)
1	0,533	1790	203,3	9	0,679	1790	159
2	0,533	2210	199,3	10	0,679	2210	149,6
3	0,533	2270	179,5	11	0,679	2270	133,2
4	0,533	2430	159,3	12	0,679	2430	111,2
5	0,581	1790	165,9	13	1,211	1790	93,6
6	0,581	2210	156,9	14	1,211	2210	71,8
7	0,581	2270	144	15	1,211	2270	67,4
8	0,581	2430	123,6	16	1,211	2430	55

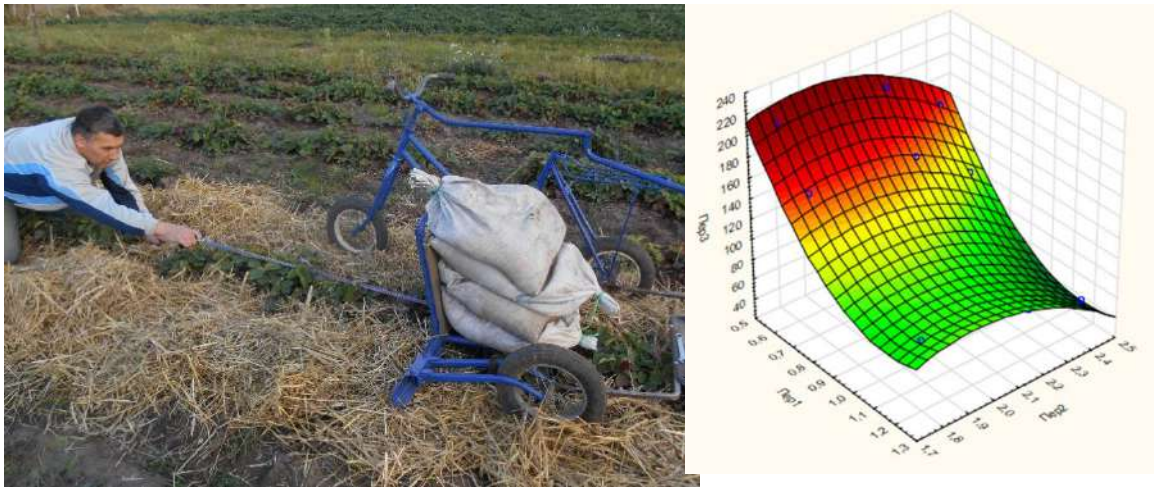
Анализ был выполнен в программе *Excel*, в результате чего получено уравнение регрессии, коэффициент детерминации которого (R^2 = 0,954) свидетельствует о приемлемой степени его адекватности анализируемому массиву экспериментальных данных:

$$Y = -642{,}94X_1 + 275{,}02X_1^2 + 597{,}75X_2 - 158{,}68X_2^2 + 4{,}03X_1X_2 - 103{,}82,$$

где X_1 – твердость почвы на глубине 20 мм, МПа;

X_2 – суммарная площадь пятна контакта трех колес при давлении в шинах 160 кПа, тыс. мм^2.

Характер взаимосвязи между параметрами уравнения регрессии иллюстрирует поверхность отклика, построенная в программе *STATISTICA* 10 (рисунок 2б).



а) б)

а) – протягивание тележки; б) – поверхность отклика;
(Пер. 1 - твердости почвы, МПа, Пер. 2 - суммарная площадь пятна контакта, в тысячах мм^2,
Пер. 3 – сопротивление протягиванию, Н)
Рисунок 2 - Организация и результат эксперимента

Поскольку характер поверхности отклика свидетельствует о разной степени влияния на результат факторных признаков, был выполнен корреляционный анализ, позволяющий достоверно установить численное значение выявленных различий (таблица 5).

Таблица 5 - Результаты корреляционного анализа

$X_i \rightarrow Y$	$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$
Значения коэффициента корреляции	-0,8879	-0,3294

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что степень влияния на результат первого факторного признака, отражающего объективную характеристику агрофона, в 2,7 раза превышает степень влияния второго факторного признака, характеризующего параметры колес.

Выводы.

1. Результаты исследования свидетельствуют о том, что больший диаметр колеса способствует уменьшению сопротивления перекатыванию тележки по междурядьям земляники садовой. Однако, слишком большие колеса могут создавать определенные неудобства для сборщика, в связи с чем при выборе их диаметра необходимо изыскивать компромиссное решение, учитывающее оба соображения. При этом следует иметь ввиду, что несколько меньший диаметр колеса можно, в значительной степени, компенсировать увеличением ширины шины, вследствие чего при неизменном диаметре площадь пятна контакта, являющегося косвенным показателем несущей способности опорного устройства, увеличивается.

2. В период уборки, как правило выпадают дожди. Кроме того, может быть проведен искусственный полив плантации методом дождевания. В результате свойства поверхностного слоя междурядий могут существенным образом измениться. Ориентация на выявленную регрессионную зависимость позволяет подобрать колеса, в наибольшей степени соответствующие несущей способности почвы в конкретный момент времени и физическим возможностям сборщиков.

Список источников

1. Ожерельева, М.В. Экономические основы эффективного ягодоводства: Монография. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2007. 217с.

2. Филиппов Р.А. Хорт Д.О. Развитие технических средств для сбора ягод земляники // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. №1. С. 58-61.

3. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020» 2020. С. 01045.

4. Филиппов Р.А., Цымбал А.А., Утков Ю.А., Чухляев И.И., Мехедов М.А. Эффективность применения технических средств для уборки урожая низкорастущих ягодников // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. №3(39). С. 131-135.

5. Ожерельев В.Н. Сомин В.В., Андронова Н.В., Ожерельева М.В. Тележка для рационализации ручного сбора ягод земляники садовой // Наука в центральной России. 2019. № 6 (42). С. 42-50.

6. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Ягоды: практические рекомендации по выращиванию для себя и на продажу: монография. М.: Колос, 2006. 160с.

7. Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Технические средства в технологии ручной уборки ягод земляники // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 5. С. 42-47.

8. Филиппов Р.А. Технические средства в технологии ручной уборки ягод земляники: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2012. 22 с.

9. Платформа для ручной уборки урожая, посадки и ухода за низкорастущими культурами: пат. 2415550 Российская Федерация №2009130246/21 / Чухляев И.И., Утков Ю.А., Цымбал А.А., Бычков В.В., Филиппов Р.А.; заявл. 07.08.2009; опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10. 4с.

10. Платформа для ручной уборки ягод земляники и других низкорастущих культур: пат. 2523500 Российская Федерация №2013119102/13 / Филиппов Р.А., Утков Ю.А., Хорт Д.О., Смирнов И.Г.; заявл. 25.04.2013; опубл. 20.07.2014. Бюл. № 20. 4с.

11. Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries // FARM SHOW Magazine. 1994. Vol. 18. Issue 3. P. 35.

12. Тележка для сбора ягод земляники садовой индивидуального использования: пат. 2712688 Российская Федерация №2018139067 / Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В., Гринь А.М., Сомин В.В.; заявл. 06.11.2018; опубл. 30.01.2020. Бюл. №4. 4с.

References

1. Ozhereleva, M.V. Economic bases of effective berry growing: Monograph. Bryansk: Publishing House of the Bryansk State Agricultural Academy, 2007. p. 217.

2. Filippov R.A. Hort D.O. Development of technical means for collecting strawberries // Proceedings of GOSNITI. 2013. Vol. 111. No. 1. pp. 58-61.

3. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. V sbornike: E3S Web of Conferences. Cep. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020» 2020. C. 01045.

4. Filippov R.A., Tsymbal A.A., Utkov Yu.A., Chukhlyaev I.I., Mekhedov M.A. The effectiveness of the use of technical means for harvesting low-growing berries // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev. 2018. No. 3(39). pp. 131-135.

5. Ozherelyev V.N. Somin V.V., Andronova N.V., Ozhereleva M.V. Trolley for rationalization of manual picking of garden strawberries // Science in Central Russia. 2019. No. 6 (42). pp. 42-50.

6. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. Berries: practical recommendations for growing for yourself and for sale: a monograph. M.: Kolos, 2006. p. 160.

7. Filippov R.A., Hort D.O. Technical means in the technology of manual harvesting of strawberries // Technology of wheeled and tracked vehicles. 2014. No. 5. pp. 42-47.

8. Filippov R.A. Technical means in the technology of manual harvesting of strawberries: Abstract of the thesis. dis. ... cand. s.-x. Sciences. M., 2012. p. 22.

9. Platform for manual harvesting, planting and care of low-growing crops: Pat. 2415550 Russian Federation No. 2009130246/21 / Chukhlyaev I.I., Utkov Yu.A., Tsymbal A.A., Bychkov V.V., Filippov R.A.; dec. 08/07/2009; publ. 04/10/2011. Bull. No. 10. p. 4.

10. Platform for manual harvesting of strawberries and other low-growing crops: Pat. 2523500 Russian Federation No. 2013119102/13 / Filippov R.A., Utkov Yu.A., Khort D.O., Smirnov I.G.; dec. 04/25/2013; publ. 07/20/2014. Bull. No. 20. p. 4.

11. Higginson W. Rolling Platform to Plant, Weed or Pick Strawberries // FARM SHOW Magazine. 1994. Vol. 18. Issue 3. P. 35.

12. Trolley for picking strawberries for garden individual use: Pat. 2712688 Russian Federation No. 2018139067 / Ozherelyev V.N., Ozherel'eva M.V., Grin A.M., Somin V.V.; dec. 11/06/2018; publ. 01/30/2020. Bull. No. 4. p. 4.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор с.-х. наук, профессор; В.В. Сомин – инженер.

Information about the authors

V. Ozherelyev - Doctor of Agricultural Sciences, professor; V. Somin - engineer.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.347.3.012.3.001.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-32-39

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ПОЛИВЕ ДМ «КУБАНЬ-ЛК1» УЧАСТКОВ НА СЛОЖНОМ РЕЛЬЕФЕ

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

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

Автор ответственный за переписку: Анатолий Иванович Рязанцев, ryazantsev.41@mail.ru
Corresponding author: Anatoly Ryazantsev, ryazantsev.41@mail.ru

Реферат. *Рассмотрены вопросы обеспечения достаточных опорно-сцепных свойств широкозахватной дождевальной машины (ДМ) «Кубань-ЛК1» для работы на сложных по рельефу участках за счет повышения несущей способности почвенной поверхности. Отмечается, что при увеличенной интенсивности дождя и, соответственно, повышенного лужеобразования в зоне движения ходовых систем, наблюдается интенсивное колееобразование, ведущее к изгибу водопроводящего трубопровода и, в конечном счете, к срабатыванию системы защиты. Указанный недостаток негативно отражается на коэффициенте использования сменного времени и, следовательно, на общей производительности работы ДМ. Для его устранения предложено использовать поступательное снижение интенсивности подачи воды ДМ, что приведет к повышению несущих свойств почвы. Определено, что при работе на склоновых участках интенсивность дождя в концевой части ДМ составляет 0.4 мм/мин. Экспериментально установлено, что снижения интенсивности дождя можно добиться за счет уменьшения расхода дождевальных аппаратов, а также посредством увеличения площади распыла струи. Для снижения интенсивности до 0.3 мм/мин предложена установка регулирующих устройств. Но установлено, что дальнейшее регулирование значений интенсивности дождя ограничивается максимально допустимой длиной уменьшения радиуса полива дождевальными аппаратами. Для снижения интенсивности дождя до 0.2 мм/мин, предложена установка рассекателей стерневого типа для распыла струи дождевальных аппаратов. Анализ экспериментальных данных по зависимости несущей способности почвы от интенсивности дождя и величины поверхностного стока показал, что при поступательном снижении интенсивности дождя регулирующими устройствами и рассекателями обеспечивается повышение несущей способности почвы с 43 – 47 кПа без устройств регулирования, до 72 – 82 кПа с ними. В конечном счете, обеспечение достаточных опорных свойств позволяет добиться производительной работы ДМ «Кубань-ЛК1» на склоновых участках.*

Ключевые слова: *дождевальная машина; производительность работы; несущая способность; регулирующее устройство; рассекатель струи; расход; интенсивность дождя; сложный рельеф.*

ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF THE SOIL WHEN WATERING DM «KUBAN-LK1» ON SLOPING AREAS

Anatoly Ryazantsev [1]***, Alexander Zazulya*** [2]***, Evgeny Evseev*** [3]***, Alexey Antipov*** [4]
[1]*All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga», Moscow region, Kolomenskoye district, village Raduzhny, Russian Federation*
[2]*All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation*
[3,4] *State Social and Humanitarian University, Moscow region, Kolomna, Russian Federation*
[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]zazulja_an@rambler.ru
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[4]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Abstract. *The issues of ensuring sufficient support-coupling properties of the Kuban-LK1 wide-sprinkler sprinkling machine (SM) for working on difficult terrain areas by increasing the bearing capacity of the soil surface are considered. It is noted that with increased rain intensity and, accordingly, increased puddle formation in the zone of movement of running systems, intensive rutting is observed, leading to a bend in the water supply pipeline and, ultimately, to the operation of the protection system. This drawback has a negative impact on the shift time utilization rate and, consequently, on the overall performance of the SM. A progressive decrease in the intensity of the SM water supply is proposed to be used to eliminate it, which will lead to an increase in the bearing properties of the soil. It was determined that when working on slopes, the rain intensity at the end of the SM is 0.4 mm/min. It has been experimentally established that a decrease in the intensity of rain can be achieved by reducing the consumption of sprinklers, as well as by increasing the spray area of the jet. Installation of control devices is proposed to reduce the intensity to 0.3 mm/min. But it has been established that further regulation of rain intensity values is limited by the maximum allowable length of the decrease in the irrigation radius by sprinklers. The installation of stubble-type spreaders for spraying the jet of sprinklers is proposed to reduce the intensity of rain to 0.2 mm/min. An analysis of the experimental data on the dependence of the soil bearing capacity on the intensity of rain and the magnitude of surface runoff showed that with a progressive decrease in the intensity of rain, control devices and dividers provide an increase in the bearing capacity of the soil from 43–47 kPa without control devices to 72–82 kPa with them. Ultimately, the provision of sufficient support properties makes it possible to achieve productive operation of the Kuban-LK1 DM on slope areas.*

Keywords: *sprinkling machine; work performance; load bearing capacity; control device; jet divider; consumption; rain intensity; complex terrain.*

Для цитирования: Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Оценка несущей способности почвы при поливе ДМ «КУБАНЬ-ЛК1» участков на сложном рельефе // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 32-39. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-32-39.

For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A. Assessment of the bearing capacity of the soil when watering DM “Kuban-LK1” on sloping areas. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 32-39. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-32-39.

Введение. Широкозахватная дождевальная техника, например ДМ «Кубань-ЛК1» (рисунок 1), работающая в движении по кругу, занимает более 15% объемов парка дождевальных машин. Однако, несмотря на значительные преимущества ее использования, имеется и ряд недостатков. Так, по результатам исследований, выявлено снижение производительности работы «Кубань-ЛК1» на сложных по рельефу участках. Это связано со значительным снижением несущей способности орошаемой поверхности в районе прохода последних тележек машины, вследствие переувлажнения почвенной поверхности в ее концевой части. Интенсивное буксование ходовых систем, приводит к изгибу трубопровода и, в конечном счете срабатыванию аварийной защиты. Указанное отражается на уменьшении коэффициента использования времени смены ($K_{см}$)

[3, 6, 10].

Следовательно, для обеспечения производительной и надежной работы машины, необходимо увеличение несущих свойств почвенной поверхности в зоне движения последней тележки.

Рисунок 1 – Общий вид ДМ «Кубань-ЛК1» при работе на склоновом участке.

Материалы и методы. Несущая способность почвы P_{0nn}, является совокупным показателем, отражающим свойства почвы, значения которой, определяются по представленной эмпирической зависимости (1) [7, 9]:

$$P_{0nn} = P_{0\text{дп}} - (1.4 \times m_{\text{дост.}}^{0.65} + 8 \times 1.01^{m_{\text{ст.}}}) \quad (1)$$

где: $P_{0\text{дп}}$ –несущая способность орошаемой поверхности до полива, кПа; $m_{\text{дост}}$ – величина достоковой нормы полива, м^3/га; $m_{\text{ст}}$ – величина стока, мм/мин.

Исходя из анализа теоретических исследований, показателем, влияющим величину достоковой поливной нормы и, следовательно на несущую способность почвы после полива (P_{0nn}, является интенсивность дождя ρ (2):

$$\rho = \frac{60 \times Q}{S} \quad (2)$$

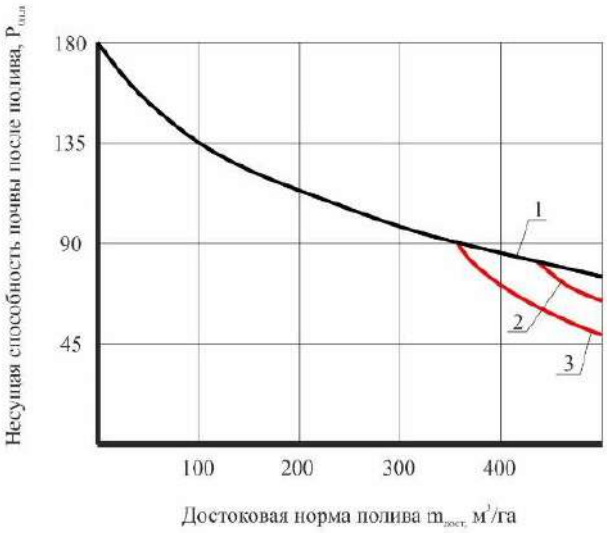
где: Q – регулируемый расход дождевального аппарата, л/с; S – регулируемая площадь дождевального аппарата, м^2.

Как видно из зависимости (2) улучшения условий по повышению несущей способности почвы при работе ДМ «Кубань-ЛК1» на сложных по рельефу участках возможно обеспечить регулированием подачи (интенсивности) воды дождевальными аппаратами, за счет уменьшения их расхода Q и увеличения площади распыла струи S.

Исходя из графической зависимости (рисунок 2) несущей способности обрабатываемой поверхности от величин достоковой нормы полива и стока, при поливе машинной нормой $m_{\text{м}} = 500$ м^3/га, для средней водопроницаемости почвы (Р = 60 мм), величина достоковой нормы $m_{\text{дост}}$, для интенсивности $\rho = 0.4$ мм/мин составляет 350 м^3/га, это обуславливает, согласно зависимости (1), снижение несущей способности почвы $P_{0\text{дп}}$ со 180 кПа до 90, дополнительно, за счет стока $m_{\text{ст}} = 150$ м^3/га – до 45 кПа.

При интенсивности же полива $\rho = 0.3$ мм/мин, присущей выровненному рельефу, обеспечиваемой посредством регулирующих устройств на склоновых участках (патент РФ №2770811), величина достоковой нормы и несущей способности почвы соответственно возрастает до 450 м^3/га и 70 кПа [2, 4].

В целях сохранения, отрегулированных по расходу и напору, параметров дождевальных аппаратов, в концевой части машины ($Q = 1.6 - 1.7$ л/с, $H = 0.30 - 0.32$ МПа), для исключения еще имеющегося стока величиной $m_{\text{ст}} = 50$ м^3/га определяемого наклонной поверхностью, повышения несущей способности почвы до 80 кПа и более, необходимо снижение интенсивности дождя до $\rho = 0.20$ мм/мин.



1, 2, 3 – интенсивность дождя ρ соответственно, 0.20; 0.3; 0.4 мм/мин.
Рисунок 2 – Зависимость несущей способности почвы от величин достоковой нормы полива и стока.

Этого можно достичь, увеличением площади распыла струи рассекателем дождевального аппарата (рисунок 3) (патент РФ №276732), обуславливающим снижение среднего значения интенсивности дождя с 0.3 до 0.2 мм/мин [1, 5].

Рисунок 3 – Водопроводящий узел дождевального аппарата.

С целью оценки несущей способности почвы в зависимости от опорно-сцепных свойств ДМ «Кубань-ЛК1» были проведены лабораторные экспериментальные исследования, определяемые качественными характеристиками дождя (величиной поливной нормы, достоковых ее значений, интенсивностью подачи и другими).

Моделирование изменения несущей способности почвы, посредством регулирования интенсивности дождя и распыла струи дождевальных аппаратов ДМ «Кубань-ЛК1» и ее влияния

на опорно-сцепные свойства машины, осуществлялось на лабораторной установке, представляющей собой почвенный канал (рисунок 4, а), на основе методики оценки функциональных показателей, утвержденной Минсельхозом России (СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей) [8]. Оценка несущей способности почвы производилась с помощью самопогружного почвомера-пенетрометра, патент РФ №209931 (рисунок 4, б).

а

б

а – почвенный канал; б – почвомер-пенетрометр.
Рисунок 4 – Оборудование для лабораторных исследований.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований по выявлению зависимости несущей способности почвы (суглинок, поле подготовленное под посев) при различных нормах полива (300; 400; 500 м^3/га) от средней интенсивности дождя представлены в таблице 1 и проиллюстрированы графической зависимостью (рисунок 5) и описаны регрессионным выражением (3):

$$p_0 = 55 + 275 \times m - 1.8996E - 14 \times \rho - 750 \times m^2 - 1.3101E - 14 \times m \times \rho + \\ +2.9436E - 17 \times \rho^2 \quad (3)$$

Таблица 1 - Показатели несущей способности почвы от режима полива (тип почвы – средний суглинок; агрофон – поле, подготовленное под посев)

Поливная норма, m, м^3/га	300			400			500		
Средняя интенсивность дождя, р, мм/мин	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
Величина стока, $m_{ст}$, м^3/га	0	0	0	0	0	50	0	50	150
Несущая способность почвы	93	93	93	86	86	75	82	69	43

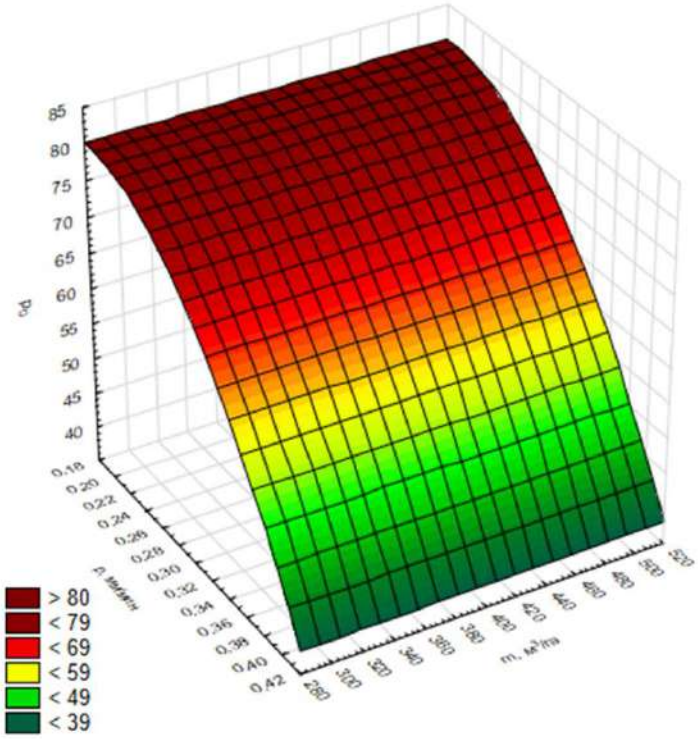


Рисунок 5 – График зависимости несущую способности почвы от значений достоковой поливной нормы и интенсивности дождя.

Как видно из приведенных данных, в целом, при увеличении значения поливной нормы с 300 до 500 м^3/га несущая способность почвы уменьшается. При этом наименьшее ее значение для типового режима обработки ($m = 500$ м^3/га) и средней интенсивности его подачи ($\rho = 0.4$ мм/мин), за счет увеличенного поверхностного стока ($m_{\text{ст}} = 150$ м^3/га), составляет около 43 кПа.

Снижение средней интенсивности дождя, за счет регулирования расхода, до 0.3 мм/мин и улучшения распыла струи дождевального аппарата, до 0.2 мм/мин, обеспечило ликвидацию поверхностного стока 100 и 50 м^3/га и повышение несущих свойств почвы до 69 и 82 кПа.

Как показали исследования, повышение несущей способности почвы с 43 кПа до 82 кПа позволило уменьшить колееобразование макетного образца тележки ДМ «Кубань-ЛК1» с 0.28 – 0.30 до 0.10 – 0.13. Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими, расхождения составляют не более 3.5%.

Заключение. При увеличении поливной нормы, на сложных по рельефу участках, с 300 до 500 м^3/га несущая способность почвы уменьшается и при интенсивности подачи раствора $\rho_{\text{ср}} = 0.4$ мм/мин (величина стока $m_{\text{ст}} = 150$ м^3/га) она составляет в пределах 43 – 47 кПа. При этом, за счет регулирования расхода и распыла струи дождевальных аппаратов и, как следствие, снижение средней интенсивности дождя, соответственно до 0.30 и 0.20 мм/мин, обеспечивается повышение несущих свойств почвенной поверхности в концевой части машины, соответственно до 0.72 и 0.82 кПа.

То есть, исходя из соответствия среднего давления ходовых систем последних тележек (0.70 – 0.80 кПа) [11] полученным показателям несущей способности почвы, можно заключить о достаточности их опорных свойств и обеспечении плановой производительности работы машины.

Список источников

1. Абдразаков Ф.К., Чуркина К.И. Оценка агротехнических и гидравлических характеристик распыла при работе различных типов щелевых распылителей // Аграрный научный журнал. 2022. №4. С.70-75.

2. Журавлева Л.А., Попков И.А., Магомедов М.С. Моделирование движения воды во вращающихся дождевателях широкозахватных дождевальных машин // Природообустройство. 2022. №1. С.48-53.

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

4. Патент на изобретение №2770811, Многоопорная дождевальная машина кругового действия / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О., Бышов Н.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В. – 2020144291, заявлено 29.12.2020, опубл. 22.04.2022. – 7 с.

5. Патент на полезную модель №2769732, Способ установки стержневого рассекателя на дождевальном аппарате / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Турапин С.С. Антипов А.О. - 2020142352, заявлено 21.12.2020, опубл. 05.04.2022. – 5 с.

6. Рязанцев А.И. Повышение опорных свойств многоопорной машины «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. // Наука в центральной России. 2022. №6 (60). С.35-41.

7. Рязанцев А.И., Турапин С.С., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. №3. С.6-10.

8. СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

9. Технические условия ТУ 4734-350-00008064-2005 / Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1» // ФГНУ ВНИИ «Радуга» - Коломна, 2005.

10. Технологические особенности полива и показатели оценки эффективности ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И., Евсеев Е.Ю. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, 2019. №4 (44). С.110-113.

11. Рязанцев, А.И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях / А.И. Рязанцев. – Рязань: Рязаньагроинформ, 1991. – 131 с.

References

1. Abdrazakov F.K., Churkina K.I. Evaluation of agrotechnical and hydraulic characteristics of the spray during the operation of various types of slot sprayers // Agrarian scientific journal. 2022. No. 4. pp.70-75.

2. Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Magomedov M.S. Modeling of water movement in rotating sprinklers of wide-reach sprinkler machines // Nature management. 2022. No. 1. pp. 48-53.

3. Optimization of wide-reach circular sprinkler machines for difficult soil-relief conditions / A. I. Ryazantsev, A.O. Gavrilitsa. – Chisinau: Stiinza, 1991. – 200 p.

4. Patent for invention No. 2770811, Multi–support sprinkler machine of circular action / Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Antipov A.O., Byshov N.V., Kostenko M.Yu., Rembalovich G.K., Beznosyuk R.V. - 2020144291, announced 12/29/2020, publ. 22.04.2022. – 7 p.

5. Patent for utility model No. 2769732, Method of installing a rod divider on a sprinkler / Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Turapin S.S. Antipov A.O. - 2020142352, declared on 12/21/2020, publ. 05.04.2022. – 5 p.

6. Ryazantsev A.I. Increasing the supporting properties of the multi-support machine "Kuban-LC1" / Ryazantsev A.I., Zazulya A.N., Evseev E.Yu., Antipov O.V., Antipov A.O. // Science in Central Russia. 2022. No.6 (60). pp.35-41.

7. Ryazantsev A.I., Turapin S.S., Evseev E.Yu., Antipov A.O. Substantiation of the regulation of the flow of sprinklers of wide-reach circular machines // Land reclamation and water management. 2022. No.3. pp.6-10.

8. STO STORK 11.1 – 2010. Tests of agricultural machinery. Sprinkler machines and installations. Methods of evaluation of functional indicators / FSBI "Rosinformagrotech". – M., 2012. – 54 p.

9. Technical specifications TU 4734-350-00008064-2005 / Sprinkler machine electrified circular "Kuban-LC1" // FGNU Research Institute "Rainbow" - Kolomna, 2005.

10. Technological features of irrigation and performance evaluation indicators of the running system DM "Kuban-LC1" / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Malko I.V., Smirnov A.I., Evseev E.Yu. // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2019. No. 4 (44). pp.110-113.

11. Ryazantsev, A.I. Mechanization of irrigation with wide-reach circular sprinkler machines in difficult conditions / A.I. Ryazantsev. – Ryazan: Ryazanagroinform, 1991. – 131 p.

Информация об авторах

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

Information about the authors

A. Ryazantsev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; A. Zazulya - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Evseev - Lecturer of the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes; A. Antipov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-40-47

К ОБОСНОВАНИЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ СЕЯЛКИ

Александр Владимирович Балашов [1], Сергей Петрович Стрыгин [2], Никита Юрьевич Пустоваров [3], Сабина Гумаровна Хайруллина [4], Виктория Викторовна Конкина [5]
[1, 2, 3] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[4] Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск, Казахстан
[2, 5] Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
[1]ntc.agro@yandex.ru, [2]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673
[3]nikita.pustovarov@mail.ru, [4]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322
[5]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182

Автор ответственный за переписку: Александр Владимирович Балашов, ntc.agro@yandex.ru
Corresponding author: Alexander Balashov, ntc.agro@yandex.ru

Реферат. *Важным аспектом, влияющим на обеспечение заданной нормы высева, является взаимодействие семян с механизмом сбрасывателя двойников при различных режимах работы высевающего аппарата. Изучение взаимодействие семян с элементами конструкции высевающего аппарата с учетом их физико-механических свойств позволит оценить эффективность размещения семян при различных скоростях движения посевного агрегата и разработать автоматические системы управления механизмом сбрасывателя двойников. Цель исследования заключается в определении статистических характеристик распределения семян в зависимости от положения сбрасывателя двойников и частоты вращения высевающего диска и определения оптимальных значений этих параметров. Конструктивно-режимные параметры высевающего аппарата были определены с использованием методики планирования многофакторного эксперимента. Использована матрица планирования второго порядка, основанная на двухфакторных планах Бокса-Уилсона. Для исследований использовали сою сорта «Лиссабон». Частота вращения диска высевающего аппарата варьировалась от 15 об/мин (нижний уровень) до 55 об/мин (верхний уровень). Положение сбрасывателя семян устанавливалась так, чтобы присасывающее отверстие было перекрыто наполовину (нижний уровень) до полностью открытого отверстия (верхний уровень). В качестве критериев оптимизации были выбраны коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян из высевающего аппарата и дробление семян. По результатам опытов получены уравнения регрессии, адекватно описывающие исследуемый процесс высева. Установлено. что управляющие факторы должны находиться в следующих пределах: частота вращения диска высевающего аппарата от 15 до 35 об/мин, а положение съемника лишних семян должно обеспечивать перекрытие отверстий на 10 – 35 %, при этом коэффициент вариации составит менее 33 %, а дробление семян менее 1 %. Полученные данные можно использовать для разработки алгоритма управления автоматического регулятора положения сбрасывателя двойников, в зависимости от скорости движения посевного агрегата.*

Ключевые слова: *высевающий аппарат, диск, качество высева, сбрасыватель семян, частота вращения, стенд.*

INVESTIGATION OF CONTROLLED PARAMETERS OF THE SEEDING APPARATUS OF AN ELECTRIFIED SEEDER

Alexander Balashov [1], Sergei Strygin [2], Nikita Pustovarov [3], Sabina Khairullina [4], Victoria Konkina [5]

[1, 2, 3] All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia
[4] Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, Uralsk, Kazakhstan
[2, 5] Tambov State Technical University, Tambov, Russia
[1]ntc.agro@yandex.ru, [2]sew1982@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7934-1673
[3]nikita.pustovarov@mail.ru, [4]hsg1988@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8492-2322
[5]konkina-tstu@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-7366-7182

Abstract. *An important aspect influencing the provision of a given seeding rate is the interaction of seeds with the mechanism of the double ejector under various operating modes of the sowing unit. The study of the interaction of seeds with structural elements of the sowing machine, taking into account their physical and mechanical properties, will allow us to evaluate the efficiency of seed placement at various speeds of the sowing unit and develop automatic control systems for the mechanism of the twin ejector. The purpose of the study is to determine the statistical characteristics of the distribution of seeds depending on the position of the twin ejector and the rotational speed of the sowing disc and to determine the optimal values of these parameters. The design and operating parameters of the sowing machine were determined using the methodology of planning a multifactorial experiment. A second-order planning matrix based on two-factor Box-Wilson plans was used. Lisbon soybeans were used for research. The speed of the meter disk was varied from 15 rpm (low level) to 55 rpm (high level). The position of the seed ejector was set so that the suction hole was blocked halfway (lower level) to a fully open hole (upper level). The coefficient of variation of the time intervals between the ejection of seeds from the sowing apparatus and the crushing of seeds were chosen as optimization criteria. The regression equations that adequately describe the seeding process under study were obtained from the results of the experiments. Installed. that the control factors should be within the following limits: the rotational speed of the seeding disc should be from 15 to 35 rpm, and the position of the excess seed remover should provide overlapping of the holes by 10 - 35%, while the coefficient of variation will be less than 33%, and the crushing of seeds less than 1 %. The data obtained can be used to develop a control algorithm for the automatic regulator of the position of the twin ejector, depending on the speed of the sowing unit.*

Keywords: *seeding machine, disk, seeding quality, seed dumper, rotation speed, stand.*

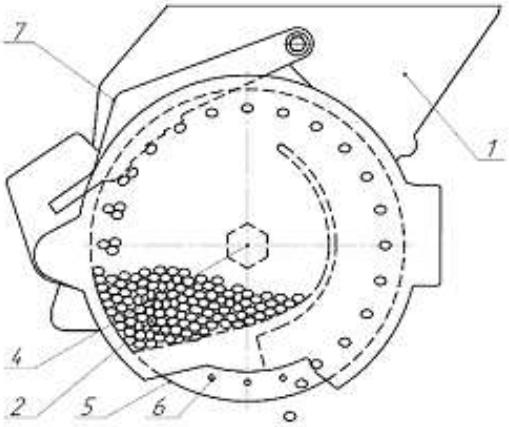
Для цитирования: Балашов А.В., Стрыгин С.П., Пустоваров Н.Ю., Хайруллина С.Г., Конкина В.В. К обоснованию управляемых параметров высевающего аппарата электрифицированной сеялки // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 40-47. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-40-47.

For citation: Balashov A., Strygin S., Pustovarov N., Khairullina S., Konkina V. Investigation of controlled parameters of the seeding apparatus of an electrified seeder. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 40-47. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-40-47.

Введение. За рубежом широкое распространение получили пневматические сеялки с электрическим приводом рабочих органов и различными системами контроля, и управления процессом высева семян. Эти сеялки отличаются разнообразием конструктивного исполнения и управляющих систем, требующих высококвалифицированного обслуживающего персонала. Система контроля высева семян на зарубежных сеялках сложна и ненадежна в эксплуатации из-за применения оптических датчиков высева, неудобного для восприятия информационного табло и проводной связи с трактором. Системы управления работой этих сеялок не предусматривают автоматического управления отдельными рабочими органами, влияющими на качество высева семян [1]. Эффективность присасывания семян к отверстиям дисков пневматических высевающих аппаратов определяется размерами и формой семян, их поверхностной шероховатостью и взаимным сцеплением, также зависит от диаметра присасывающих отверстий, частоты вращения диска и разрежения в вакуумной камере [2].

Оптимальные конструктивно-режимные параметры работы высевающих аппаратов обеспечивают качественный высев семян с равномерным распределением по длине рядка [3-5].

При определенных значениях указанных параметров обеспечивается надежное присасывание единичного семени к отверстию на диске, при отсутствии незаполненных отверстий (нулевые подачи семян). При присасывании нескольких семян к одному отверстию (групповые подачи семян) необходимо удалить лишние семена специальными устройствами на высевающем аппарате называемые сбрасывателями двойников. Следует отметить разнообразие конструктивного исполнения сбрасывателей двойников высевающих аппаратов, которые выполнены в виде пластин с пилообразными выступами различной высоты и шага размещения. Под действием сбрасывателя группа семян удаляются от присасывающего отверстия и смещаются к центру вращающегося диска, и падают обратно в семенную камеру (рисунок 1). При этом центральное семя перекрывает большую площадь отверстия и удерживается с большей силой, чем боковые семена. [2, 3].



1 – бункер, 2 – семя, 3 – вакуумная камера;4 – ось, 5 – высевающий диск, 6 – отверстие, 7 – сбрасыватель лишних семян

Рисунок 1 – Схема пневматического высевающего аппарата

Качество и своевременность посева семян определяет рост и развитие растений, способствующие получению высокого урожая возделываемой культуры, определяющего применением высокоурожайных семян, правильным выбором нормы высева, эффективных технологий возделывания культуры [6, 7]. Качество посева определяется не только конструктивным исполнением высевающих аппаратов, настройкой и регулировкой сеялки, контролем высева семян, но и режимами управления работой посевного агрегата в зависимости от скорости движения и условий его использования [8]. Поэтому необходимо изучать такие параметры, как частоту вращения диска, разрежение вакуума, а также разработать эффективные алгоритмы систем автоматического управления механизмом сбрасывателя двойников и процессом высева [9-11]. Это позволит оценить равномерность выбросов семян из высевающего аппарата и их размещения при различных скоростях движения посевного агрегата [12].

Цель данного исследования заключается в определении оптимальных конструктивно-режимных параметров посевного агрегата, учитывающие статистические характеристики распределения семян в зависимости от положения сбрасывателя двойников и частоты вращения высевающего диска, влияющие на качественные показатели работы высевающего аппарата.

Материалы и методы. Лабораторные исследования по определению качественных показателей работы пневматического высевающего аппарата сеялки ТС-М-4150А с пластинчатым сбрасывателем двойников проведены на специально изготовленном стенде, изображенном на рисунке 2. Для вращения высевающего диска применялся электродвигатель FL86BLS71, управляемый блоком управления бесколлекторным двигателем BLSD-50 и панелью оператора MT6071iE. Электродвигатель питался от импульсного источника питания SDR-960-48. В качестве исследуемого посевного материала использовали сою сорта «Лиссабон» [12]. Для обработки результатов исследований высевающего аппарата применялось программное обеспечение,

разработанное сотрудниками ФГБНУ ВНИИТиН, которое предназначено для оценки равномерности распределения семян высевающими аппаратами сеялок точного высева.

Рисунок 2 – Общий вид лабораторного стенда

В качестве входных данных служат файлы результатов исследований высевающих аппаратов различных типов на различных режимах работы. Программа позволяет определить различные параметры качества работы высевающего аппарата, включая количество двойников, пропусков и дробленных семян на основании продолжительности взаимодействия семян с датчиком высева [13].

В ходе лабораторных исследований фиксировали продолжительность пролета семян через чувствительные пластины датчика высева с точностью до одной миллисекунды, которая записывается и отображается на дисплее в виде графика (рисунок 3). Данные графики сохранялись в компьютере и обрабатывались с использованием математической статистики при помощи программных пакетов Mathcad, Microsoft Excel и Python [14].

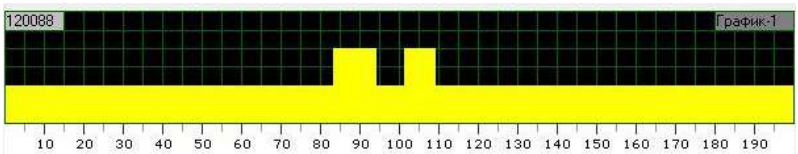


Рисунок 3 – Интерфейс программы определения неравномерности высева и дробления семян

Конструктивно-режимные параметры высевающего аппарата были определены по методике планирования многофакторного эксперимента с использованием матрицы планирования второго порядка, основанной на двухфакторных планах Бокса-Уилсона [15, 16]. В качестве критериев оптимизации выбраны коэффициент вариации интервалов времени (v) между выбросами семян сои из высевающего диска и дробление семян (Δ). Для исследования были выбраны факторы, влияющие на равномерность высева: частота вращения высевающего диска (w, об/мин) и положение сбрасывателя семян (p) в зависимости от степени перекрытия отверстия [17]. Предварительно было определено положение сбрасывателя семян, обеспечивающее стабильное присасывание семян к отверстиям на диске. Были определены уровни и интервалы варьирования этих факторов, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы и уровни варьирования факторов

Факторы	Обозначение	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
Частота вращения высевающего диска	w, об/мин	15	35	55
Положение сбрасывателя семян, обеспечивающее перекрытие отверстия*	p	0,5	0,75	1

*Примечание: 1 – полностью открытое отверстие, 0,5 – перекрыта половина площади отверстия

Результаты и их обсуждения. По результатам опытов с использованием многофакторного плана эксперимента определены уравнения регрессии адекватно описывающих исследуемый процесс высева семян высевающим аппаратом с учетом значимости коэффициентов регрессии:

$$v(w,p) = 65.45 + 0.66 \cdot w - 169.74 \cdot p - 1.58 \cdot w \cdot p + 0.013 \cdot w^2 + 132 \cdot p^2 \quad (1)$$

$$\Delta(w,p) = 4.68 + 0.02 \cdot w - 10.1 \cdot p - 0.02 \cdot w \cdot p + 5.39 \cdot p^2 \quad (2)$$

Влияние управляющих факторов на изменение критериев оптимизации изучено с помощью двумерных сечений (рисунки 4, 5).

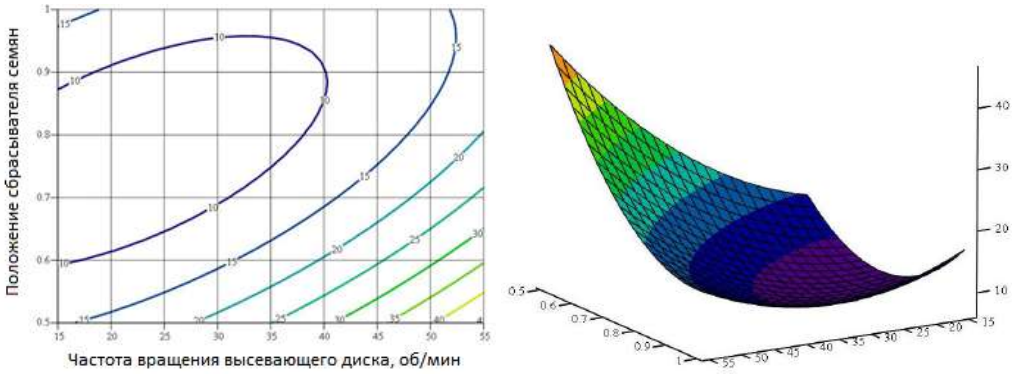


Рисунок 4 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента вариации (v) от частоты вращения высевающего диска и положения сбрасывателя семян

Из рисунка 4 следует, что при полностью открытом отверстии коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян составляет менее 16 % на всем диапазоне исследуемых частот вращения диска. При перекрытии отверстий наполовину, с увеличением частоты вращения диска до 45 об/мин, присасывающей силы недостаточно, что приводит к появлению пропусков семян, а коэффициент вариации достигает критического значения 33 % [18], которое не соответствует агротехническим требованиям к точному высеву семян сеялками. Оптимальные значения коэффициента вариации находятся в диапазоне частоты вращения высевающего диска от 15 до 35 об/мин при перекрытии 10% – 35% площади присасывающих отверстий. Допустимые параметры работы высевающего аппарата, на всем диапазоне исследуемых скоростей, при установке сбрасывателя семян, обеспечивающего перекрытие отверстий до 40% от их площади.

С учетом данных, представленных на рисунке 5, можно сделать вывод, что дробление семян составляет менее 1 % на всем диапазоне исследуемых частот вращения высевающего диска при установке сбрасывателя семян, обеспечивающем перекрытие отверстия до 40%. На повышенных скоростях, при взаимодействии со сбрасывателем, семена травмируются, что отрицательно сказывается на показателе дробления семян. Таким образом, учитывая полученные данные с учетом критериев оптимизации управляющие факторы должны находиться в следующих пределах: частота вращения диска высевающего аппарата от 15 до 35 об/мин, а положение съемника лишних семян должно обеспечивать перекрытие отверстий на 10 – 35% от их площади.

Заключение. Согласно проведенным исследованиям получены уравнения регрессии для определения коэффициента вариации и дробления семян в зависимости от частоты вращения диска высевающего аппарата и установки положения сбрасывателя семян.

Полученные данные можно использовать для разработки алгоритма управления автоматического регулятора положения сбрасывателя двойников, в зависимости от скорости движения посевного агрегата.

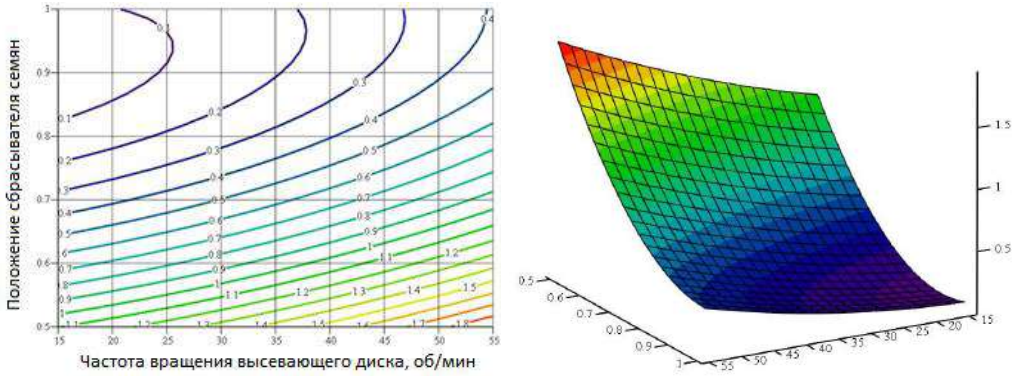


Рисунок 5 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость дробления семян (Δ) от частоты вращения высевающего диска и положения сбрасывателя семян

Список источников

1. Балашов, А. В. Совершенствование технологии возделывания и уборки сахарной свеклы агрегатами блочно-модульного построения на базе интегрального энергосредства: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Балашов Александр Владимирович. – Мичуринск, 2020. – 386 с. – Библиогр.: с. 291–316.

2. Несмиян, А. Ю. Влияние диаметра присасывающих отверстий аппарата точного высева на характеристики подачи семян кукурузы и подсолнечника / А. Ю. Несмиян, К. П. Дубина, А. П. Жигайлова // Инженерные технологии и системы. – 2023. – Т. 33, № 1. – С. 21-36. – DOI 10.15507/2658-4123.033.202301.021-036. – EDN VHRCTI.

3. Василенко, В. В. Инверсия семян и ее влияние на качество пунктирного посева / В. В. Василенко, С. В. Василенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 2(61). – С. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102. – EDN WMRPRL.

4. Development and research of seeding devices for selected self-propelled pneumatic seeder / N. P. Kryuchin, D. N. Kotov, A. N. Andreev, O. A. Artamonova // International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2021) : Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources, Kazan, 28–29 мая 2021 года. Vol. 37. – Kazan: EDP Sciences, 2021. – P. 00092. – DOI 10.1051/bioconf/20213700092. – EDN HVWRYT.

5. Крючин, Н. П. Влияние способов формирования семенного потока высевающими аппаратами на равномерность распределения семян в рядке / Н. П. Крючин // Научное обозрение. – 2015. – № 3. – С. 8-12. – EDN TLPGPN.

6. Измайлов, А. Ю. Точное земледелие: проблемы и пути решения / А. Ю. Измайлов, Г. И. Личман, Н. М. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 5. – С. 9-14. – EDN MWLXCJ.

7. Завражнов, А. И. Разработка и обоснование параметров емкостного датчика высева семян пропашных культур / А. И. Завражнов, Я. П. Лобачевский, Н. Ю. Пустоваров // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 2. – С. 4-9. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-2-4-9. – EDN AOHVCV.

8. Модернизированная система контроля высева семян / А. И. Завражнов, А. В. Балашов, С. П. Стрыгин [и др.] // Наука в центральной России. – 2019. – № 2(38). – С. 53-60. – EDN FJQTFM.

9. Управление производственными процессами полеводческих предприятий с использованием информационных и цифровых технологий / А. Ю. Измайлов, И. Г. Смирнов, Е. Н. Ильченко [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 1(30). – С. 180-190. – EDN VXNHUU.

10. Автоматизированные системы управления для оптимизации работы МТА / А. Ю. Измайлов, В. К. Хорошенков, Е. С. Лужнова [и др.] // Сельский механизатор. – 2017. – № 7. – С. 14-16. – EDN YTXFUX.

11. Черноиванов, В. И. Агрокиборг как биомашсистема / В. И. Черноиванов, Г. К. Толоконников // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 9(303). – С. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5. – EDN YUSXKX.

12. Исследование параметров взаимодействия семян с емкостным датчиком высева / А. В. Балашов, С. П. Стрыгин, Н. Ю. Пустоваров, А. О. Ноздрина // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С. 69-77. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-69-77. – EDN BKJRLV.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616149 Российская Федерация. Оценка качества работы высевающих аппаратов сеялок точного высева : № 2022612371 : заявл. 21.02.2022 : опубл. 05.04.2022 / С. П. Стрыгин, Н. Ю. Пустоваров, А. О. Ноздрина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». – EDN UGDZIW.

14. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

15. Попов, А. А. Оптимальное планирование эксперимента в задачах структурной и параметрической идентификации моделей многофакторных систем / А. А. Попов. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 296 с. – (Монографии НГТУ). – ISBN 978-5-7782-2329-5. – EDN SHEJZV.

16. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 1976. – 280 с. – EDN TOBZDM.

17. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – Москва: Физматлит, 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-9221-0812-6. – EDN RYRTAR.

Особенности процесса пунктирного высева капсулированных семян / В. В. Василенко, С. В. Василенко, К. Р. Казаров, В. В. Труфанов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 4(63). – С. 38-44. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.38. – EDN OYFKCR.

References

1. Technological improvement of cultivations and transitions of the sugar system of the blochen aggregates-modular construction on the basis of an integrated energy facility: specialization 05.20.01 "technology and environment of mechanics of rural space": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Alexander Vladimirovich Balashov. - Michurinsk, 2020. - 386 p.

2. Influence of Suction Hole Diameter of Precision Seed Machine on the Characteristics of Feeding Corn and Sunflower Seeds / A. Yu. Nesmian, K. P. Dubina, A. P. Zhigailova // Engineering technologies and systems. – 2023. – Vol. 33, No. 1. – P. 21-36. – DOI 10.15507/2658-4123.033.202301.021-036.

3. Inversion of seeds and its effect on the quality of single-grain sowing / V. V. Vasilenko, S. V. Vasilenko // Vestnik of Voronezh state agrarian university. – 2019. – Vol. 12, No. 2(61). – P. 102-108. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.102.

4. Development and research of seeding devices for selected self-propelled pneumatic seeder / N. P. Kryuchin, D. N. Kotov, A. N. Andreev, O. A. Artamonova // International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2021) : Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources, Kazan, 28–29 мая 2021 года. Vol. 37. – Kazan: EDP Sciences, 2021. – P. 00092. – DOI 10.1051/bioconf/20213700092. – EDN HVWRYT.

5. Influence of the ways of seed flow formation by sowing devices on the evenness of seeds distribution in the bed / N. P. Kryuchin // Scientific Review. – 2015. – No. 3. – P. 8-12.

6. Precision agriculture: problems and solutions / A. Y. Izmailov, G. I. Lichman, N. M. Marchenko // Agricultural machinery and technologies. - 2010. – No. 5. – P. 9-14.

7. Development and determination of the parameters of a capacitive seed sowing sensor for row crops / A. I. Zavrazhnov, Ya. P. Lobachevsky, N. Yu. Pustovarov // Agricultural machinery and technologies. – 2019. – Vol. 13, No. 2. – P. 4-9. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-2-4-9.

8. Modernized control system for sowing seeds / A. I. Zavrazhnov, A. V. Balashov, S. P. Strygin [et al.] // Science in the central Russia. – 2019. – Vol. 2(38). – P. 53-60.

9. Development and determination of the parameters of a capacitive seed sowing sensor for row crops / A. I. Zavrazhnov, Ya. P. Lobachevsky, N. Yu. Pustovarov // Agricultural machinery and technologies. – 2019. – Vol. 13, No. 2. – P. 4-9. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-2-4-9.

10. Automated control systems for optimizing the work of the MTA / A. Y. Izmailov, V. K. Khoroshenkov, E. S. Luzhnova [et al.] // Selskiy Mechanizator. – 2017. – No. 7. – P. 14-16.

11. Agrocyborg as a biomachine system / V. I. Chernoivanov, G. K. Tolokonnikov // Machinery and equipment for rural area. – 2022. – № 9(303). – P. 2-5. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-9-2-5.

12. Research of interaction the seeds with a capacitive sowing sensor / A. V. Balashov, S. P. Strygin, N. Yu. Pustovarov [et al.] // Science in the central Russia. – 2022. – Vol. 2(56). – P. 69-77. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-69-77.

13. Certificate of state registration of the computer program No. 2022616149 Russian Federation. Evaluation of the quality of the seeding machines of precision seeding drills: No. 2022612371: application. 02/21/2022 : publ. 05.04.2022 / S. P. Strygin, N. Y. Pustovarov, A. O. Nozdrina ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture".

14. Python Materials Genomics (pymatgen): A robust, open-source python library for materials analysis / S. P. Ong, W. D. Richards, G. Ceder [et al.] // Computational Materials Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 314-319. – DOI 10.1016/j.commatsci.2012.10.028. – EDN SSLYAN.

15. Optimal experimental planning in problems of structural and parametric identification of models of multifactor systems / A. A. Popov. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2013. - 296 p. – (Monographs of NSTU). – ISBN 978-5-7782-2329-5.

16. Experiment planning in the search for optimal conditions / Yu. P. Adler, E. V. Markova, Yu. V. Granovsky. – 2nd edition, revised and expanded. – Moscow: Federal State Unitary Enterprise "Academic Scientific Publishing, Production, Printing and Book Distribution Center "Nauka", 1976. - 280 p.

17. Pareto-optimal solutions of multicriteria problems / V. V. Podinovsky, V. D. Nogin. – Moscow: Fizmatlit, 2007. – 256 p. – ISBN 978-5-9221-0812-6.

Specific features of single-grain sowing of capsulated seeds / V. V. Vasilenko, S. V. Vasilenko, K. R. Kazarov, V. V. Trufanov // Vestnik of Voronezh state agrarian university. – 2019. – T. 12, № 4(63). – P. 38-44. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.38.

Информация об авторах

А. В. Балашов – доктор технических наук, доцент; С. П. Стрыгин – кандидат технических наук; Н. Ю. Пустоваров – кандидат технических наук; С. Г. Хайруллина – доктор PhD, кандидат технических наук; В. В. Конкина – кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Balashov – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; S. Strygin – Candidate of Technical Sciences; N. Pustovarov – Candidate of Technical Sciences; S. Khairullina – PhD, Candidate of Technical Sciences; V. Konkina – Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 15.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 634.4.084
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-48-56

ОТБОР ПРОБ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ

Сергей Михайлович Ведищев [1], Николай Васильевич Хольшев [2], Алексей Владимирович Прохоров [3], Андрей Юрьевич Глазков [4], Максим Евгеньевич Выгузов [5]
[1,2,3,4,5] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1]serg666_65@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809
[2]xhb@live.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809
[3]pav1981@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809
[4] glazkov.ay@mail.ru
[5] maks_vyguzo@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Сергей Михайлович Ведищев, serg666_65@mail.ru
Corresponding author: Sergey Vedishchev, serg666_65@mail.ru

Реферат. *Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных кормосмесей связано с увеличением в структуре рационов кормления сельскохозяйственных животных комбикормов, полученных в условиях фермерских хозяйств. Отмечено, что повышение усвояемости и поедаемости кормов, снижение удельных затрат энергии на производство кормовых смесей зависит от качества их смешения. Методологической основой работы служили результаты исследований последних лет ведущих отечественных ученых в области совершенствования технологических процессов приготовления кормосмесей, конструктивных и режимных параметров смесителей. Дан анализ методов отбора проб: периодического для смесителей периодического действия; кумулятивного, позволяющего получить обобщенную пробу, более репрезентативную для процесса смешивания, также применимого для исследования смесителей периодического действия; с применением специальных приспособлений – пробоотборников для получения наиболее точных проб. При контроле однородности смеси выделена важность выбора контрольного компонента, ориентированного на функциональные особенности смесителей, вне зависимости от применяемого метода отбора проб. Проведенный анализ существующих исследований показал широкий ассортимент контрольных компонентов, способов отбора проб и разделения компонентов при исследовании процесса смешивания машинами различной конструкции и принципов действия. Анализ работ показал, что с целью уменьшения затрат времени на выделение контрольного компонента и обеспечения достоверности проводимых исследований нужно учитывать природу смешиваемых культур. При выборе в качестве контрольных компонентов семян донника, клевера, пшена достаточно массы пробы 5 грамм.; семян свеклы, гречихи, пшеницы и ячменя - 100 грамм; семян гороха, кукурузы - 300 грамм. В качестве наиболее применимого для выделения контрольного компонента отмечен ситовый классификатор с оптимальным подбором смеси с возможностью разделения при ситовом или решетном анализе. Рекомендовано ориентироваться на метод периодического отбора проб при исследовании смесителей периодического смешивания. Для исследования работы смесителей непрерывного действия и оценки общего качества смешивания в смесителях периодического действия рекомендован кумулятивный метод отбора проб с использованием пробоотборников.*

Ключевые слова: *отбор проб, смешивание, контрольный компонент.*

SAMPLING WHEN ASSESSING THE QUALITY OF MIXING

Sergey Vedishchev [1], Nikolay Holshev [2], Alexey Prokhorov [3], Andrey Glazkov [4], Maxim Vyguzov [5]
[1,2,3,4,5] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1]serg666_65@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809

[2]xhb@live.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809
[3]pav1981@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-3759-9809
[4] glazkov.ay@mail.ru
[5] maks_vyguzo@mail.ru

Abstract. *The improvement of the technological process of preparing dry loose feed mixtures is associated with an increase in the structure of feed rations for farm animals in the conditions of farms. It is noted that an increase in the digestibility and palatability of feed, a decrease in the specific energy consumption for the production of feed mixtures depends on the quality of their mixing. The methodological basis of the work was the results of studies of recent years by leading domestic scientists in the field of improving the technological processes for preparing feed mixtures, design and operating parameters of mixers. The analysis of sampling methods is given: periodic for batch mixers; cumulative, allowing to obtain a generalized sample, more representative of the mixing process, also applicable to the study of batch mixers; using special devices - samplers to obtain the most accurate samples. The importance of selecting a control component oriented to the functional features of the mixers, regardless of the sampling method used, is highlighted when monitoring the homogeneity of the mixture. The analysis of existing studies showed a wide range of control components, methods of sampling and separation of components in the study of the mixing process by machines of various designs and principles of operation. The analysis of the works showed that in order to reduce the time spent on isolating the control component and ensure the reliability of the studies, it is necessary to take into account the nature of the mixed cultures. When choosing seeds of sweet clover, clover, millet as control components, a sample mass of 5 grams is sufficient; seeds of beets, buckwheat, wheat and barley, a sample mass of 100 grams is sufficient; seeds of peas, corn, a sample mass of 300 grams is sufficient. A sieve classifier with optimal selection of the mixture with the possibility of separating in sieve or sieve analysis is noted as the most applicable for the isolation of the control component. It is recommended to focus on the method of periodic sampling when examining batch mixers. The cumulative sampling method using samplers is recommended for investigating the performance of continuous mixers and evaluating the overall quality of mixing in batch mixers.*

Keywords: *sampling, mixing, control component.*

Для цитирования: Ведищев С.М., Хольшев Н.В., Прохоров А.В., Глазков А.Ю., Выгузов М.Е. Отбор проб при оценке качества смешивания // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 48-56. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-48-56.

For citation: Vedishchev S., Holshev N., Prokhorov A., Glazkov A., Vyguzov M. Sampling when assessing the quality of mixing. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 48-56. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-48-56.

Введение. Для эффективного развития животноводства очень важно рациональное кормление. Сбалансированные корма представляют собой смеси многих питательных веществ. В настоящее время много работ посвящено совершенствованию технологического процесса смешивания сухих рассыпных кормосмесей. Это напрямую связано с изменением в структуре рационов кормления животных и птицы при промышленном производстве продукции в условиях крупных, крестьянских фермерских (КФК) и личных подсобных (ЛПХ) хозяйств. За последние 30 лет доля концентрированных кормов структуре потребления возросла с 48% до 87% от потребления кормов всех видов (концентрированные, сочные и грубые корма) [1]. Совершенствование процессов смешивания компонентов кормосмеси позволяет повысить усвояемость кормов, поедаемость кормов, снизить удельные затраты на производство комбикормов. Одним из неотъемлимых элементов при этом является оценка качества смеси.

Материалы и методы исследования. Методологической основой работы служили результаты исследований последних лет ведущих отечественных ученых в области совершенствования технологических процессов приготовления кормосмесей, конструктивных и режимных параметров смесителей [2-27]. При исследовании качества полученной смеси

применяют следующие способы отбора проб: метод периодического отбора проб [2-4], метод кумулятивного отбора проб [16, 20], использование специальных пробоотборников [14, 15].

Метод периодического отбора проб заключается в отборе проб через определенные промежутки времени. Недостатком этого метода является то, что он не учитывает изменения в процессе смешивания и может привести к нерепрезентативным результатам. Наиболее применим при исследовании работы смесителей периодического действия, а также исследования распределения материалов внутри корпуса смесителя (по высоте, по площади и т.д.).

Метод кумулятивного отбора проб (пробы отбираются на протяжении определенного периода времени и смешиваются в единую пробу). Этот метод позволяет получить пробу, более репрезентативную для процесса смешивания применим для исследования смесителей периодического действия (контроль распределения компонентов при выгрузке) и смесителей непрерывного смешивания. Отбор проб осуществляется с применением специальных приспособлений (сменных емкостей, ленточных транспортеров и иных устройств, приспособлений).

Использование специальных пробоотборников состоит в установке непосредственно в смеситель или на выгрузке смеси в благоприятном для отбора месте специальных устройств для отбора определенного количества смеси. Этот метод позволяет получить наиболее точные пробы.

Вне зависимости от применяемого метода отбора проб при контроле однородности смеси является выбор массы пробы и контрольного компонента. При оценке качества приготовления кормосмесей в первую очередь выбор контрольного компонента ориентирован на функциональные особенности смесителей (приготовление кормосмесей, введение премиксов или лечебных препаратов).

В таблице 1 приведены данные по оборудованию, используемому для оценки качества кормосмесей для разных сельскохозяйственных культур разными исследователями.

Таблица 1 –Анализ исследований оценки качества смеси

Материал	Исследователи	Тип смесителя
гречиха, горох, кукуруза	Сторожук Т. А.[4]	двухступенчатый смеситель концентрированных кормов
зерна кукурузы	Булатов С. Ю., Нечаев В. Н., Шамин А. Е. и др. [5]	СЛГ-2А
горох	1. Савиных П. А., Турубанов Н. В. [6]. 2. Турубанов Н. В., Медведев О. Ю., Исупов А. Ю. [8]. 3. Николаев В. Н., Зязев Е. В. [13].	1, 2 - ленточный смеситель, 3 - аэродинамический смеситель
измельченная поваренная соль	Хлыстунов В. Ф., Брагинец С. В., Алферов А. С., Чернуцкий М. В. [7]	наклонный шнековый смеситель
окрашенное пшено	Опара В. О., Корж О. В., Попсуй В. В. [9]	смеситель кормов ООО «Астарта»
ферромагнитные микротрейсеры	Жданова Н. В. [10]	любые смесители
Контрольный компонент — зерна ячменя или семена свеклы	ГОСТ 34748—2021 Техника сельскохозяйственная. Раздатчики кормов. Методы испытаний	Раздатчики кормов, смесители кормов
Контрольный компонент семена донника подкрашенные	Ведищев С. М., Хольшев Н. В. [2, 12]	горизонтальный двухвальный смеситель периодического действия с комбинированными рабочими органами

Контрольный компонент зерно ячменя, окрашенное нитроэмалью в красный цвет	Эшдавлатов Э. У., Эшдавлатов А. Э., Суюнов А. А. [14, 15]	двухзаходный винт с прерывистыми виткам
Контрольный компонент -зерно пшеницы	Булатов С.Ю., Воронов Е.В., Шамин А.Е., Сергеев А.Г. [16]	Vmix plus 10 N-1S BvL смеситель-кормораздатчик фирмы SILOKING
семена клевера	Чупшев А. В., Коновалов В. В., Гусев С. В. [17]	Смеситель с комбинированным рабочим органом
зерна ячменя	1. Коновалов В. В., Терюшков В. П., Чупшев А. В., Коновалов В. В. [18]. 2. Коновалов В. В., Терюшков В. П., Чупшев А. В., Коновалов В. В. [19]. 3. Извеков Е. А. [20].	1. лопастно-ленточным рабочий орган смесителя 2. Комбинированный рабочий орган. 3. ИСРК-12; STRAUTMANN; SILOKING; kompakt; TRIOLIET; SOLOMIX; 2-1200; PRONAR; VMR-10S
неокрашенное (ключевой компонент) пшено семена люцерны (ключевой компонент)	Демин О.В. [21]	одновальный лопастной смеситель

Результаты и их обсуждение. Проведенный анализ существующих исследований [2-27] показал широкий ассортимент контрольных компонентов (таблица 1), способов отбора проб и разделения компонентов при исследовании процесса смешивания машинами различной конструкции и принципов действия.

Анализируя представленные работы приходим к выводу, что несмотря на рекомендации нормативной документации (ГОСТ, РД), необходимо учитывать концентрацию контрольного компонента и массу пробы, которая отбирается для анализа, к примеру навеска в 5 грамм при концентрации 1% по массе. Очевидно, что при добавлении 1% контрольного компонента не всегда является достаточным для обнаружения контрольного компонента в пробе, например, при массе пробы 5 грамм и выборе в качестве контрольного компонента кукурузы при общей массе смешиваемых компонентов 400 кг масса контрольного компонента должна составлять 0,05 грамма, если перевести на количество зерен от 1 до 3 зерен, а учитывая разброс массы 1 зерна можно прийти к неверному выводу о качестве получаемой смеси.

Таблица 2 – Характеристика семян

Культура	масса 1000 семян	масса 1 семени	Источник
кукуруза	210-300	0,21-0,3	[23, 24]
пшеница	30-50	0,03-0,05	[23, 24]
ячмень	31-51	0,031-0,051	[23, 24]
донник	2,6–2,8	0,0026-0,0028	
клевер	0,6-1,8	0,00006-0,0018	
просо/пшено	3-11	0,003-0,011	[23, 24]
семена свеклы	10-12	0,01-0,012	
горох	100-170	0,1-0,17	[23, 24]
гречиха	20-35	0,02-0,035	

Заключение. Рекомендуемая масса навесок проб, в соответствии с нормативной документацией, составляет 5 г., 100 г., 300 г., а концентрация контрольного компонента 1% [11]. При выборе массы пробы 5 г. следует выбирать в качестве контрольного компонента семена донника, клевера, пшено, при массе пробы 100 грамм соответственно целесообразно выбрать в качестве контрольного компонента семена свеклы, гречихи, пшеницы и ячменя, а при массе пробы 300 грамм семена гороха, кукурузы с целью уменьшения затрат времени на выделение контрольного компонента и обеспечения достоверности проводимых исследований.

Для большинства научных коллективов наиболее применимым для выделения контрольного компонента является ситовый классификатор с оптимальным подбором смеси с возможностью разделения при ситовом или решетном анализе, несмотря на приобретающие популярность иных методов выделения контрольного компонента (анализ цифровых фотографий [9, 25, 26], применение ферромагнитных контрольных компонентов [10], ионометрический способ [7] и др. требуют зачастую дополнительного оборудования, программного обеспечения и дополнительных исследований проб.

В большинстве случаев следует ориентироваться на метод периодического отбора проб при исследовании смесителей периодического смешивания, так как в данном случае есть возможность не только оценить качество смешивания, но и выявить застойные зоны в конструктивном исполнении смесителей. Для исследования работы смесителей непрерывного действия и оценки общего качества смешивания смесителей периодического действия наиболее подходит кумулятивный метод отбора проб с использованием пробоотборников, выделяющих часть от общего потока смеси на выходе для последующего анализа.

Список источников

1. Структура потребления кормов 2010-2021 гг. в сельскохозяйственных организация всех категорий скотом и птицей, тыс. тонн кормовых единиц [https://www.fedstat.ru/indicator/31401].

2. Хольшев, Н. В. Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных кормосмесей шнеколопастным смесителем: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / Хольшев Николай Васильевич; [Место защиты: Мичурин. гос. аграр. ун-т]. - Тамбов, 2015. - 209 с.

3. Ведищев, С. М. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи кормосмесей в сельскохозяйственных свиноводческих организациях: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.01 / Ведищев Сергей Михайлович; [Место защиты: Мичурин. гос. аграр. ун-т]. - Тамбов, 2018. - 381 с.

4. Сторожук, Т. А. Оптимизация процесса смешивания кормов / Т. А. Сторожук // Научный журнал КубГАУ. 2019. №148. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-protsessa-smeshivaniya-kormov (дата обращения: 04.04.2023).

5. Результаты исследования рабочего процесса двухвалкового смесителя сухих компонентов / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Е. Шамин [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 8(278). – С. 22-26. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-8-22-26. – EDN QKNUDM.

6. Савиных П. А., Турубанов Н. В. Влияние изменения технологических параметров смесителя комбикормов на показатели его работы / П. А. Савиных, Н.В. Турубанов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(5):732-739. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739.

7. Влияние конструктивных и кинематических параметров на энергоёмкость процесса в наклонном шнековом смесителе / В. Ф. Хлыстунов, С. В. Брагинец, А. С. Алферов, М. В. Чернуцкий // Вестник Донского государственного технического университета. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 408-413. – DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-4-408-413. – EDN YSDTGP.

8. Турубанов, Н. В. Исследование смешивания материала в горизонтальном ленточном смесителе / Н. В. Турубанов, О. Ю. Медведев, А. Ю. Исупов // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : Сборник статей 2-е издание, исправленное и дополненное, Киров, 18–29 апреля 2016 года / Вятский государственный университет. – Киров: Вятский государственный университет, 2016. – С. 864-870. – EDN WXZVLR.

9. Опара, В. Упрощенный способ определения качества смешивания компонентов комбикормов в производственных условиях / В. Опара, О. Корж, В. Попсуй //Zootehnie şi biotehnologii. – 2015. – Т. 44. – С. 122-125.

10. Жданова, Н.В. Применение ферромагнитных микротрейсеров как индикаторов определения качества однородности лечебных кормов, комбикормов и премиксов / Н.В. Жданова // Техника и технологии в животноводстве. 2018. №2 (30). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-ferromagnitnyh-mikrotreyserov-kak-indikatorov-opredeleniya-kachestva-odnorodnosti-lechebnyh-kormov-kombikormov-i (дата обращения: 05.04.2023).

11. ГОСТ 34748-2021. Техника сельскохозяйственная. Раздатчики кормов. Методы испытаний.

12. Ведищев, С. М. Исследование влияния конструктивно- режимных параметров шнеколопастного смесителя на его качественные показатели / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 3(34). – С. 32-34. – EDN LITNWP.

13. Николаев, В. Н. Результаты исследований процесса смешивания сыпучих кормов в аэродинамическом смесителе / В. Н. Николаев, Е. В. Зязев // АПК России. – 2022. – Т. 29, № 3. – С. 331-335. – DOI 10.55934/2587-8824-2022-29-3-331-335. – EDN CGLNIB.

14. Эшдавлатов, Э. У. Обоснование параметров и режимов работы смесителя непрерывного действия с тепловой обработкой кормов: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Эшдавлатов Эшпулат Узакович. – Балашиха, 1990. – 16 с. – EDN ZJMUFN.

15. .Эшдавлатов Э. У. Повышение интенсивность процесса непрерывного смешивания кормов / Э.У. Эшдавлатов, А.А. Суюнов // Universum: технические науки. 2021. №4-3 (85). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-intensivnost-protsessa-nepreryvnogo-smeshivaniya-kormov (дата обращения: 15.04.2023).

16. Булатов, С.Ю. Оценка равномерности распределения премиксов в полнорационных кормах при их подготовке в смесителях / С.Ю. Булатов, Е.В. Воронов, А.Е. Шамин, А.Г. Сергеев // Пермский аграрный вестник. 2019. №3 (27). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ravnomernosti-raspredeleniya-premiksov-v-polnoratsionnyh-kormah-pri-ih-podgotovke-v-smesitelyah (дата обращения: 07.04.2023).

17. Чупшев, А. В. Экспериментальные исследования смесителя кормов / А.В. Чупшев, В.В. Коновалов, С.В. Гусев // Нива Поволжья. 2008. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-smesitelya-kormov.

18. Оптимизация конструктивно-кинематических параметров смесителя сухих кормов с лопастно-ленточным рабочим органом / В. В. Коновалов, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 83-88. – EDN QJCHOV.

19. Оптимизация технологических параметров смесителя с комбинированным рабочим органом / В. В. Коновалов, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 83-87. – EDN SFOUMZ.

20 Извеков, Е. А. Оценка качества работы кормоприготовительных агрегатов и пути совершенствования их конструкции / Е. А. Извеков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4(43). – С. 98-103. – EDN TRVBOH.

21. Демин, О. В. Совершенствование методов расчета и конструкций лопастных смесителей: дис.... канд. техн. наук : 05.02.13. - Тамбов, 2003. - 210 с.

22. Астапов, С. Ю. Повышение эффективности смешивания в мобильном раздатчике-смесителе за счет совершенствования шнекового аппарата: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Астапов Сергей Юрьевич; [Место защиты: Мичурин. гос. аграр. ун-т]. - Мичуринск, 2007. - 138 с.: ил.

23. Завражнов, А. И. Влияние конструктивных параметров мобильного смесителя-раздатчика кормов на однородность смешивания / А. И. Завражнов, С. Ю. Астапов // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 6. – С. 25-27. – EDN IUFSLR.

24. Целуйко О. А. Зависимость массы 1000 зёрен сельскохозяйственных культур от удобрений / О.А. Целуйко, В.И. Медведева // Известия ОГАУ. 2015. №3 (53). URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimost-massy-1000-zyoren-selskohozyaystvennyh-kultur-ot-udobreniy (дата обращения: 15.04.2023).

24. Масса 1000 семян. http://www.rsn-rb.ru/novosti/4777-massa-1000-semyan.html.

25. Патент № 2495398 C1 Российская Федерация, МПК G01N 1/38, B01F 3/18, B01F 3/22. способ определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету: № 2012115854/05: заявл. 19.04.2012 : опубл. 10.10.2013 / О. В. Демин, Д. О. Смолин, В. Ф. Першин, В. Г. Однолько ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тамбовский государственный технический университет" (ФГБОУ ВПО ТГТУ). – EDN VZINSZ.

26. Смолин, Д. О. Разработка экспресс-метода определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету / Д. О. Смолин, О. В. Демин, В. Ф. Першин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 849-855. – EDN PRGHVD.

References

1. Structure of feed consumption 2010-2021 in agricultural organizations of all categories of livestock and poultry, thousand tons of feed units [https://www.fedstat.ru/indicator/31401].

2. Holshev, N. V. Improvement of the technological process of preparing dry loose feed mixtures with a screw-blade mixer: dis.... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01 / Holshev Nikolay Vasilyevich; [Place of protection: Michurin. state agrarian. un-t]. - Tambov, 2015. - 209 p.

3. Vedishchev, S. M. Improvement of technologies and technical means of preparation and distribution of feed mixtures in agricultural pig-breeding organizations: dissertation ... Doctor of Technical Sciences: 05.20.01 / Vedishchev Sergey Mikhailovich; [Place of protection: Michurin. state agrarian. un-t]. - Tambov, 2018. - 381 p.

4. Storozhuk, T. A. Optimization of the feed mixing process / T. A. Storozhuk // Scientific journal of KubGAU. 2019. No.148. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-protsessa-smeshivaniya-kormov (accessed: 04.04.2023).

5. Results of the study of the working process of a two-roll mixer of dry components / S. Y. Bulatov, V. N. Nechaev, A. E. Shamin [et al.] // Machinery and equipment for the village. – 2020. – № 8(278). – Pp. 22-26. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-8-22-26. – EDN QKNUDM.

6. Savinykh P. A., Turubanov N. V. The influence of changes in the technological parameters of the feed mixer on its performance / P. A. Savinykh, N.V. Turubanov // Agrarian science of the Euro-North-East. 2022;23(5):732-739. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739.

7. The influence of constructive and kinematic parameters on the energy intensity of the process in an inclined screw mixer / V. F. Khlystunov, S. V. Braginets, A. S. Alferov, M. V. Chernutsky // Bulletin of the Don State Technical University. – 2018. – Vol. 18, No. 4. – pp. 408-413. – DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-4-408-413. – EDN YSDTGP.

8. Turubanov, N. V. The study of mixing material in a horizontal belt mixer / N. V. Turubanov, O. Y. Medvedev, A. Y. Isupov // Society, science, innovation (NPK-2016) : Collection of articles 2nd edition, revised and supplemented, Kirov, April 18-29, 2016 / Vyatka State University. – Kirov: Vyatka State University, 2016. – pp. 864-870. – EDN WXZVLR.

9. Opara, V. A simplified method for determining the quality of mixing feed components in production conditions / V. Opara, O. Korzh, V. Popsui //Zootehnie şi biotehnologii. – 2015. – Vol. 44. – pp. 122-125.

10. Zhdanova, N.V. The use of ferromagnetic microtracers as indicators for determining the quality of uniformity of medicinal feeds, compound feeds and premixes / N.V. Zhdanova // Equipment and technologies in animal husbandry. 2018. No.2 (30). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-ferromagnitnyh-mikrotreyserov-kak-indikatorov-opredeleniya-kachestva-odnorodnosti-lechebnyh-kormov-kombikormov-i (date of application: 05.04.2023).

11. GOST 34748-2021. Agricultural machinery. Feed distributors. Test methods.

12. Vedishchev, S. M. Investigation of the influence of design-mode parameters of a screw-blade mixer on its quality indicators / S. M. Vedishchev, N. V. Holshev // Questions of modern science and practice. V.I. Vernadsky University. – 2011. – № 3(34). – Pp. 32-34. – EDN LITNWP.

13. Nikolaev, V. N. Results of studies of the process of mixing bulk feed in an aerodynamic mixer / V. N. Nikolaev, E. V. Zyazev // Agroindustrial Complex of Russia. – 2022. – Vol. 29, No. 3. – pp. 331-335. – DOI 10.55934/2587-8824-2022-29-3-331-335. – EDN CGLNIB.

14. Eshdavlatov, E. U. Substantiation of parameters and modes of operation of a continuous mixer with heat treatment of feed: specialty 05.20.01 "Technologies and means of mechanization of agriculture" : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Eshdavlatov Eshpulat Uzakovich. – Balashikha, 1990. – 16 p. – EDN ZJMUFN.

15. .Eshdavlatov E. U. Increasing the intensity of the process of continuous mixing of feed / E.U. Eshdavlatov, A.A. Suyunov // Universum: technical sciences. 2021. No.4-3 (85). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-intensivnost-protsessa-nepreryvnogo-smeshivaniya-kormov (accessed: 04/15/2023).

16. Bulatov, S.Yu. Assessment of the uniformity of the distribution of premixes in complete feeds during their preparation in mixers / S.Yu. Bulatov, E.V. Voronov, A.E. Shamin, A.G. Sergeev // Perm Agrarian Bulletin. 2019. No.3 (27). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ravnomernosti-raspredeleniya-premiksov-v-polnoratsionnyh-kormah-pri-ih-podgotovke-v-smesitelyah (accessed: 07.04.2023).

17. Chupshev, A.V. Experimental studies of a feed mixer / A.V. Chupshev, V.V. Konovalov, S.V. Gusev // Niva of the Volga region. 2008. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-smesitelya-kormov.

18. Optimization of structural and kinematic parameters of a dry feed mixer with a blade-belt working body / V. V. Konovalov, V. P. Teryushkov, A.V. Chupshev, V. V. Konovalov // Izvestiya Samara State Agricultural Academy. – 2013. – No. 3. – pp. 83-88. – EDN QJCHOV.

19. Optimization of technological parameters of a mixer with a combined working body / V. V. Konovalov, V. P. Teryushkov, A.V. Chupshev, V. V. Konovalov // Izvestiya Samara State Agricultural Academy. – 2014. – No. 3. – pp. 83-87. – EDN SFOUMZ.

20 Izvekov, E. A. Evaluation of the quality of feed preparation units and ways to improve their design / E. A. Izvekov // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. – 2014. – № 4(43). – Pp. 98-103. – EDN TRVBOH.

21. Demin, O. V. Improvement of calculation methods and designs of paddle mixers: dis.... Candidate of Technical Sciences: 05.02.13. - Tambov, 2003. - 210 p.

22. Astapov, S. Y. Improving the mixing efficiency in a mobile distributor mixer by improving the screw apparatus: dissertation... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01 / Astapov Sergey Yuryevich; [Place of protection: Michurin. state agrarian. un-t]. - Michurinsk, 2007. - 138 p.: ill.

23. Zavrazhnov, A. I. The influence of design parameters of a mobile mixer-distributor of feed on the uniformity of mixing / A. I. Zavrazhnov, S. Yu. Astapov // Achievements of science and technology of the agro–industrial complex. – 2007. – No. 6. – pp. 25-27. - EDN IUFSLR.

24. Tseluiko O. A. Dependence of the mass of 1000 grains of agricultural crops on fertilizers / O.A. Tseluiko, V.I. Medvedeva // Izvestia OGAU. 2015. No.3 (53). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimost-massy-1000-zyoren-selskohozyaystvennyh-kultur-ot-udobreniy (accessed: 04/15/2023).

24. Weight of 1000 seeds. http://www.rsn-rb.ru/novosti/4777-massa-1000-semyan.html.

25. Patent No. 2495398 C1 Russian Federation, IPC G01N 1/38, B01F 3/18, B01F 3/22. method for determining the quality of a mixture of components differing in color : No. 2012115854/05 : application 19.04.2012 : publ. 10.10.2013 / O. V. Demin, D. O. Smolin, V. F. Pershin, V. G. Odnolko ; applicant Federal State Budgetary educational institution of higher professional education "Tambov State Technical University" (FGBOU VPO TSTU). – EDN VZINSZ.

26. Smolin, D. O. Development of an express method for determining the quality of a mixture of components differing in color / D. O. Smolin, O. V. Demin, V. F. Pershin // Bulletin of the Tambov State Technical University. - 2012. – Vol. 18, No. 4. – pp. 849-855. – EDN PRGHVD.

Информация об авторах

С. М. Ведищев – доктор технических наук, профессор; Н. В. Хольшев – кандидат технических наук, доцент; А. В. Прохоров – кандидат технических наук, доцент; А. Ю. Глазков – аспирант; М. Е. Выгузов – аспирант.

Information about the authors

A. Vedishchev – Doctor of Technical Sciences, Professor; N. Holshev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Prokhorov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Glazkov – postgraduate student; M. Vyguzov – postgraduate student.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 634.75: 631.358
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-57-62

РЫХЛЕНИЕ ПОЧВЫ ПЕРЕД РАБОТОЙ СВЕКЛОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Николай Владимирович Михеев [1], ***Артем Викторович Козюков*** [2]
[1, 2] *Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]mikheyev.mgay@yandex.ru
[2]artkozukov@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Николай Владимирович Михеев, mikheyev.mgay@yandex.ru
Corresponding author: Nikoly Mikheyev, mikheyev.mgay@yandex.ru

Реферат. *Сахарная свекла является важной технической культурой, которая кроме сахара содержит витамины, органические кислоты, микроэлементы, клетчатку, фруктозу и др. В животноводстве широко используются продукты переработки – жом и патока. Анализ многолетних наблюдений показал, что в засушливые годы, при снижении влажности почвы на 3-8 %, ее твердость увеличивается до 47 %. При этом падает сменная выработка у комбайнов, а средний удельный расход топлива на гектар растет и происходит повышенный износ выкапывающих рабочих органов. Изучали влияние рыхления почвы перед работой свеклоуборочных комбайнов на усилие извлечения корнеплодов, повышение производительности комбайнов и снижение удельного расхода топлива. В поисковом эксперименте по выявлению способности игольчатого диска разрыхлить почвенный пласт и возможно снизить её удерживающую корнеплоды способность, был разработан макетный образец рыхлителя почвы. С целью выявления наиболее эффективной работы рыхлителя изменяли количество зубьев (игл): 8 – 10 – 12 и величину заглубления зубьев от 5 до 15 см с шагом 5 см. Извлечение корнеплодов из почвы производилось с помощью динамометра после прохода рыхлителя вдоль ряда, при этом фиксировалось усилие их извлечения. В период проведения поискового эксперимента были сняты показатели, характеризующие физико-механические свойства почвы. Был проведен анализ рабочих органов почвенных рыхлителей и разработан макетный образец игольчатого дискового рыхлителя. Проведенные полевые испытания показали снижение усилия удержания корнеплодов почвой после прохода разработанного рыхлителя, что в свою очередь может способствовать снижению сопротивления работе копачей и, как следствие, повышению эффективности свеклоуборочных комбайнов.*

Ключевые слова: *сахарная свёкла, физико-механические свойства почвы, рыхление почвы, эффективность свеклоуборочных комбайнов, макетный образец рыхлителя почвы, поисковый эксперимент.*

LOOSENING THE SOIL BEFORE THE WORK OF BEET HARVESTERS

Nikoly Mikheyev [1], ***Artem Kozyukov*** [2]
[1, 2] *Michurinsky State Agrarian University, Michurinsk k, Russian Federation*
[1]mikheyev.mgay@yandex.ru
[2]artkozukov@mail.ru

Abstract. *Sugar beet is an important industrial crop, which, in addition to sugar, contains vitamins, organic acids, microelements, fiber, fructose, etc. Processed products such as pulp and molasses are widely used in animal husbandry. An analysis of long-term observations showed that in dry years, with a decrease in soil moisture by 3-8%, its hardness increases to 47%. At the same time, the shift output of combines decreases, and the average specific fuel consumption per hectare increases and there is an increased wear of the digging working bodies. We studied the effect of loosening the soil before the*

operation of beet harvesters on the force of extracting root crops, increasing the productivity of combines and reducing specific fuel consumption. In a search experiment to identify the ability of a needle disk to loosen the soil layer and possibly reduce its ability to hold root crops, a prototype soil cultivator was developed. In order to identify the most efficient operation of the ripper, the number of teeth (needles) was changed: 8 - 10 - 12 and the depth of the teeth from 5 to 15 cm in increments of 5 cm. extraction force. During the search experiment, indicators characterizing the physical and mechanical properties of the soil were taken. An analysis of the working bodies of soil rippers was carried out and a model sample of a needle disc ripper was developed. The conducted field tests have shown a decrease in the force of retaining root crops by the soil after the passage of the developed cultivator, which in turn can help reduce the resistance to the work of diggers and, as a result, increase the efficiency of beet harvesters.

Keywords: *sugar beet, physical and mechanical properties of the soil, loosening of the soil, the effectiveness of beet harvesters, a model sample of a soil loosener, a search experiment.*

Для цитирования: Михеев Н.В., Козюков А.В. Рыхление почвы перед работой свеклоуборочных комбайнов // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 57-62. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-57-62.

For citation: Mikheyev N., Kozyukov A. Loosening the soil before the work of beet harvesters. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 57-62. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-57-62.

Введение. Основным сырьем для производства сахара в России является сахарная свёкла, в её корнеплодах содержится 16-18% сахара, выход которого на перерабатывающих заводах составляет 13-15%. Кроме того, корнеплоды содержат витамины, органические кислоты, соли различных оснований, микроэлементы, около 2,5% клетчатки, 0,8% фруктозы, глюкозу, 0,6% золы и др. Большое значение имеют продукты переработки – жом и патока. После отжима влажной фракции в жоме содержится 15% сухих веществ, в т.ч. 1,3% сырого протеина, 0,1% сырого жира, 3% клетчатки, 0,7% золы. Часть жома на заводах перерабатывается в сухой продукт, в 100 кг которого содержится 85 к.ед. и 3,9 кг переваримого протеина. Патока служит сырьем для получения спирта, глицерина, пищевых дрожжей, лимонной кислоты и др. продукции, в 100 кг которой содержатся 77 к.ед. и 4,5 кг переваримого протеина [1, 2].

В своё время в свеклосеющих хозяйствах наибольшее распространение получила индустриальная технология возделывания сахарной свёклы, которая предусматривала применение операции рыхления почвы около защитной зоны корнеплода в период полностью сформировавшихся корнеплодов [1]. Рыхление происходит в зоне 8-10 см от корнеплода, при этом отмечалось, что рыхление перед уборкой приводит к улучшению подпитки корнеплода водой и удобрениями, и способствовало приросту урожая до 10%. В процессе уборки наблюдалось, уменьшение нагрузки на рабочие органы свеклоуборочного комбайна за счет взрыхления почвы перед этапом уборки. Уборка полностью сформировавшихся корнеплодов сахарной свёклы приходится на осенние месяцы. В этот период влажность почвы может достигать в дождливые годы более 30% в дождливые годы, а в засушливые падать ниже 17% [3]. По данным ВНИИСС оптимальная влажность для эффективной работы свеклоуборочных комбайнов лежит в пределах 19-25% [4]. В засушливые годы, при повышении плотности почвы, увеличивается тяговое сопротивление рабочих органов и повышается засорённость вороха корнеплодов комьями почвы, для удаления которых приходится вводить в конструкцию машины сложные устройства. Эксплуатация комбайнов в производственном отделении «Юрловское» ГК РУСАГРО показало, что при снижении влажности почвы с 24,2 – 26,9% до 16,7 – 21,2% и соответственно увеличение твердости почвы на 20 – 47,4% привели:

- с одной стороны к снижению сменной выработки комбайнов с вибрационными лемешковыми копачами на 15,2%; с дисковыми копачами на 24,4%;
- с другой стороны к увеличению среднего удельного расхода топлива на гектар соответственно на 18,6% и 27,5%.

Анализ результатов эксплуатации показывает, что комбайны с вибрационными лемешковыми копачами более эффективны по сравнению с дисковыми. Это объясняется тем, что вибрация

разрушает почвенный пласт перед копачами, что облегчает их работу. Однако у комбайнов с вибрационными лемешковыми копачами возникла другая проблема: при повышенной твердости почвы трижды пришлось менять изношенные и поломанные лемешки за сезон (при нормальной влажности лемешки за сезон не менялись) [5].

На тяжёлых почвах ЦЧР, с широко варьирующими свойствами, задача эффективного использования свеклоуборочных комбайнов остаётся пока ключевой и актуальной. Повысить эффективность работы свеклоуборочного комбайна, обеспечив снижение расхода топлива, повышение показателей выработки, уменьшения износа рабочих органов, предположительно возможно за счет рыхления почвы непосредственно перед операцией уборки. Тогда возникает следующий вопрос, какого типа, активный или пассивный должен быть рабочий орган рыхлителя почвы. Активные рабочие органы обладают рядом преимуществ, что и обусловливает их более широкое применение. Однако они имеют довольно сложную конструкцию и низкую наработку на отказ. Пассивные органы имеют более простую конструкцию и более высокую надежность, что позволяет снизить себестоимость рабочих органов в целом, а в некоторых случаях имеют более высокие показатели работы.

Выкапывание корнеплодов сахарной свёклы оказывает большое влияние на полноту уборки и повреждаемость корнеплодов. Глубина хода большинства копачей, при нормальных условиях, не превышает 6-11 см. Это дает возможность направлять на сепарирующие органы меньшее количество почвы и тем самым снижать загрязненность вороха корнеплодов.

Целью исследований является выявление влияния рыхления почвы перед работой свеклоуборочных комбайнов на усилие извлечения корнеплодов из почвы и как следствие повышение их производительности и снижение удельного расхода топлива.

Методы исследований: определение типа рыхлителя; разработка и изготовление макетного образца; проведение поискового полевого эксперимента.

Результаты и обсуждение. Исходя из выше приведенного, принимаем гипотезу, что рабочий орган рыхлителя должен быть пассивным и разрыхлять почву на глубину до 15 см. Из анализа литературных источников известны два типа рабочих органов способных произвести рыхление почвы: рыхлительный зуб аналогичный долотообразной лапе культиватора УСМК – 5,4 [6]; игольчатый диск аналогичный диску бороны игольчатой БИГ – 3,0 [6]. Для проведения поискового эксперимента по выявлению способности игольчатого диска разрыхлить почвенный пласт и возможно снизить её удерживающую корнеплоды способность, был разработан макетный образец рыхлителя почвы (рисунок 1).

Рисунок 1 - Макетный образец рыхлителя почвы

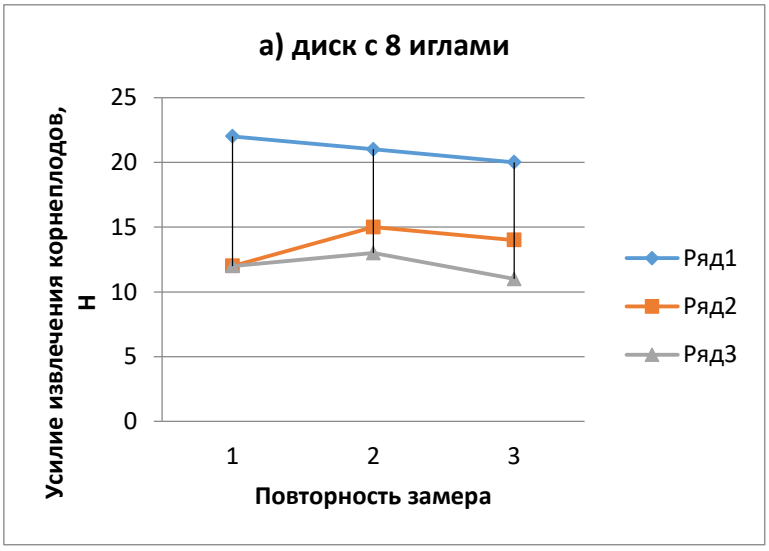
Он представляет собой сварную раму с площадкой для балласта и вращающийся на подшипниках барабан с двумя игольчатыми дисками. Для того, чтобы исключить повреждения

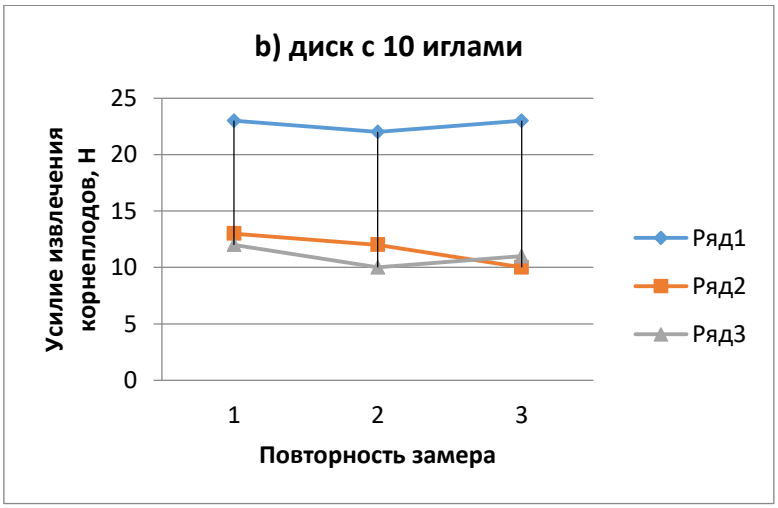
корнеплодов, при движении макетного образца вдоль ряда, расстояние между дисками составляло 25 см. Образец агрегатировался трактором Т – 25.

При проведении поискового эксперимента, с целью выявления наиболее эффективной работы рыхлителя, изменялось количество зубьев (игл): 8-10-12; так же изменялось величина заглубления зубьев от 5 до 15 см с шагом 5 см. Извлечение корнеплодов из почвы производилось с помощью динамометра после прохода рыхлителя вдоль ряда, при этом фиксировалось усилие их извлечения. В период проведения поискового эксперимента были сняты показатели, характеризующие физико-механические свойства почвы (таблица 1). Результаты полевого эксперимента приведены на рисунке 2.

Таблица 1.- Физико-механические свойства почвы при проведении полевого эксперимента

Дата	№поля	Показатель влажности почвы, %	Показатель твердости почвы, МПа
24.09.2022	ТМ.0013	28,9; 27,5; 26; 25,5; 27,6; 25,6; 24,3	1,57;1,71;1,59;1,61; 1,89;1,75;1,81
24.09.2022	ТМ.0014	26; 29	1.66;1,49





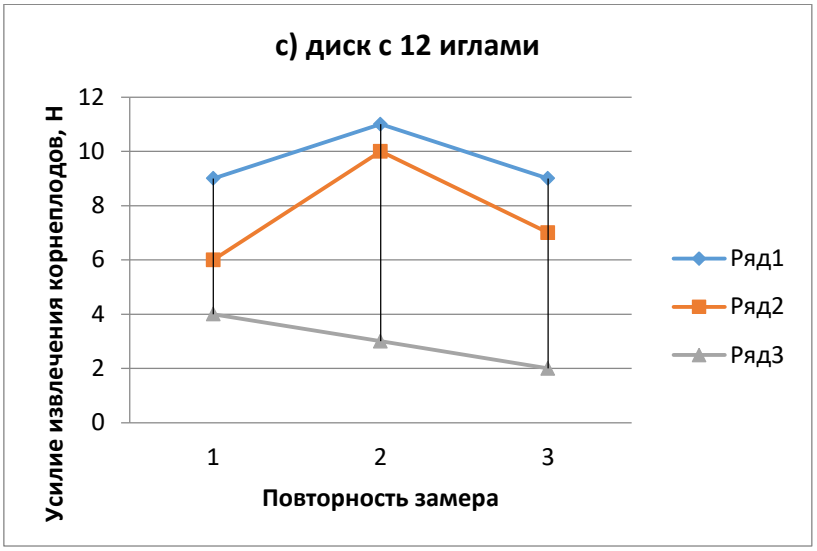


Рисунок 2 - Влияние глубины рыхления почвы на усилие извлечения из неё корнеплодов.

Результаты полевых испытаний рыхлителя показали снижение усилия извлечения корнеплодов из почвы при глубине хода зубьев игольчатого диска: ряд 1 – величина заглубления 50 мм; ряд 2 – 100 мм; ряд 3 – 150 мм. При этом максимальное снижение усилия извлечения, свыше 50%, наблюдается у диска с 12 зубьями.

Заключение. Таким образом, выявлено явное влияние игольчатого рыхлителя на усилие извлечения корнеплодов сахарной свёклы из почвы за счет разрыхления почвенного пласта. Можно предположить, что рыхление почвы будет способствовать снижению сопротивления ходу копачей. Как следствие это приведет к увеличению сменной выработки свеклоуборочных комбайнов и снижению ими удельного расхода топлива. Однако необходимо более детально изучить влияние размерно-конструктивных параметров игольчатого диска на рыхление почвенного пласта и тяговое усилие рыхлителя.

Список источников

1. Технология и техника для возделывания и уборки сахарной свеклы: справочник / Колчина Л.М. // М: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 80 с.

2. Химический состав корнеплода сахарной свеклы / Дутова З.Ф., Алимгафаров Р.Р. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. № 9. – С. 12-13.

3. Эксплуатационные показатели работы свеклоуборочных комбайнов в ГК РусАгро / Н.В. Михеев, А.В. Козюков, А.А. Завражнов // Наука в центральной России. 2022, № 1 (55). – С. 22 – 32.

4. http://mcx-consult.ru/page1508072009

5. Уборка сахарной свеклы в условия твердых почв в центральной России на примере ГК РУСАГРО / Михеев Н.В., Козюков А.В.// Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 4. С. 2492 http://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/2493/2492

6. Халанский, В.М., Горбачев, И.В. Сельскохозяйственные машины. – М.: КолосС, 2004. – 624 с.

References

1. Technology and equipment for the cultivation and harvesting of sugar beet: handbook / Kolchina L.M. // M: FSBI "Rosinformagrotech", 2012. – 80 p.

2. Chemical composition of sugar beet root crop / Dutova Z.F., Alimgafarov R.R. // Modern high-tech technologies. - 2013. No. 9. – pp. 12-13.

3. Operational performance of beet harvesters in GC RusAgro / N.V. Mikheev, A.V. Kozyukov, A.A. Zavrazhnov // Science in Central Russia. 2022, No. 1 (55). – pp. 22 – 32.

4. http://mcx-consult.ru/page1508072009

5. Harvesting of sugar beet in conditions of solid soils in Central Russia on the example of RUSAGRO Group of Companies / Mikheev N.V., Kozyukov A.V.// Science and Education. 2020. Vol. 3. No. 4. p. 2492 http://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/2493/2492

6. Khalansky, V.M., Gorbachev, I.V. Agricultural machines. – M.: KolosS, 2004. – 624 p.

Информация об авторах

Н.В. Михеев – кандидат технических наук, доцент; А.В. Козюков – аспирант.

Information about the authors

N. Mikheev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; V. Somin – post-graduate student.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 06.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 636.087
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-63-71

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ В ДЕКАНТЕРЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМА ЖИВОТНЫМ

Юрий Александрович Киров [1], Роман Александрович Блинков [2]
[1,2]Самарский государственный аграрный университет, Самарская область, г. Кинель
[1]kirov.62@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6736-1263
[2]rblinkov78@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Юрий Александрович Киров, kirov.62@mail.ru
Corresponding author: Yuri Kirov, kirov.62@mail.ru

Реферат. *В области рециклинга вторичных продуктов пивоваренной отрасли одной из основных проблем является разработка и создание эффективной технологии и оборудования для утилизации пивной дробины (ПД), обладающей питательной ценностью для сельскохозяйственных животных. Одним из способов решения этой проблемы является обезвоживание ПД в поле центробежных сил с последующим использованием в кормоприготовлении. В статье выполнен анализ научных источников и патентные исследования, которые позволили определить наиболее эффективные устройства обезвоживания ПД в зоне центробежных сил и обосновать перспективную в использовании конструктивно-технологическую схему. Для совершенствования технологии эффективного обезвоживания жидкой ПД предлагается применить в схеме переработки усовершенствованную конструкцию декантера, представляющую осадительно-фильтрующую центрифугу. Новизна разработанного декантера заключается в совмещении осадительного и фильтровального процессов разделения ПД на твердую и жидкую фракции. Предлагаемая конструкция усовершенствованного декантера обладает существенным отличием от существующих – низким процентом влажности отделенной твердой фракции ПД. Теоретический процесс обезвоживания ПД в фильтрующей части декантера исследован для обоснования конструкции последнего. С целью теоретического обоснования конструкции и параметров фильтрующей части декантера в статье, на основании основного гидравлического закона фильтрования с образованием осадка рассмотрено движение элементарного объема массы ПД в зоне перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера. Определено сопротивление осадка ПД на перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера. Получены аналитические выражения для определения предельного угла и длины перфорированной поверхности фильтровального сектора в декантере. Применение новой конструкции декантера позволит разработать эффективные технологии утилизации ПД на корм сельскохозяйственным животным, что ведет к сокращению эксплуатационных затрат на весь процесс переработки отходов пивоваренных производств в целом.*

Ключевые слова: *пивная дробина, утилизация, обезвоживание, декантер, корм животным.*

DEHYDRATION OF BEER PELLETS IN A DECANTER FOR ANIMAL FEED PREPARATION

Yuri Kirov [1], Roman Blinkov [2]
[1,2]Samara State Agrarian University, Samara region, Kinel
[1]kirov.62@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6736-1263
[2]rblinkov78@yandex.ru

Abstract. *One of the main problems in the field of recycling of secondary products of the brewing industry is the development and creation of an effective technology and equipment for the disposal of*

brewer's grains (SP), which has a nutritional value for farm animals. One of the ways to solve this problem is the dehydration of PD in the field of centrifugal forces with subsequent use in feed preparation. The analysis of scientific sources and patent research, which made it possible to determine the most effective devices for dehydrating PD in the zone of centrifugal forces and to substantiate a promising design and technological scheme in use, are made in the article. The improved design of the decanter, which is a precipitating-filtering centrifuge, is proposed to be used to improve the technology for efficient dehydration of liquid PD in the processing scheme. The novelty of the developed decanter lies in the combination of the settling and filtering processes for separating PD into solid and liquid fractions. The proposed design of the improved decanter has a significant difference from the existing ones - a low percentage of moisture in the separated PD solid fraction. The theoretical process of PD dehydration in the filter part of the decanter was studied to justify the design of the latter. The movement of an elementary volume of the PD mass in the area of the perforated surface of the filtering sector of the decanter is considered in order to theoretically substantiate the design and parameters of the filtering part of the decanter in the article, based on the basic hydraulic law of filtering with the formation of sediment. The resistance of the DP sediment on the perforated surface of the decanter filter sector was determined. Analytical expressions for determining the limiting angle and length of the perforated surface of the filter sector in the decanter are obtained. The use of a new decanter design will allow the development of effective technologies for the utilization of PD for food for farm animals, which leads to a reduction in operating costs for the entire process of processing waste from breweries as a whole.

Keywords: *beer pellets, recycling, dehydration, decanter, animal feed.*

Для цитирования: Киров Ю.А., Блинков Р.А. Обезвоживание пивной дробины в декантере для приготовления корма животным // Наука в центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 63-71. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-63-71.

For citation: Kirov Yu., Blinkov R. Dehydration of beer pellets in a decanter for animal feed preparation. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 63-71. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-63-71.

Введение. В области рециклинга вторичных продуктов производства пивных напитков главной проблемой остается повышение эффективности технологии и технических средств для качественной переработки пивной дробины (ПД), которая содержит в своём составе большое количество ценных питательных элементов и может быть утилизирована в качестве кормовой добавки животным [1, 2].

Сложившаяся практика обработки и использования пивной и солодовой дробины определяет следующие методы: 1) переработка на специальных площадках; 2) применение корма без предварительной обработки в качестве корма животным; 3) подготовка различных вариантов кормовых рецептур, в том числе в виде сквашивания; 4) анаэробная обработка в виде консервирования; 5) термическая обработка; 6) утилизация в виде органики [3, 4].

Согласно ГОСТ 59835-2021, пивная дробина - это вторичный продукт пивоварения, состоящий из дробленых зернопродуктов и солода, оставшихся после фильтрования затора [5]. На предприятиях производства пивных напитков в нашей стране, ежегодно образуются большие объемы ПД, влажностью 75-88 %, которая представляет собой биомассу, в которой содержится высокий уровень питательных элементов. Кроме того, пивная дробина содержит клетчатку и переваримый протеин, что позволяет с успехом применять её в кормовых добавках и кормовых смесях для сельскохозяйственных животных.

Сырая пивная дробина содержит незаменимые аминокислоты для кормления свиней. А содержание линолевой кислоты (по исследованиям ученых - 3,9%) делает ПД высококачественным кормом и для птицы [6, 7].

Для обработки исходной влажной пивной дробины применяются различные технологии и технические средства. При применении разработанных способов переработки ПД образуется биомасса в виде питательной кормовой добавки, которая позволяет применить пивную дробину в составе кормосмесей сельскохозяйственным животным, особенно полно ПД усваивается при кормлении крупного рогатого скота [8].

Получение пивной дробины в общей технологии переработки и утилизации вторичных отходов пивоварения показано на рисунке 1.

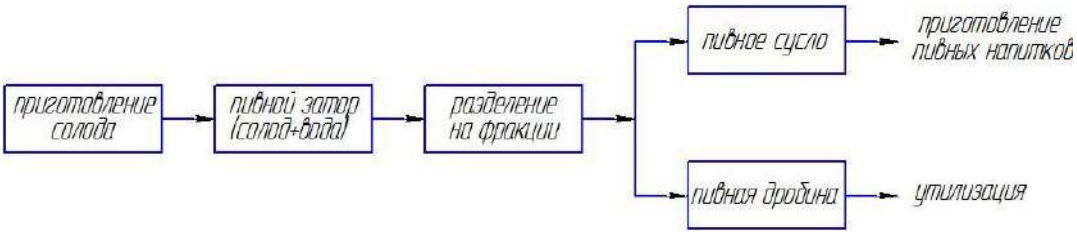


Рисунок 1 – Общая схема утилизации вторичных отходов пивоварения

Наиболее эффективным способом решения этой проблемы является обезвоживание ПД в поле центробежных сил с последующим использованием в кормоприготовлении.

Способ центробежного выделения свободной влаги из жидкой пивной дробины является наиболее эффективным, чем другие, хотя конструктивно и сложнее. В этом случае значения влажности обезвоженной ПД должны соответствовать 60-70 % [9].

Анализ научных источников и патентные исследования позволили определить наиболее эффективные устройства обезвоживания ПД в зоне центробежных сил и обосновать перспективную в использовании конструктивно-технологическую схему [10].

Анализ показал, что для обезвоживания ПД известна осадительно-фильтрующая центрифуга непрерывного типа с горизонтальным расположением рабочих органов, причем ротор содержит осадительную и перфорированную ступени [11]. Однако, известная установка обладает низкой производительностью, имеет невысокое качество обезвоживания жидкой дробины и сложна по конструкции.

Также известна осадительная центрифуга для обезвоживания пивной дробины имеющая устройство для дополнительного обезвоживания осадка [12]. Недостатком данного устройства является высокая влажность обезвоженной твердой фракции.

Целью данной работы является усовершенствование технологии обезвоживания жидкой пивной дробины за счет использования усовершенствованной конструкции декантера для использования ее в кормоприготовлении.

Материалы и методы. В ходе исследований использовали патентный поиск для подбора наиболее перспективных устройств для обезвоживания ПД. На основе методов классической гидродинамики исследовали теоретически процесс обезвоживания ПД в фильтрующей части декантера.

Результаты и обсуждение. Для совершенствования технологии эффективного обезвоживания жидкой пивной дробины предлагается применить в схеме переработки ПД усовершенствованную конструкцию декантера, представляющую осадительно-фильтрующую центрифугу (рисунок 2). Новизна разработанного декантера заключается в совмещении осадительного и фильтровального процессов разделения ПД на твердую и жидкую фракции.

После обработки ПД в предлагаемой конструкции декантера влажность отделенной твердой фракции соответствует зоотехническим требованиям и пригодна для использования в кормовых смесях сельскохозяйственным животным.

Предлагаемая конструкция усовершенствованного декантера обладает существенным отличием от существующих – низким процентом влажности отделенной твердой фракции пивной дробины [13].

Декантер для обезвоживания пивной дробины (рисунок 3) состоит из корпуса 1, внутри которого размещен ротор 2 комбинированной цилиндроконической формы осадительного типа с отверстиями для выгрузки обезвоженной твердой фазы ПД 3 и вывода жидкой фракции в виде фугата 4, имеющего возможность вращения на опорных коренных подшипниках 5, питателя исходной суспензии ПД 6 с окном 7, электропривода 8, шнекового транспортера 9 для передвижения осадка твердой фракции ПД, по геометрическим параметрам повторяющего форму ротора 2.

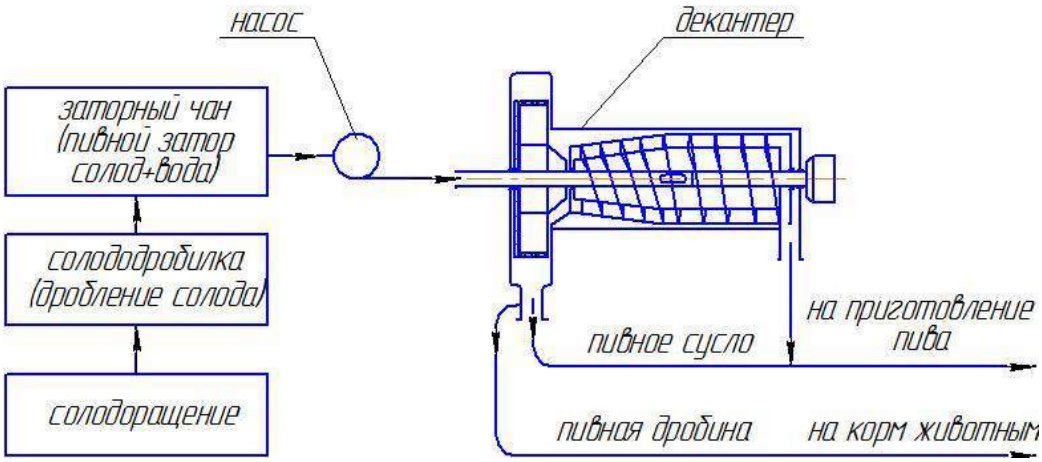


Рисунок 2 – Общая схема переработки пивной дробины

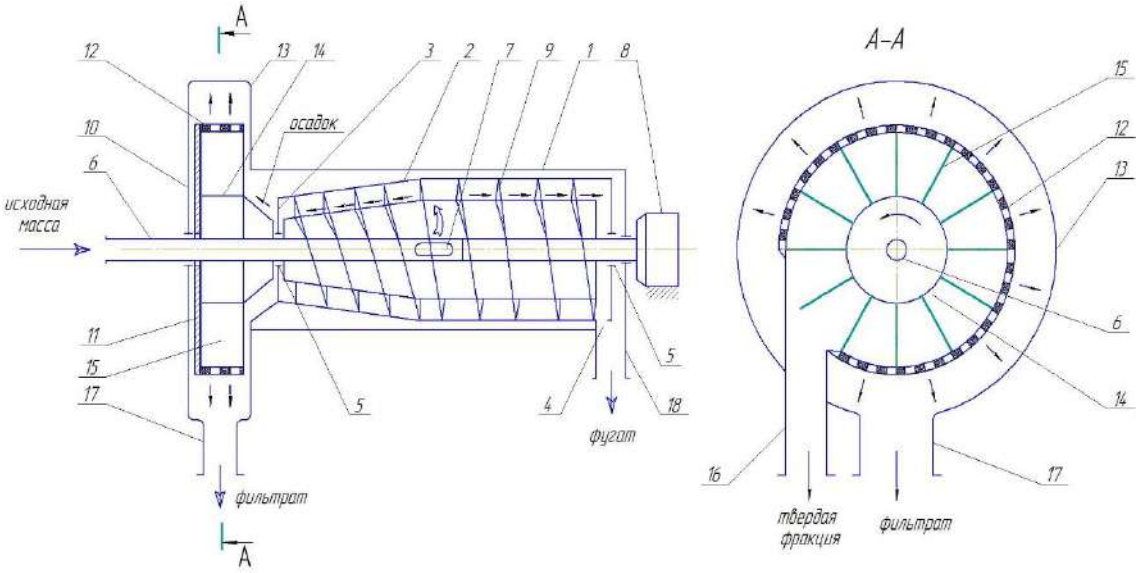


Рисунок 3 – Схема декантера (патент РФ №2781261)

Соосно цилиндроконическому ротору 2 декантера размещено перфорированное устройство 10 для дообезвоживания осадка, отделенной на осадительном роторе твердой фракции пивной дробины, включающее неподвижный диск 11, на внешней стороне которого закреплен перфорированный фильтровальный сектор 12, и закрытый кожухом 13. Внутри перфорированного фильтровального сектора 12 расположен барабан 14 конусно-цилиндрической формы, размещенный на оси вращения шнекового транспортера 9, и своей конической частью упирающийся в окно для выгрузки осадка пивной дробины 3, а на цилиндрической части барабана 14 размещены радиальные лопатки 15 для создания центробежной фильтровальной силы осадка пивной дробины и очистки внутренней перфорированной поверхности сектора 12. Кроме того, сектор 12 соединен с патрубком 16 для выгрузки твердой фракции пивной дробины и патрубком

17 для вывода отделенного фильтрата. Для вывода фугата из зоны осаждения цилиндроконического ротора 2 декантер снабжен сливным патрубком 4.

Устройство работает следующим образом. Объем исходной жидкой ПД через магистраль 6 поступает в зону цилиндроконического ротора 2 для центробежного осаждения. Под действием центробежных сил исходная суспензия ПД разделяется на жидкую и твердую фракции, причем осветленная фракция – фугат транспортируется по цилиндрической части ротора 2 шнеком 9 к окну 4 и выводится из устройства по сливному патрубку 18, а осадок твердой фазы поступает по конусной части ротора 2 к окну 3 для выгрузки осадка, где попадает на конусную часть барабана 14, вращающемуся заодно с шнеком 9. Поток осадка передвигаясь по конусной части барабана 14 попадает на его цилиндрическую часть, где захватывается лопатками 15 и за счет центробежной силы передается на внутреннюю часть перфорированной поверхности неподвижного фильтровального сектора 12. Обезвоживаясь на фильтровальном секторе 12, осадок ПД проходит путь центробежного фильтрования, равный длине перфорированной поверхности фильтровального сектора 2, а затем с неё счищается вращающимися лопатками 15 и поступает в патрубок 16 для выгрузки твердой фракции.

Рассмотрим теоретический процесс обезвоживания суспензии ПД, протекающий в фильтрующей части декантера.

Предварительно сгущенная в осадительной части декантера масса пивной дробины поступает на поверхность фильтровального сектора декантера, где захватывается радиальными лопатками и передвигается ими по внутренней цилиндрической поверхности (рисунок 4).

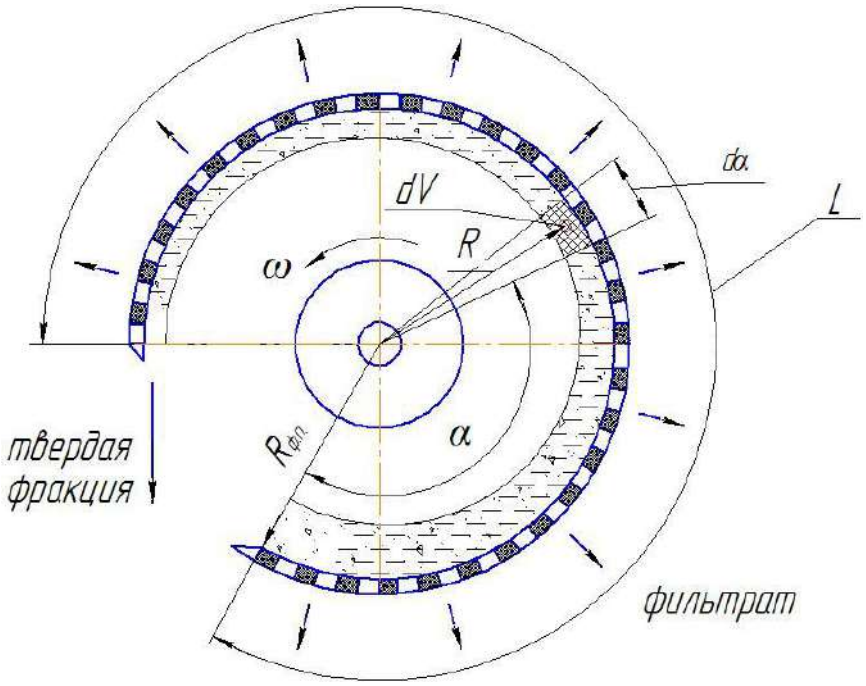


Рисунок 4 - Схема процесса фильтрования в декантере

На перфорированную поверхность фильтровального сектора предварительно сгущенная масса ПД поступает с некоторой влажностью W, которую необходимо довести до значения W_C, чтобы выполнялось следующее условие:

$$W_c \leq W_{доп}\ , \qquad (1)$$

где $W_с$ - влажность осадка твёрдой фракции пивной дробины, сходящей с перфорированной поверхности фильтровального сектора, %; $W_{доп}$ - допустимое значение влажности осадка твёрдой фракции ПД, соответствующая зоотехническим требованиям к кормам, %.

При невыполнении условия (1) соотношения влажности осадка твердой фракции ПД (1) работа перфорированной поверхности фильтровального сектора будет неэффективна, так как в этом случае из твёрдой фракции ПД не будет успевать выделяться свободная и избыточная влага.

Определяем влажность осадка твёрдой фракции ПД по уравнению, согласно общепринятой методике [14].

$$W = \frac{M_в}{M_{т.ф}} \times 100\%, \quad (2)$$

где W - влажность твёрдой фракции пивной дробины, %; $M_в$ - масса воды, находящаяся в твёрдой фракции, кг; $M_{Т.Ф.}$ - масса твёрдой фракции, кг.

$$M_{т.ф.} = M_в + M_{сд}\ , \quad (3)$$

где $M_{СД}$ - масса сухого навоза, находящаяся в твёрдой фракции навоза, кг.

Влажность пивной дробины с учетом (3) можно представить следующим образом:

$$W = \frac{M_в}{M_{сд}+M_в} \times 100\%\ . \quad (4)$$

Так как после центробежного осаждения в декантере ПД имеет повышенную влажность (80-82%), то требуется довести её до оптимального значения для дальнейшей утилизации в качестве кормовой добавки (65%). Достигается это за счет удаления части избыточной влаги, оставшейся в составе ПД после центробежного осаждения, путем фильтрации через перфорированную цилиндрическую поверхность фильтровального сектора декантера.

Рассмотрим движение элементарного объема массы ПД в зоне перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера.

В этом случае процесс фильтрования через перфорированную поверхность фильтровального сектора декантера описывается общим гидравлическим законом для фильтрования с образованием осадка, который выражается следующим уравнением [15]:

$$\frac{dV}{F \cdot dt} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{ос}+R_{ф.п.})}, \quad (5)$$

где V – объем фильтрата пивной дробины, выделенный из исходной массы за время t, м^3; t – время фильтрования, с; ΔP - давление фильтрования в зоне перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера, Н/м^3; μ - динамическая вязкость фильтрата пивной дробины, Па·с; $R_{ос}$ – сопротивление осадка пивной дробины, отложившегося на перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера, м$^{-1}$; $R_{ф.п.}$ – сопротивление фильтровальной поверхности, м$^{-1}$.

Сопротивление осадка ПД на перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера можно выразить через следующее выражение:

$$R_{ос} = r_{ос} \cdot m_{ос} \cdot V, \quad (6)$$

где $r_{ос}$ - удельное сопротивление осадка пивной дробины на перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера; $m_{ос}$ – масса осадка на перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера, кг; V – объем выделенного фильтрата через перфорированную поверхность фильтровального сектора декантера, м^3.

Элементарный объем массы пивной дробины на перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера движется по определенному радиусу. То для определения угла поворота её по фильтровальной поверхности α нужно выразить отрезок времени фильтрования dt через элементарный угол $d\alpha$:

$$dt = \frac{d\alpha}{\omega}, \quad (7)$$

где $d\alpha$ - элементарный угол поворота объема массы пивной дробины $V_н$, рад; ω - угловая скорость движения элементарного объема массы ПД, рад/с.

Давление фильтрования в зоне перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера определяется из выражения:

$$\Delta P = m_{ос} \cdot R_{ср} \cdot \omega^2, \quad (8)$$

где $R_{ср}$ – средний радиус вращения массы $m_{ос}$, м.

Как видно из схемы (рисунок 4), за угол α на выделенной элементарной площадке перфорированной поверхности фильтровального сектора, согласно уравнению материального баланса процесса фильтрования, отвечает объем осадка пивной дробины, равный:

$$V_{\text{ос}} = V_{\text{исх}} - V, \tag{9}$$

где $V_{\text{исх}}$ –объем исходной массы ПД, поступающей на перфорированную поверхность фильтровального сектора, м^3; V – объем избыточно влаги в исходной массе ПД, м^3.

Согласно выполненным математическим преобразованиям, уравнение (5) примет следующий вид:

$$\frac{dV\cdot\omega}{d\alpha\cdot F} = \frac{(V_{\text{исх}}-V)\rho_{\text{ос}}\cdot R\cdot\omega^2}{\mu\left[r_{\text{ос}}(V_{\text{исх}}-V)\rho_{\text{ос}}\cdot V+R_{\text{ф.п.}}\right]}. \tag{10}$$

В результате преобразований, получим формулу для определения предельного угла перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{\mu}{\rho_{\text{ос}}\cdot R\cdot\omega\cdot F}\left[r_{\text{ос}}\cdot\rho_{\text{ос}}\cdot\frac{V_{\text{пр}}^2}{2} - ln\left(V_{\text{исх}} - V_{\text{пр}}\right)R_{\text{ф.п.}}\right]. \tag{11}$$

Следовательно, длина перфорированной поверхности L фильтровального сектора в декантере определиться из следующего выражения:

$$L = \frac{2\pi R}{180}\cdot\alpha_{\text{пр}}. \tag{12}$$

Заключение. Предложено усовершенствование технологии обезвоживания пивной дробины для приготовления качественного корма сельскохозяйственным животным, в котором процесс разделения на фракции представляет собой осадительно-фильтрующее центрифугирование на перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера. Применение новой конструкции декантера позволит разработать эффективные технологии утилизации пивной дробины на корм сельскохозяйственным животным и повысить качество разделения на фракции жидкой пивной дробины, что ведет к сокращению эксплуатационных затрат всего процесса переработки отходов пивоваренных производств в целом, а также соответствует зоотехническим требованиям для скармливания в виде кормовых добавок сельскохозяйственным животным. Кроме того, теоретически обоснованы конструкция и параметры перфорированной поверхности фильтровального сектора декантера для дообезвоживания пивной дробины.

Список источников

1. Рециклинг отходов в АПК: справочник / И. Г. Голубев [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2011. 296 с.
2. Вторичные материальные ресурсы пивоварения / А.П. Колпакчи, Н.В. Голикова, О.П. Андреева. – М.: Агропромиздат, 1986. 160 с.
3. Батищева, Н.В. Инновационные способы утилизации пивной дробины / Н.В. Батищева // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 6. С.10-14.
4. Батищева, Н. В. Разработка классификации технических средств для обезвоживания пивной дробины / Н. В. Батищева, Р. А. Блинков, Ю. А. Киров // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы : Сборник статей V Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 28–29 октября 2021 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 15-19.
5. ГОСТ Р 59835-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Продукты пивоваренная. Термины и определения https://e-ecolog.ru/docs/NeFUG8-FioepiNou3hQ-m/full
6. Драганов, И. Ф. Барда и пивная дробина в кормлении скота и птицы : монография / И. Ф. Драганов. – Москва: Россельхозиздат, 1986. 136 с.
7. Пелевина, Г. Пивная дробина в рационе свиней / Г. Пелевина // Свиноводство. 2007. № 4. С. 18-20.
8. Пивная дробина в кормлении молодняка крупного рогатого скота / Ж. С. Майорова, О. А. Федосова, Н. И. Торжков [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 2(46). С. 34-41.

9. Батищева, Н. В. Инженерно-технические средства для переработки пивной дробины на кормовые цели / Н. В. Батищева, Р. А. Блинков, Ю. А. Киров // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы : Сборник статей V Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 28–29 октября 2021 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 8-11.

10. Николаев, В. Н. Совершенствование процесса центрифугирования пивной дробины в кормоприготовлении / В. Н. Николаев, М. С. Ахметвалиев, А. В. Литаш // АПК России. 2021. Т. 28, № 4. С. 472-479.

11. Патент РФ № 2486013 C1, МПК B04B 1/20. Декантерная центрифуга и шнековый конвейер: № 2012100777/05: заявл. 11.06.2010: опубл. 27.06.2013 / Э. Греннегор; заявитель АЛЬФА ЛАВАЛЬ КОРПОРЕЙТ АБ.

12. А.с. СССР 227228, МКИ^3 B04 B3/04. Непрерывно действующая осадительно-фильтрующая горизонтальная центрифуга [Текст] / Ю.Н. Бочков, Л.С. Зарубин, А.С. Каминский, М.И. Макарушина, Н.С. Никитин, Н.А. Блинов, В.М. Булавинов, Н.Н. Нассонов, Н.П. Батраков, М.Г. Ведяпин, М.П. Гайдамака, Р.В. Черемных - № 1142687/22-3; заявл. 14.03.67; опубл. 24.01.69, Бюл. №2 7. - 2 с.

13. А.с. СССР 787091, МКИ^3 B04 B1/20. Осадительная центрифуга [Текст] / В.И. Мурко, О.Г. Тарновский, Л.А. Смердов, Ю.Н. Бочков. - № 2624541/23-13; заявл. 06.06.78; опубл. 15.12.80, Бюл. № 46. - 2 с.

14. Патент РФ № 2781261 C1, МПК B04B 1/20, B04B 3/04. Декантер для обезвоживания пивной дробины: № 2022108920: заявл. 05.04.2022: опубл. 11.10.2022 / Ю. А. Киров, Р. А. Блинков, Д. Н. Котов [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО "Самарский государственный аграрный университет".

15. Технология и технические средства для обеспечения экологической и технической безопасности на животноводческих комплексах (теория и расчет): / Ю. А. Киров, В. А. Мухин, Ю. А. Савельев [и др.]. Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. 156 с.

References

1. Recycling of waste in the agro-industrial complex: handbook / I. G. Golubev [et al.]. M. : FSBI "Rosinformagrotech". 2011. 296 p.

2. Secondary material resources of brewing / A.P. Kolpakchi, N.V. Golikova, O.P. Andreeva. M.: Agropromizdat, 1986. 160 p.

3. GOST R 53358-2009. Brewing products. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2011. 19 p.

4. Draganov, I. F. Bard and beer pellets in feeding livestock and poultry: monograph / I. F. Draganov. Moscow: Rosselkhoznadzor, 1986. 36 p

5. Pelevina, G. Beer pellets in the diet of pigs / G. Pelevina // Pig breeding. 2007. No. 4. pp. 18-20.

6. Beer pellets in feeding young cattle / Zh. S. Mayorova, O. A. Fedosova, N. I. Torzhkov [et al.] // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2020. № 2(46). Pp. 34-41.

7. Batishcheva, N.V. Innovative ways of recycling beer pellets / N.V. Batishcheva // Scientific Review. Technical sciences. 2016. No. 6. p.10-14.

8. Batishcheva, N. V. Development of classification of technical means for dewatering beer pellets / N. V. Batishcheva, R. A. Blinkov, Yu. A. Kirov // Operation of automotive and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects : Collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the Penza State Agrarian University University, Penza, October 28-29, 2021. Penza: Penza State Agrarian University, 2021. pp. 15-19.

9. Batishcheva, N. V. Engineering and technical means for processing beer pellets for fodder purposes / N. V. Batishcheva, R. A. Blinkov, Yu. A. Kirov // Operation of tractor and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects : Collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the Penza State Agrarian University, Penza, October 28-29, 2021. Penza: Penza State Agrarian University, 2021. pp. 8-11.

10. Nikolaev, V. N. Improvement of the process of centrifugation of beer pellets in feed preparation / V. N. Nikolaev, M. S. Akhmetvaliev, A.V. Litash // Agro-industrial complex of Russia. 2021. Vol. 28, No. 4. pp. 472-479.

11. RF patent No. 2486013 C1, IPC B04B 1/20. Decanter Centrifuge and Screw Conveyor: No. 2012100777/05: Appl. 06/11/2010: publ. 06/27/2013 / E. Grennegor; applicant ALFA LAVAL CORPORATION AB.

12. A.s. USSR 227228, MKI3 V04 V3/04. Continuously operating precipitating-filtering horizontal centrifuge [Text] / Yu.N. Bochkov, L.S. Zarubin, A.S. Kaminsky, M.I. Makarushina, N.S. Nikitin, N.A. Blinov, V.M. Bulavinov, N.N. Nassonov, N.P. Batrakov, M.G. Vedyapin, M.P. Gaidamak, R.V. Cheremnykh - No. 1142687/22-3; dec. 03/14/67; publ. 01/24/69, Bull. No. 27. - 2 s.

13. A.s. USSR 787091, MKI3 V04 V1/20. Settling centrifuge [Text] / V.I. Murko, O.G. Tarnovsky, L.A. Smerdov, Yu.N. Bochkov. - No. 2624541/23-13; dec. 06/06/78; publ. 12/15/80, Bull. No. 46. - 2 s.

14. RF patent No. 2781261 C1, IPC B04B 1/20, B04B 3/04. Decanter for dewatering spent grains: No. 2022108920: Appl. 04/05/2022: publ. October 11, 2022 / Yu. A. Kirov, R. A. Blinkov, D. N. Kotov [et al.]; the applicant is a federal state budgetary educational institution of higher education "Samara State Agrarian University".

15. Technology and technical means for ensuring environmental and technical safety at livestock complexes (theory and calculation): / Yu. A. Kirov, V. A. Mukhin, Yu. A. Savelyev [et al.]. Kinel: Samara State Agricultural Academy, 2018. 156 p.

Информация об авторах

Ю.А. Киров – доктор технических наук, доцент; А.В. Блинков – аспирант.

Information about the authors

Yu. Kirov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; R. Blinkov – postgraduate student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.43:629.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-72-86

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ПОДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Юрий Викторович Родионов [1]***, Сергей Иванович Данилин*** [2]***,***
Александр Егорович Ломовских [3]***, Алексей Алексеевич Свиридов*** [4]***,***
Андрей Александрович Волокитин [5]
[1]*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,2,3]*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru, [3]lomovskih1979@yandex.ru
[3,4,5]*ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Россия*
[5]andvolokitin@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Егорович Ломовских, lomovskih1979@yandex.ru
Corresponding author: Alexander Lomovskih, lomovskih1979@yandex.ru

Реферат. *Предложена технология приготовления и подачи комплексного топлива для улучшения эксплуатационно-технических характеристик дизельных двигателей автотракторной техники (АТТ), а также технические средства для её реализации. Проведённый анализ работы образцов АТТ, показал, что ее эксплуатация происходит с небольшими скоростями движения в полевых условиях и большими нагрузками на двигатель внутреннего сгорания (ДВС), при этом повышается его тепловая напряжённость и в камере сгорания ухудшается процесс сгорания, приводящий к образованию нагара. Для решения этой проблемы предлагается способ и технические средства для очистки деталей двигателя от образовавшегося нагара без его разбора в процессе повседневной эксплуатации с целью улучшения эксплуатационно-технических характеристик техники, от которых будет напрямую зависеть готовность образцов машинно тракторного парка. Разработанный способ основан на прямом смешивании топлива с водой, диспергации полученной смеси и подачи в камеру сгорания ДВС при превышении температуры топлива заданной величины, и в зависимости от температуры, а также количества оборотов ДВС и с разных уровней смесительного бака. Универсальность разработанных устройств для реализации предлагаемого способа состоит в том, что их можно применять не только в условиях стационарного применения, но и на борту техники в процессе её эксплуатации. Реализация разработанного способа и технических устройств обеспечит эффективное удаление нагара за счёт взаимодействия раскалённых частиц нагара с каплями воды (пара), что приведёт к увеличению ресурса дизельных ДВС, восстановлению эксплуатационно-технических характеристик особенно изношенных дизельных ДВС и в конечном итоге повысит готовность отдельных образцов АТТ и в целом техническую готовность машинно-тракторного парка.*

Ключевые слова*: дизельный двигатель внутреннего сгорания, автотракторная техника, нагар, техническое обслуживание, техническое устройство, безразборная очистка деталей от нагара.*

TECHNOLOGY OF PREPARATION AND SUPPLY OF COMPLEX FUEL TO IMPROVE THE OPERATIONAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINES OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

Yuri Rodionov [1]***, Sergey Danilin*** [2]***, Alexandr Lomovskih*** [3]***, Alexey Sviridov*** [4]***, Andrey Volokitin*** [5]
[1]*Tambov state technical university, Tambov, Russia*

[1,2,3]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru, [3]lomovskih1979@yandex.ru
[3,4,5]*Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia*
[5]andvolokitin@yandex.ru

Abstract. *The technology of preparation and supply of complex fuel is proposed to improve the operational and technical characteristics of diesel engines of automotive equipment, as well as technical means for its implementation. The analysis of the work of the ATT samples showed that its operation occurs with low speeds in the field and heavy loads on the internal combustion engine (ICE), while its thermal tension increases and the combustion process worsens in the combustion chamber, leading to the formation of carbon deposits. To solve this problem, a method and technical means are proposed for cleaning engine parts from the formed carbon deposits without parsing it during daily operation in order to improve the operational and technical characteristics of equipment, on which the readiness of samples of the machine and tractor fleet will directly depend. The developed method is based on direct mixing of fuel with water, dispersion of the resulting mixture and feeding into the combustion chamber of the internal combustion engine when the fuel temperature exceeds a given value, and depending on the temperature, as well as the number of revolutions of the internal combustion engine and from different levels of the mixing tank. The versatility of the developed devices for the implementation of the proposed method is that they can be used not only in stationary conditions, but also on board the equipment during its operation. The implementation of the developed method and technical devices will ensure effective removal of carbon deposits due to the interaction of red-hot carbon particles with water droplets (steam), which will lead to an increase in the resource of diesel internal combustion engines, restoration of operational and technical characteristics of especially worn-out diesel internal combustion engines and ultimately increase the readiness of individual samples of ATT and, in general, the technical readiness of the machine and tractor fleet.*

Keywords: *diesel internal combustion engine, automotive equipment, carbon deposits, maintenance, technical device, non-disassembly cleaning of parts from carbon deposits.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Данилин С.И., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Волокитин А.А. Технология приготовления и подачи комплексного топлива для улучшения эксплуатационно-технических характеристик дизельных двигателей автотракторной техники// Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 72-86. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-72-86.

For citation: Rodionov Y, Danilin S., Lomovskih A., Sviridov A., Volokitin A. Technology of preparation and supply of complex fuel to improve the operational and technical characteristics of diesel engines of automotive equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 72-86. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-72-86.

Введение. В настоящее время сельхозпроизводители остро испытывают проблему поддержания на необходимом уровне работоспособности автотракторной техники (АТТ), которая входит в состав машинно-тракторного парка (МТП), что в свою очередь влияет на техническую готовность образцов АТТ. Если рассматривать иерархическую схему, то современный МТП, можно представить в виде суперсистемы, а АТТ входящую в состав данного парка, как техническую систему, состоящую в свою очередь из подсистем (трансмиссии, ходовой системы, силовая установка, тормозная система и др.). Таким образом, можно сделать вывод, что техническая готовность МТП будет зависеть от готовности каждого элемента системы, то есть образца АТТ. Если рассмотреть образец АТТ, состоящий из подсистем, то соответственно на его готовность будет влиять уровень работоспособности каждого агрегата, механизма, узла и детали. Самым сложным и дорогостоящим агрегатом АТТ является двигатель внутреннего сгорания (ДВС), который состоит из систем и механизмов, представленных на рисунке 1.

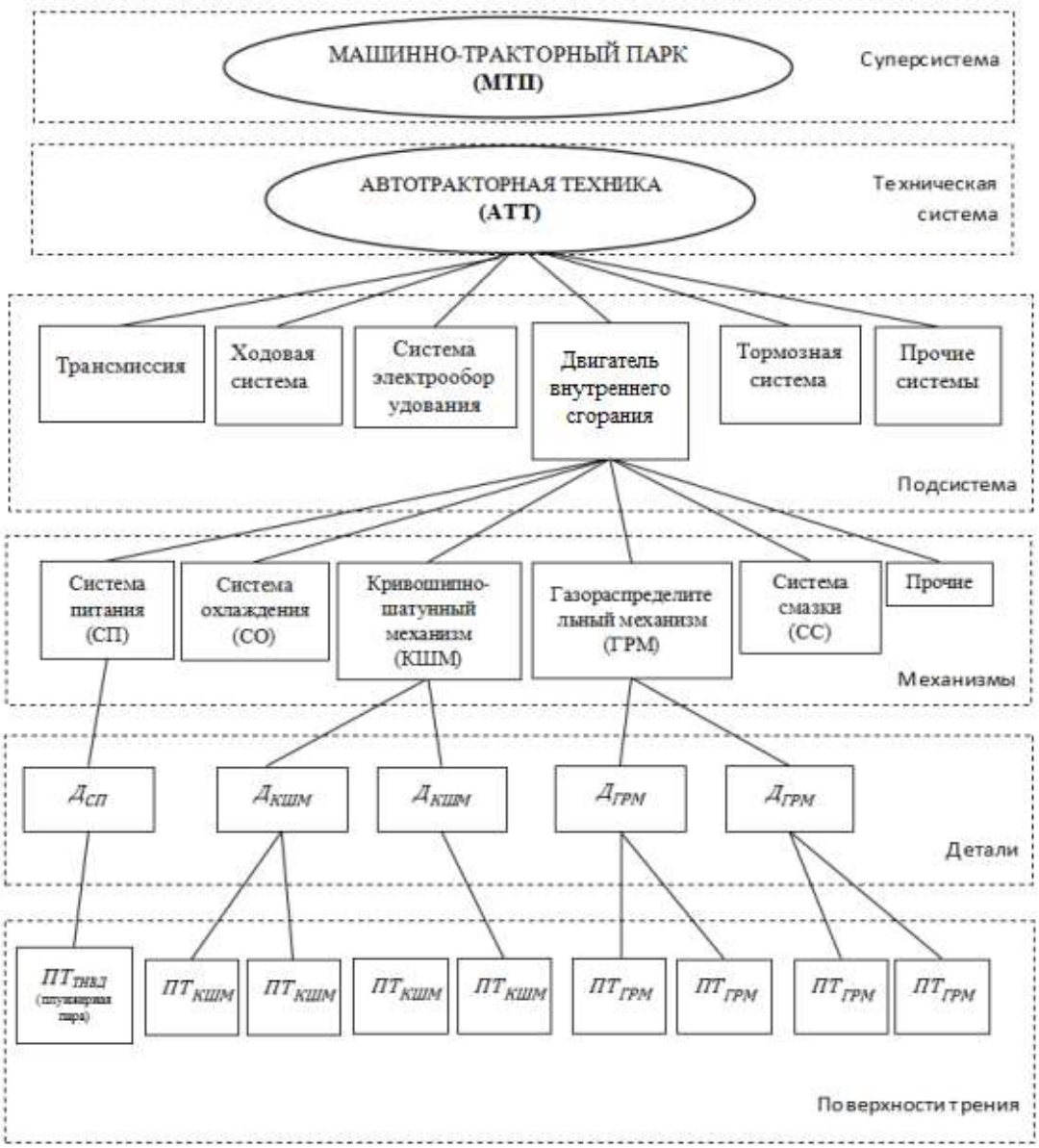


Рисунок 1 – Иерархическая схема современного МТП

На современных образцах АТТ в основном используются дизельные ДВС. В процессе эксплуатации АТТ дизельные двигатели работают, как правило, в тяжёлых условиях и при повышенной нагрузке на все агрегаты, узлы и механизмы. Вследствие такой работы существенно снижается ресурс двигателей, а также интервал регламентных работ, которые трудно определить от номинальных значений без разборки СУ и проведения его деффектовки. В таких условиях работы образца АТТ, характерными небольшими скоростями движения техники при выполнении технологических операций в поле и большими нагрузками на ДВС, повышается его тепловая напряжённость и в камере сгорания ухудшается процесс сгорания. Все это приводит к дополнительному образованию нагароотложений на теплонапряженных деталях (стенках цилиндров, клапанах, поршнях, форсунках, выпускных коллекторах и др.). В наиболее сложных

условиях по тепловой напряжённости находятся огневые днища головки блока цилиндров и поршня, температурные поля которых характеризуются значительной неравномерностью в различных зонах.

Проведённый анализ работ [1, 2], выявил, что нагар негативно влияет на эксплуатационно-технические характеристики дизельных ДВС. В качестве примера можно привести, что при эксплуатации грузовой дизельной техники в среднем за 100 тыс. км пробега на поршне образуется более 3 мм нагара, который в свою очередь повышает температуру днища поршня более чем на 300 °С из-за ухудшения отвода тепла от поршня, несмотря на подачу масла в его каналы масляного охлаждения. Поэтому резко увеличивается трение поршня о стенки цилиндра, приводя к усиленному процессу износа деталей цилиндро-поршневой группы. Также образующийся нагар уменьшает камеру сгорания в каждом цилиндре, в результате чего, повышается температурный режим, поэтому в процессе эксплуатации не только увеличивается толщина нагара, но и его твёрдость. Это негативно влияет на работу поршневых колец, так как нагар в процессе его накопления и затвердевания между кольцами и канавками поршня, приводит к потере их подвижности и «залеганию». Все перечисленное значительно снижает ресурс ДВС. Следует отметить, что при проведении технического обслуживания АТТ не предусмотрено технологических операций связанных с очисткой деталей ДВС от нагара, а также то что его полностью можно очистить только после частичной разборки двигателя. Поэтому это очень трудоёмкий и дорогостоящий процесс и его никто не выполняет. В связи с этим для обеспечения заявленного заводом-изготовителем ресурса ДВС необходимо не допускать образования нагароотложений в камере сгорания двигателя, а так как это выполнить практически дорого и не возможно, тогда остаётся только максимально снизить его образование в процессе эксплуатации двигателей АТТ.

Если далее рассмотреть подсистему ДВС, то самым дорогостоящим и сложным в его составе является система питания, а если взять ещё уже, то непосредственно топливный насос высокого давления (ТНВД). А если учесть тот факт, что многие сельхозпроизводители не задумываясь о последствиях, с целью получения быстрой прибыли, идут по пути снижения затрат связанных с закупкой горюче-смазочных материалов и используют для работы АТТ дешёвое, дизельное топливо низкого качества. То в результате данные обстоятельства, не только приводят к описанным выше последствиям, но и вызывают преждевременный износ топливной аппаратуры (особенно плунжерной пары ТНВД) системы питания ДВС.

При решении задачи, связанной с надёжностью образцов техники МТП, только качественной оценки недостаточно, поэтому количественную оценку таких свойств надёжности, как безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость и долговечность можно выполнить с помощью единичных критериев, как показано на рисунке 2.

Но в нашем случае целесообразно использовать комплексный критерий, характеризующий одновременно несколько свойств надёжности это коэффициент готовности образца АТТ, который определяется по формуле:

$$К_г = \frac{t_н}{t_н - t_в}, \quad (1)$$

где $t_н$ – средняя наработка на отказ образца АТТ, за расчётный период (средняя продолжительность работоспособного состояния) час; $t_в$ – среднее время восстановления образца АТТ (средняя продолжительность неработоспособного состояния по внутренней причине), час.

В среднем, по предприятиям АПК, коэффициент готовности образцов техники МТП не должен быть ниже 0,85, но как показывает проведённый анализ эксплуатации сильно изношенной техники, во многих сельскохозяйственных предприятиях, он существенно ниже этой цифры (до 0,75). Таким образом, необходимо увеличить наработку на отказ образца АТТ, которая будет определяться техническим состоянием ДВС и непосредственно его надёжностью (согласно рисунка 2) и напрямую зависеть от качества проведения технического обслуживания (ТО) ДВС.

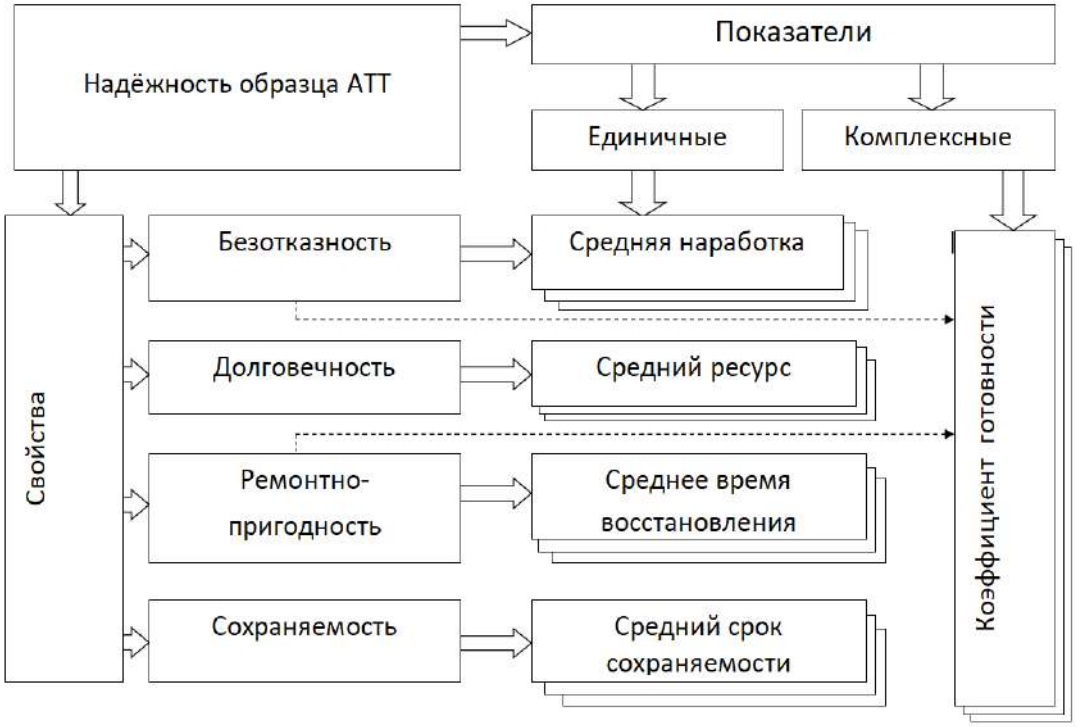


Рисунок 2 – Взаимосвязь свойств и показатели надёжности образца АТТ

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

разработать способ и технические средства для очистки деталей двигателя от образовавшегося нагара без его разбора, желательно в процессе повседневной эксплуатации АТТ, а также полного или частичного исключения дальнейшего его образования с целью улучшения эксплуатационно-технических характеристик техники и непосредственно увеличения ресурса ДВС, от которого будет напрямую зависеть готовность образца АТТ и в целом техническая готовность МТП;

внедрить технические решения в состав штатной системы питания ДВС, не изменяя существенно её конструкции и не снижая ресурс;

практически реализовать разработанные способ и технические устройства в системе ТО двигателей с целью повышения его безотказности.

Материалы и методы. Для решения этих задач необходимо вначале провести комплексный анализ существующих способов и технических средств для очистки деталей ДВС от образовавшегося нагара, а затем произвести синтез отдельных составляющих, обособленных при анализе, в качестве единого целого для изучения взаимосвязей между ними.

Для снятия показателей дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ и получения внешней скоростной характеристики использовали нагрузочный центр КИ-5540 (рисунок 3).

Экспериментальные исследования проводились в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 14846-81, ГОСТ Р 52408-2005, ГОСТ Р 52033-2003 [3-5]. При этом температура ДВС и моторного масла поддерживалась в пределах, указанных в технической документации на ДВС. В экспериментальных исследованиях использовались следующие средства измерений (таблица 1).

Рисунок 3 – Внешний вид нагрузочного стенда КИ-5540 для проведения экспериментальных исследований

Таблица 1 – Перечень применяемых при исследовании стандартных средств измерений

№ п/п	Наименование прибора	Единица измерения	Диапазон измерения	Погрешность измерения, %.
1	Термометр	°С	0 ÷ 200	± 1
2	Преобразователь электрический	В	0 ÷ 300	± 1
3	Тахометр электронный типа ТЭСА-5	об/мин	0 ÷ 10000	± 5
4	Вольтметр универсальный В7-47 по ГОСТ 17.2.205-86	В	0 ÷ 250	± 1
6	Манометр	МПа	0 ÷ 0,1	± 1
7	Секундомер ПВ-53А	сек.	0÷~	± 1
8	Расходомер ИП-179ПС	л/ч	5÷100	± 1,5

Проведённые испытания дизельного ДВС позволили установить, что работа двигателя на всех режимах стабильна, сбоев не выявлено.

Точность и достоверность полученных результатов основывалось на правильности выбора средств измерений, а также на выборе места расположения приборов, которое было выбрано из условия обеспечения минимальных помех, оказываемых работой ДВС на показания приборов. Расчёт предельной относительной погрешности часового расхода топлива осуществлялся по выражениям:

$$G_T = \frac{3{,}6 \times m_T}{t}, \text{ (кг/ч)} \quad (2)$$

$$\delta(G_т) = \sqrt{\delta(m_т)^2 + \delta(t)^2} = \sqrt{0{,}67^2 + 0{,}17^2} = 0{,}69\ \% \quad (3)$$

где m_T – масса израсходованного топлива, кг; t – время работы ДВС, с.

Совокупная погрешность по всем производимым измерениям не превышает ± 5 %.

Результаты и их обсуждение. В рамках решения первой задачи исследования был изучен процесс образования нагара на основных деталях ДВС, который описывается в источнике [1, 2] в рамках диссертационной работы, который представлен в виде схемы, изображённой на рисунке 4.

Изучение данной схемы позволяет установить, что образование нагара существенно зависит от конструктивных особенностей дизельного ДВС и непосредственно условий, в которых осуществляется его эксплуатация.

Нагароотложения, в зависимости от температурных режимов работы дизельного двигателя АТТ, а также качества применяемых горюче-смазочных материалов могут разниться по своему составу, способности скрепления с поверхностью деталей и твёрдости. Проведённые исследования [2, 6] показывают, что нагар в основном образуется в результате сгорания дизельных топлив, насыщенных сернистыми соединениями, который отличается от других значительной твёрдостью и плотностью.

Рисунок 4 – Схема образования нагара на деталях дизельного ДВС

Эксплуатационные исследования образования нагароотложений проводились в работе [7], в которых была установлена динамика формирования нагара. Экспериментально установлено, что при наработке дизельных образцов АТТ около 1000 мото-часов толщина нагара колеблется в районе 1 мм, а его твёрдость уже находится около 2Т...3Т, то есть он очень твёрдый и удалить его возможно только путём разборки ДВС.

Таким образом, можно установить, что нагарообразование – это сложный процесс и его последствия негативно влияют на эксплуатационно-технические характеристики дизельных двигателей АТТ, которые проявляются в виде внезапных отказов, что в целом снижает техническую готовность парка техники, эксплуатируемой предприятиями АПК. На процесс образования нагара влияет большое количество факторов, поэтому предотвратить его появление полностью невозможно, поэтому необходимо разработать технологию безразборной очистки деталей ДВС от нагара непосредственно в процессе эксплуатации АТТ.

В настоящее время для очистки деталей ДВС существует множество разнообразных присадок, добавляемых как в моторное масло, так и в топливо [6, 8]. Кроме того, на выбор используемых присадок влияет их способность смешиваться с выбранными маслами и топливом, чтобы обеспечить совместимость с другими присадками в их составе и экономическую эффективность. Некоторые присадки действуют непосредственно в масле или топливе (например, антиокислительные), а другие на поверхности металла (например, противоизносные присадки и ингибиторы). К недостаткам данных методов относится: недолгий срок службы (для очистки от нагара необходимо регулярная работа на присадках, что не всегда экономически целесообразно), рынок данных товаров заполнен подделками, которые могут негативно влиять на рабочие параметры двигателя, присадки на основе минеральных порошков могут вывести масляные каналы из строя, а присадки с металлоплакирующими свойствами, при постоянном использовании, могут стереть маслоудерживающие риски со стенок цилиндра и т. д.

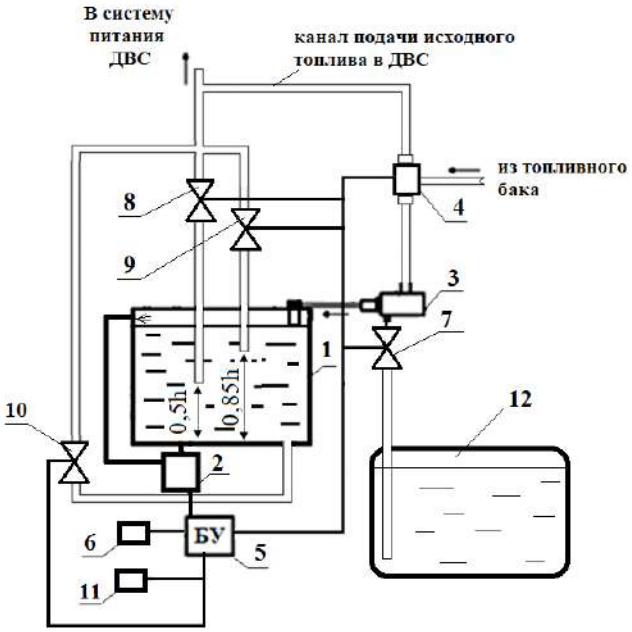
Также для очистки деталей ДВС от нагара применяются различные устройства, которые могут быть по-разному связаны с топливной системой [9, 10].

Выявлен самый дешёвый и наиболее перспективный способ и устройство для его реализации [9], в котором во впускной коллектор двигателя подаётся вода при работе ДВС пропорционально

часовому расходу топлива. Основной недостаток в том, что происходит перемешивание топлива во впускном коллекторе и формируются капли больших размеров (500…750 мкм), воздействуя на нагар такие капли, могут дробить его путём откалывания на очень большие частицы. Так как частицы нагара твёрдые, если они попадут в зазор между поршнем и цилиндром возникнут царапины (задиры), что может привести к дорогостоящему ремонту двигателя. В связи с этим, недостаток этого способа заключается в низкой степени очистки деталей цилиндро-поршневой группы из-за некачественного размягчения твёрдых смолисто-лако-коксовых отложений, в частности на поршнях и гильзах. Поэтому отколовшиеся на начальном этапе твёрдые частички нагара частично попадают между поршнем, поршневыми кольцами и гильзой цилиндра, приводя в процессе очистки к задирам на этих деталях. Но к самому главному недостатку этого способа следует отнести то, что его реализация происходит стационарно, путём вывода техники из эксплуатации.

Поэтому данный способ [9], основанный на смешивании топлива с водой, диспергации полученной смеси и подачи в камеру сгорания ДВС будет использован для дальнейшего совершенствования.

Проведённый патентный поиск [9, 10] позволил разработать способ и его реализацию с помощью технического устройства, результатом которого будет повышение степени очистки деталей двигателя за счёт первоначального размягчения нагара. Способ и техническое решение для его реализации представлены на рисунке 5.



1 – смесительная ёмкость; 2 – диспергатор; 3 – смеситель-дозатор, 4 – двухканальный управляемый клапан с датчиком температуры топлива; 5 – блок управления; 6 – датчик температуры охлаждающей жидкости двигателя; 7, 8, 9, 10 – управляемые клапаны; 11 – датчик оборотов двигателя; 12 – ёмкость с водой

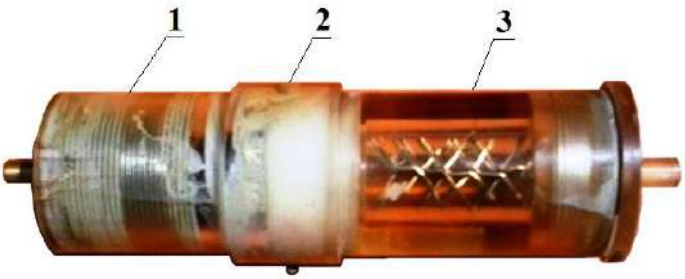
Рисунок 5 – Схема разработанного технического решения

Способ включает подачу топлива и воды при заборе водно-топливной эмульсии из бака 12 в зависимости от температурного режима работы ДВС, который отличается от известных тем, что в предлагаемом способе подача смеси топлива и воды в камеру сгорания осуществляется при превышении температуры топлива до заданной величины, и в зависимости от температуры, а также количества оборотов ДВС и с разных уровней смесительного бака 1. При этом подача смеси топлива и воды в камеру сгорания осуществляется при превышении температуры топлива

относительно заданной величины, и в зависимости от температуры и количества оборотов двигателя забор осуществляется с разных уровней смесительного бака. Температура застывания получаемой водно-топливной эмульсии является важной эксплуатационной характеристикой, которую необходимо учитывать при работе двигателя в холодное время, в связи с этим для сохранения регламентированного ресурса двигателя целесообразно реализацию способа осуществлять при температуре топлива и соответственно окружающей среды выше плюс 5 °С, при этом осуществляется забор из смесительной ёмкости с уровня 0,85h водно-топливной эмульсии, где воды содержится менее 5%, а размеры её капель менее 2 мкм в режиме пуска и прогрева двигателя при tдв. ≤ 90 °С и nдв ≤ 1000 мин-1, где h – высота уровня топлива от дна бака, nдв – обороты двигателя, tдв – температура ДВС, с уровня 0,5h водно-топливной эмульсии, где воды содержится около 10%, а размеры её капель 5…10 мкм в режиме средних нагрузок двигателя при tдв. ≥ 90 °С и 1500 мин-1 ≤ nдв ≥ 1000 мин-1, со дна смесительной ёмкости водно-топливной эмульсии, где воды содержится около 20%, а размеры её капель более 10 мкм в режиме максимальных нагрузок двигателя при tдв. ≥ 90 °С и nдв ≥ 1500 мин-1 в штатную систему питания двигателя через управляемые клапаны, регулируемые блоком управления. В смесительной ёмкости происходит процесс её коагуляции, то есть процесс разрушения коллоидной системы за счёт объединения мелких капель воды в более крупные и их последующего оседания на дно ёмкости из-за физико-химических свойств жидкости и избыточного давления в её объёме. Поэтому в верхней части смесительной ёмкости, находится вода с размерами капель менее 2 мкм, а её содержание в объёме топлива составляет до 5%, затем по мере опускания на дно образуются капли воды 10…50 мкм, а содержание увеличивается до 20% по отношению к объёму топлива. Дальнейшее увеличение подачи воды (например, до 30%) возможно путём изменения регулировок в смесителе-дозаторе 3, но не целесообразно, так как вода может негативно повлиять на топливную аппаратуру системы питания, в результате снижения активности жидкости, что обусловлено уменьшением эффективности диспергирования.

Управляемые клапаны 4, 7, 8, 9, 10 предназначены для закрытия и открытия каналов подачи топлива и водно-топливной эмульсии, могут быть выполнены в виде электромагнитных клапанов, при этом клапан 4 имеет датчик температуры, блок управления 5 предназначенный для управления управляемыми клапанами 4, 7, 8, 9, 10 и диспергатором 2. Он может быть выполнен в виде контролера Atmega8, также датчика температуры охлаждающей жидкости двигателя предназначенного для подачи сигнала о рабочей температуре охлаждающей жидкости двигателя в блок управления 5. Для этого может использоваться штатный датчик температуры двигателя, датчик оборотов двигателя, предназначенный для подачи информации об оборотах двигателя в блок управления 5, может быть использован штатный датчик оборотов двигателя. Ёмкость с водой 12 назначение понятно из названия и может быть выполнена в виде пластикового бака.

В качестве диспергатора был разработан статический аппарат для приготовления водно-топливной эмульсии, схема которого представлена на рисунке 6.



1 – секция №1; 2 – секция №2; 3 – секция №3
Рисунок 6 – Статический аппарат для приготовления водно-топливной эмульсии

Устройство работает следующим образом. При условии, что температура топлива и окружающей среды выше заданного значения, физика процессов взаимодействия смеси разной

концентрации при других параметрах двигателя приводит к необходимости регулировать уровень забора водно-топливной эмульсии.

Когда двигатель работает в режиме пуска и прогрева до достижения температуры $t_{дв.}$ = 90 °С и оборотах двигателя $n_{дв} \leq 1000$ мин$^{-1}$, при этом топливо подаётся через двухканальный управляемый клапан 4 в смеситель-дозатор 3, который дозирует в струю проходящего топлива установленное количество воды, из ёмкости с водой 12. Одновременно с датчиков температуры 6 и датчика оборотов 11 двигателя сигнал поступает в блок управления 5, в котором формируется сигнал для закрытия подачи топлива в систему питания ДВС и сигнал для открытия двухканального клапана 4 на подачу топлива в устройство только при заданном значении температуры топлива (более 10 ºС), в смеситель-дозатор 3 и одновременно открывает управляемый клапан 9 и 7, а также включает деспиргатор 2, который циклично перемешивает топливо и воду до получения водно-топливной эмульсии высокой дисперсности, где размеры капель воды менее 2 мкм и которые равномерно распределены по всему объёму топлива. Затем из смесительной ёмкости 1 осуществляется забор водно-топливной эмульсии с уровня 0,85h, где воды содержится менее 5% в топливе, а размеры ее капель менее 2 мкм, через управляемый клапан 9 штатным топливным насосом и дальнейшая подача такого топлива в систему питания ДВС. На таком топливе двигатель работает пока не прогреется до рабочей температуры 90 °С.

Когда двигатель прогрелся до рабочей температуры $t_{дв.} \geq 90$ °С и при оборотах двигателя 1500 мин$^{-1}$ $\leq n_{дв} \geq$ 1000 мин$^{-1}$, целесообразно производить процесс очистки при движении (эксплуатации) образца АТТ. При этом сигнал от датчика температуры охлаждающей жидкости 6 и датчика оборотов 11 двигателя поступает в блок управления 5, который закрывает управляемый клапан 7 и одновременно открывает управляемый клапан 8, деспиргатор 2 продолжает постоянно работать и циклично перемешивать топливо и воду до получения водно-топливной эмульсии высокой дисперсности (2 мкм). Затем из смесительной ёмкости 1 осуществляется забор водно-топливной эмульсии штатным топливным насосом и дальнейшая подача ее в систему питания ДВС, в которой воды содержится около 10% в топливе, а размеры её капель составляют 5…10 мкм, уже с уровня 0,5h, через управляемый клапан 8. На таком топливе двигатель работает в режиме средних нагрузок.

При увеличении оборотов ДВС выше $n_{дв} \geq 1500$ мин$^{-1}$, то есть перейти в режим максимальных нагрузок и повысить скорость движения образца АТТ. При этом сигнал от датчика оборотов 11 двигателя поступает в блок управления 5, который закрывает управляемый клапан 8 и одновременно открывает управляемый клапан 10. При этом из смесительной ёмкости 1 осуществляется забор водно-топливной эмульсии со дна ёмкости штатным топливным насосом и дальнейшая подача её в систему питания ДВС в которой уже воды содержится около 20 % в топливе, а размеры её капель составляют более 10 мкм, через управляемый клапан 10. На таком топливе двигатель работает в режиме максимальных нагрузок.

При дальнейшей эксплуатации ДВС, с установленным на нем устройством для очистки деталей двигателя от нагара, с помощью датчика оборотов 11 двигателя и блока управления 5 происходит автоматическое изменение забора водно-топливной эмульсии на уровень 0,5 h, как только обороты двигателя уменьшаются, а при дальнейшем снижении оборотов на уровень 0,85 h, и наоборот [11].

Такое точное дозирование воды при различных размерах её капель в зависимости от оборотов коленчатого вала и нагрузки на ДВС позволяет эффективно очистить детали от нагара и без негативных последствий для самого двигателя.

Режим очистки продолжается до тех пор, пока не будет полностью удалён нагар с деталей ДВС, который можно контролировать, например, с помощью видеоэндоскопа, через отверстие под свечу зажигания или под форсунку.

По полученным результатам замеров была построена внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ при работе на водно-топливной эмульсии, подаваемой в систему питания двигателя, которая представлена на рисунке 7.

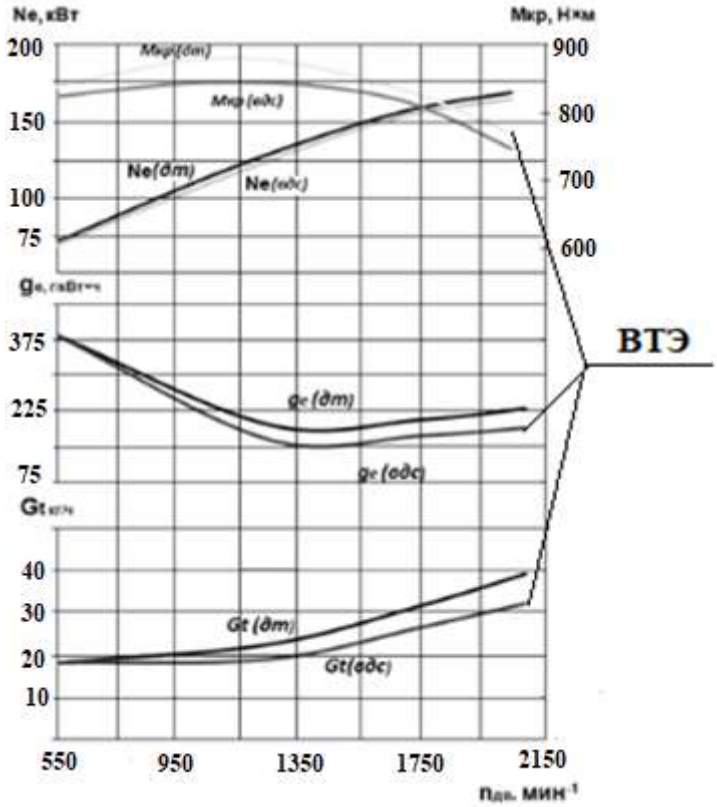


Рисунок 7 – Внешняя скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-236 НЕ
при работе на водно-топливной эмульсии

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанные технические решения не только не ухудшают эксплуатационно-технические характеристики дизельного ДВС, но и даже улучшают, так как вода в камере сгорания позволяет снизить цикловые давления и температуры в камере сгорания ДВС. Протекание химических реакции между парами воды и дизельного топлива записывается выражением:

$$C_m H_n + m H_2O + Q = mCO + (2m+n)H_2/2 . \quad (4)$$

Химическая активность воды при T ≥ 1000 ^oC в камере сгорания определяется следующими выражениями.

Когда коэффициент избытка воздуха α>1 (смесь бедная), то в соответствии с уравнением:

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2, \quad (5)$$

Когда коэффициент избытка воздуха α<1 (смесь богатая), то в соответствии с уравнением:

$$C + H_2O = CO + H_2. \quad (6)$$

Затраты тепла на испарение воды компенсируются горением H_2, который выделяется в ходе представленных (4–6) химических реакциях. В связи с этим при добавке до 20% воды не происходит снижение мощности дизельного ДВС [12].

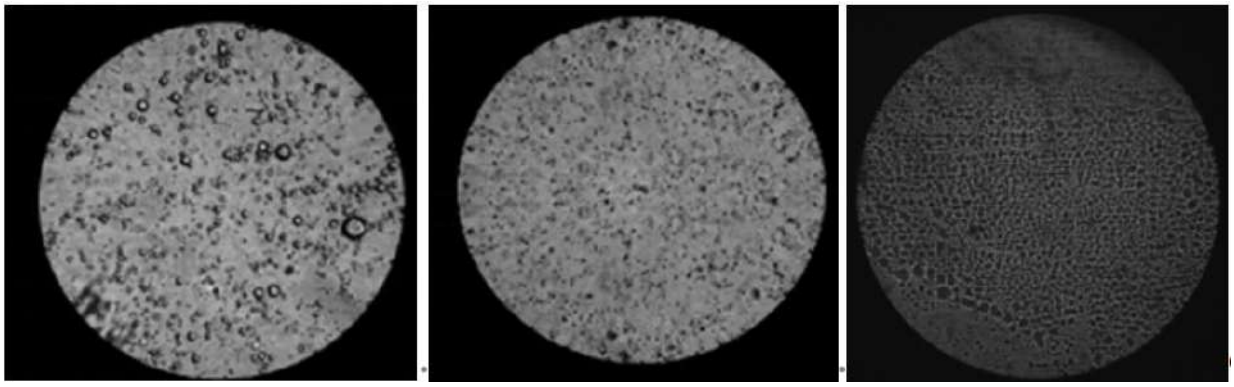
Для определения размеров капель воды в водно-топливной эмульсии использовался оптический способ, который осуществлялся с помощью цифрового микроскопа с

четырёхсоткратным увеличением и персональным компьютером с установленным программным продуктом «LevenukLite» (рисунок 8).

Рисунок 8 – Внешний вид оборудования для определения размеров капель воды

С помощью цифрового микроскопа были установлены капли воды на различных уровнях в смесительной ёмкости 1 (рисунок 5).

В ёмкости с уровне 0,85h водно-топливной эмульсии, где воды содержится менее 5%, размеры её капель составили около 2 мкм, на уровня 0,5h, где воды содержится около 10%, средние размеры её капель находились в пределах 5…10 мкм, а на дне смесительной ёмкости, где воды содержится около 20%, размеры её капель были более 10 мкм. Внешний вид капель воды под микроскопом, представлен на рисунке 9.



а) б) в)

а) на уровне 0,85h; б) на уровня 0,5h; в) на дне ёмкости

Рисунок 9 – Внешний вид капель воды под микроскопом

Следует отметить, так как капля воды в водно-топливной эмульсии обволакивается сверху тяжёлыми фракциями дизельного топлива, поэтому её контакт с металлическими поверхностями рабочих поверхностей деталей топливной аппаратуры будет практически исключён. Так как размеры капелек воды очень маленькие, а количество её не большое, то при такой подаче водно-топливной эмульсии в систему питания ДВС никаких негативных последствий не произойдёт.

В качестве рекомендаций по реализации разработанного способа необходимо отметить следующее.

1. Практическое использование разработанного способа очистки деталей ДВС от нагара и технических устройств для его реализации необходимо совмещать с проведением на образцах АТТ технического обслуживания номер 2 (ТО-2) или с проведением сезонного обслуживания (СО), то есть два раза в год, путём установки непосредственно на технику в этот период и эксплуатации ДВС на водно-топливной эмульсии в течении одного рабочего дня, то есть не более 6...8 часов. За это время необходимо полностью очистить детали дизельного ДВС от нагара, а затем снять данное техническое устройство с техники. В связи с этим все элементы устройства целесообразно установить на одной переносной и компактной платформе.

2. Прежде чем начинать подачу воды, то есть подать питание в разработанное устройство, необходимо проведение этой операции спланировать со скорой заменой масла (с проведение технического обслуживания включающего замену масла), так как процесс очистки от нагара приведёт к сильному загрязнению моторного масла.

3. При большом сроке эксплуатации образца АТТ более 10 лет или более 100 тыс км для грузовой техники или более 1250 мото-часов для сельскохозяйственной техники первоначальный процесс очистки следует производить в режиме минимальной подаче воды из смесительной ёмкости с уровня 0,85h водно-топливной эмульсии, где воды содержится менее 5%, а размеры её капель менее 2 мкм. При этом количество нагара в камере сгорания ДВС большое, его слой более 2 мм., а твёрдость его соответственно тоже большая около 2Т...3Т, поэтому чтобы его размягчить без негативных последствий нужно проработать на таком топливе в режиме холостого хода не менее 30 минут, которого достаточно для размягчения нагара. Также не большие размеры капель воды в водно-топливной эмульсии не позволят отколоть от нагара большие частички. Следует учесть тот факт, что чем толще слой нагара на деталях, тем дольше должен проработать ДВС в таком режиме и на таком топливе. После этого можно осуществлять очистку нагара уже на повышенных оборотах и с большим количеством воды.

4. При работе дизельного ДВС на водно-топливной эмульсии подачу возврата топлива в топливный бак необходимо отключить и перенаправить её в смесительную ёмкость 1 (см. рисунок 3).

5. После выполнения всех операций по очистке от нагара необходимо очистить все топливные фильтра от водно-топливной эмульсии, путём откручивания сливных пробок, расположенных в нижней части корпуса и удаления эмульсии.

Далее необходимо перейти ко второму этапу исследований и установить в течении какого периода эксплуатации образцов АТТ на водно-топливной эмульсии произойдёт полное очищение деталей ДВС от накопившегося нагара, а также с какой периодичностью повторять очистку.

Заключение. Особенность разработанного способа заключается в том, что способ безразборной очистки деталей ДВС от нагара реализуется при осуществлении забора с различных уровней смесительной ёмкости водно-топливной эмульсии, что приводит к наилучшему техническому результату, обеспечивается максимальная степень очистки деталей и соответственно восстановление рабочих характеристик двигателя, когда подача водно-топливной эмульсии (смеси топлива и воды) происходит с разных уровней смесительной ёмкости и разного состава (5…20% воды) и качества (с размерами капель воды от 2 до 10 мкм) в штатную систему питания двигателя через управляемые клапаны, регулируемые блоком управления.

Предлагаемый способ обеспечит эффективное удаление нагара за счёт взаимодействия раскалённых частиц нагара с каплями воды (пара), а устройство для его реализации является универсальным, так как может устанавливаться параллельно штатной системы питания как бензинового, так и дизельного двигателя. Использование разработанного способа также не требует вывода техники из эксплуатации, так как осуществляется на борту АТТ при работе ДВС на всех режимах. В целом внедрение разработанного способа и технических устройств позволит в конечном итоге повысить готовность отдельных образцов АТТ и в целом техническую готовность МТП.

Список источников

1. Катаев, Ю.В. Технология очистки двигателей от нагара: спец. 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: дис.... канд. техн. наук / Катаев Юрий Владимирович. Москва, 2013. 135 с.

2. Картошкин, А.П. Разработка метода и стенда для ускоренной оценки влияния эксплуатационных факторов на нагарообразование в дизелях: автореф. дис.... канд. техн. наук / Картошкин Александр Петрович. Л., 1984. 17 с.

3. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов. 42 с.

4. ГОСТ Р 52408-2005, Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Измерения в условиях эксплуатации. Ч. 2. М.: Изд-во стандартов. 30 с.

5. ГОСТ Р 52033-2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. М.: Изд-во стандартов. 31 с.

6. Папок, К.К. Нагары, лаковые отложения и осадки в автомобильных двигателях / К.К. Папок [и др.]. М.: Машгиз, 1956. 256 с.

7. Проскурин, А.И. Исследование безразборного удаления нагара с деталей цилиндро-поршневой группы двигателей сельскохозяйственных тракторов в условиях эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук / А.И. Проскурин. Л: Пушкин, 1983. 158 с.

8. Катаев, Ю.В. Безразборная очистка двигателя от нагара / Ю.В. Катаев // Сельский механизатор. 2011. № 9. С. 34–35.

9. Пат. №109423 РФ, МПК B08B 3/00 (2006.01). Установка для очистки от нагара деталей двигателя внутреннего сгорания /Ю.В. Катаев, В.М. Корнеев, А.С. Дорохов; заявитель и патентообладатель Катаев Ю.В. № 2011119539/06; заявл. 16.05.2011; опубл. 20.10.2011, Бюл. № 29. 2 с.: ил.

10. Пат. № 2708000, РФ, МПК 6 F 02M2/5(022). Устройство для безразборной очистки деталей двигателя внутреннего сгорания от нагара / Ломовских А.Е., Тещин М.А., Егоров Д.С., Стародубцев Д.А., Волокитин А.А.; заявитель и патентообладатель ВУНЦ ВВС «ВВА» г. Воронеж № 2019112121; заявл. 22.04.2019; опубл. 03.12.2019, Бюл. № 34. 8 с.: ил.

11. Безразборный процесс очистки поверхностей деталей цилиндро-поршневой группы от нагара / А.Е. Ломовских, Д.А. Стародубец, А.А. Волокитин, Е.А.Галныкин. Сборник статей по материалам докладов IV НПК 17 мая 2017 г. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. С. 267–271.

12. Способ продления ресурса военной автомобильной техники при повседневной эксплуатации / А.Е. Ломовских, Е.В. Носов, С.В. Митрофанова. Электронное периодическое издание «Воздушно-космические силы. Теория и практика». Издательство: ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. МО РФ (Воронеж) 2020 г. №13. С. 165–174.

References

1. Kataev, Yu.V. Technology of cleaning engines from carbon deposits: spec. 05.20.03 "Technologies and means of maintenance in agriculture": dis.... Candidate of Technical Sciences / Kataev Yuri Vladimirovich. Moscow, 2013. 135 p.

2. Kartoshkin, A.P. Development of a method and a stand for accelerated assessment of the influence of operational factors on carbon formation in diesel engines: abstract. dis.... Candidate of Technical Sciences / Kartoshkin Alexander Petrovich. L., 1984. 17 p.

3. GOST 14846–81. Automotive engines. Methods of bench tests. M.: Publishing House of standards. 42 p.

4. GOST R 52408–2005, Piston internal combustion engines. Emissions of harmful substances with exhaust gases. Measurements under operating conditions. Part 2. M.: Publishing House of standards. 30 p.

5. GOST R 52033–2003. Cars with gasoline engines. Emissions of pollutants from exhaust gases. Norms and methods of control in the assessment of technical condition. M.: Publishing House of standards. 31 p.

6. Papok, K.K. Nagars, varnish deposits and sediments in automobile engines / K.K. Folders [et al.]. Moscow: Mashgiz, 1956. 256 p.

7. Proskurin, A.I. Investigation of non-selective removal of carbon deposits from the cylinder-piston group of engines of agricultural trucks under operating conditions: dis. ... Candidate of Technical Sciences / A.I. Proskurin. L: Pushkin, 1983. 158 p.

8. Kataev, Yu.V. Non-selective cleaning of the engine from carbon deposits / Yu.V. Kataev // Rural mechanizer. 2011. No. 9. pp. 34–35.

9. Pat. No.109423 of the Russian Federation, IPC V08B 3/00 (2006.01). Installation for cleaning of internal combustion engine parts from carbon deposits /Yu.V. Kataev, V.M. Korneev, A.C. Dorokhov; applicant and patent holder Kataev Yu.V. No. 2011119539/06; application 16.05.2011; publ. 20.10.2011, Bul. No. 29. 2 p.: ill.

10. Pat. No. 2708000, RF, IPC 6 F 02M2/5(022). Device for non-disassembly cleaning of internal combustion engine parts from carbon deposits / Lomovskikh A.E., Teschin M.A., Egorov D.S., Starodubtsev D.A., Volokitin A.A.; applicant and patent holder of the VUNC VVS "VVA" Voronezh No. 2019112121; application No. 22.04.2019; publ. 03.12.2019, Bul. No. 34. 8 p.: ill.

11. The non-disassembly process of cleaning the surfaces of parts of the cylinder-piston group from carbon deposits / A.E. Lomovskikh, D.A. Starodubets, A.A. Volokitin, E.A.Galnykin. Collection of articles based on the materials of the IV NPC reports on May 17, 2017 Voronezh: VUNTS VVS "VVA", 2017. pp. 267–271.

12. The method of prolonging the resource of military automotive equipment during daily operation / A.E. Lomovskikh, E.V. Nosov, S.V. Mitrofanova. Electronic periodical "Aerospace Forces. Theory and practice". Publishing house: FGKVOU VUNTS VVS "VVA" named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. Ministry of Defense of the Russian Federation (Voronezh) 2020 No. 13. pp. 165–174.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов - доктор технических наук, профессор; С.И. Данилин - кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; А.Е. Ломовских – кандидат технических наук; А.А. Свиридов – кандидат педагогических наук; А.А. Волокитин – соискатель.

Information about the authors

Yu. Rodionov - doctor of technical sciences, professor; S. Danilin - candidate of agricultural sciences, professor; A. Lomovskikh - candidate of technical sciences; A. Sviridov - candidate of pedagogical sciences; A. Volokitin - applicant.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 004.942:629.3.083
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-87-93

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОСТИ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Дмитрий Николаевич Смирнов [1], Светлана Александровна Чернопятова [2], Алексей Иванович Малютин [3], Сергей Юрьевич Панов [4]
[1,2,3] ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия
[4]Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
[3]malyutin-1980@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Алексей Иванович Малютин, malyutin-1980@mail.ru
Corresponding author: Aleksej Malyutin, malyutin-1980@mail.ru

Реферат. *В поставленной задаче моделирования предлагается использование вероятностного подхода. Рассматривается нескольких повторяемых групп однотипных операций - поиск причины отказа и его устранение. По опыту предшествующих ремонтов однотипных узлов автомобиля заданы ряды распределения значений P_m (вероятность ремонта определенных узлов) и P_n (вероятность отказа определенных узлов). В модели учитываются квалификация инженеров и техников станции технического обслуживания, наличие и возможности подвижных и стационарных средств контроля и ремонта. После определения вероятности правильной диагностики неисправностей и планирования определенного алгоритма операций технического обслуживания оперативность ремонта оценивается как соотношение вероятностей выполнения ремонта за заданное время и среднего времени ремонта. Искомая плотность вероятности, учитывая многофазный характер процесса определяется методом многократной свертки. Полученная модель позволяет решить две взаимообратные задачи. Во-первых, определить оптимальное время ремонта при условии оснащения средствами диагностики и ремонта, также квалификации технических работников. Во-вторых, при заданном времени ремонта определить требуемые характеристики диагностического оборудования, средств обслуживания и персонала.*

Ключевые слова: *моделирование, техническое обслуживание, ремонт, диагностика, надежность технических систем.*

MATHEMATICAL MODEL OF THE EFFICIENCY OF REPAIR OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

Dmitry Smirnov [1], Svetlana Chernopjatova [2], Aleksej Malyutin [3], Sergej Panov [4]
[1,2,3]Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia
[4]Voronezh state technical university, Voronezh, Russia
[3]malyutin-1980@mail.ru

Abstract. *The use of a probabilistic approach is proposed in the modeling task. Several repeatable groups of the same type of operations are considered - the search for the cause of failure and its elimination. Based on the experience of previous repairs of the same type of car components, the distribution series of values Pm (probability of repair of certain nodes) and Pn (probability of failure of certain nodes) are set. The model takes into account the qualifications of engineers and technicians of the service station, the availability and capabilities of mobile and stationary monitoring and repair facilities. After determining the probability of correct troubleshooting and planning a certain algorithm of maintenance operations, the repair efficiency is estimated as the ratio of the probabilities of performing repairs for a given time and the average repair time. The desired probability density, given the*

multiphase nature of the process, is determined by the method of multiple convolution. The resulting model allows us to solve two reciprocal problems. Firstly, to determine the optimal repair time, provided that diagnostic and repair tools are equipped, as well as the qualifications of technical workers. Secondly, at a given repair time, determine the required characteristics of diagnostic equipment, maintenance facilities and personnel.

Keywords: *modeling, maintenance, repair, diagnostics, reliability of technical systems.*

Для цитирования: Смирнов Д.Н., Чернопятова С.А., Малютин А.С., Панов С.Ю. Математическая модель оперативности ремонта автомобильной техники // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 87-93. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-87-93.

For citation: Smirnov D, Chernopjatova S., Malyutin A., Panov S. Mathenatical model of the efficiency of repair of automotive equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 87-93. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-87-93.

Введение. В настоящее время техническое обслуживание является трудоемкой и дорогостоящей сферой деятельности. На долю технического обслуживания и ремонта автомобилей приходится 25..30% общей суммы эксплуатационных расходов автотранспортных предприятий. При этом финансовые затраты предприятий на текущий ремонт и обслуживание с учетом затрат на запасные составляет ежегодно от 6 до 10% от стоимости транспортного парка предприятия.

Эффективность технической эксплуатации машин зависит от многих факторов. К числу основных из них относятся: уровень конструктивно-эксплуатационных свойств (надежность и эксплуатационная технологичность), совершенство методов и средств технической эксплуатации, качество подготовки персонала, глубина проработки и научного обоснования программ технического обслуживания и ремонта и совершенство организации процесса технической эксплуатации.

Для организации технического обслуживания и эксплуатации любого технического объекта и его составных частей, в том числе такого сложного, как автомобиля, необходимо уметь оценивать его текущее состояние, которое непрерывно изменяется под влиянием внешних и внутренних возмущающих факторов. Знание состояния объекта позволяет использовать его оптимальным образом, осуществлять ремонт в кратчайшие сроки и тем самым повысить долговечность.

При технической эксплуатации автомобиля важнейшим элементом является правильная организация технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время основой для ведения автомобильного хозяйства является система планово-предупредительных ремонтов, основанная на техническом обслуживании по наработке агрегатов автомобиля. Регламентный работы по техническому обслуживанию и ремонту проводятся в строго определенные периоды (как правило равные) и предусматривают вывод в эти сроки автомобиля из эксплуатации. Однако случайный характер условий эксплуатации вносит коррекцию в обеспеченную при проектировании вероятность безотказной работы и соответствующее этому техническое состояние конкретного объекта. Повышение надежности при прогнозировании обеспечения наихудших условий эксплуатации связано с большими материальными затратами из-за недоиспользования технического ресурса основной массы объектов и их элементов, находящихся в эксплуатации. Кроме того, полные и частичные разборки агрегатов с целью их дефектации сами по себе вносят изменения в их структуры, что может привести к увеличению вероятности отказов после ремонтов.

Техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию объекта являются перспективной системой, предусматривающей эксплуатацию технического объекта с контролем параметров до предотказного состояния.

Для ффективного применения этой системы необходимо разрабатывать способы обнаружения (т.е. методы технической диагностики) неисправностей, которые позволили прекратить эксплуатацию объекта при определенной высокой степени вероятности возникновения отказа. Такая ситуация может быть определена при непрерывном контроле за значениями параметров, характеризующих работоспособность объекта.

Организация технической диагностики представляет собой комплекс действий, среди которых следует назвать разработку методологических основ процесса, выбор и создание технологических средств диагностики, решение организационных вопросов самою процесса.

При разработке методологических основ решаются различные задачи, в том числе:

– выбор стратегии (методики) диагностики;
– выбор вида информации о техническом состоянии объекта и определение достоверности такой информации;
– выбор или разработка способов получения такой информации;
– разработка модели оценки технического состояния (математической модели объекта);
– разработка методики принятия решения.

Ошибочное решение может привести к недоиспользованию потенциального срока службы детали или узла или к возрастанию вероятности отказа в межремонтный период.

Техническое обслуживание с контролем параметров требует непрерывного анализа результатов эксплуатации с целью обеспечения оперативного реагирования на изменение качественных характеристик, проведение настроечных и регулировочных работ, соответствующего ремонта или замены агрегатов и т.д. Для этого должны быть спланированы и осуществлены мероприятия по созданию необходимых условий для ремонта: созданы производственные мощности по ремонту, обеспечен запас запасных частей и т.п.

Основной задачей, которая возникает при разработке такой системы, является рациональное распределение объемов ремонтных работ и реализация алгоритма, обеспечивающего требования надежности с минимальными затратами времени и средств на ремонт машины.

Поддержание требуемого уровня готовности автомобильной техники сельскохозяйственного назначения (АТСН) в период её сезонного применения обеспечивается качественным и своевременным восстановлением работоспособности в результате отказов и повреждений под воздействием интенсивной эксплуатации в неблагоприятных погодных и операциональных условиях. В этом случае поврежденная или отказавшая автомобильная техника, передаются в станции технического обслуживания, где происходит его ремонт. От своевременности и оперативности осуществления всего комплекса ремонтных мероприятий в периоды интенсификации сезонных сельскохозяйственных работ, в значительной степени, влияет их полное и качественное выполнение.

Цель моделирования – получение аналитических зависимостей вероятностно-временных характеристик оперативности ремонта от показателей оснащенности средствами диагностического контроля и ремонта и квалификации инженерно-технического персонала.

Постановка задачи.

В общем случае ремонт АТСН состоит из нескольких M повторяемых групп однотипных операций [1]. В каждой группе устраняется один из отказов. Значение параметра M определяется эксплуатационно-техническими характеристиками АТСН и характером причины вызвавшей его отказ (старение, повреждения, нарушения условий эксплуатации и т.д.) [2]. Любая m-ая ($1 \le m \le M$) группа представляет две последовательно выполняемые операции: поиск причины отказа и его устранение. При поиске каждого отказа инженерами станции технического обслуживания проверяются N гипотез о возможных причинах его возникновения [3, 4]. Очевидно, что значения параметров M и N для каждого события случайны. Поэтому считается, что априори по опыту предшествующих ремонтов однотипных узлов автомобиля заданы ряды распределения значений P_m и P_n, при этом

$$\sum_{m=1}^{M} P_m = 1, \quad \sum_{n=1}^{N} P_n = 1.$$

По аналогичным соображениям также случайны длительности операций проверки каждой из n гипотез ($1 \le n \le N$) t_1 и устранения неисправности t_2, а их возможные значения характеризуются априорными плотностями вероятности $\varphi(t_1)$ и $\psi(t_2)$.

Квалификация инженеров станции технического обслуживания и возможности подвижных и стационарных средств контроля и ремонта определяют значение N, виды распределения P_n, $\varphi(t_1)$ и $\psi(t_2)$ следующим образом:

$$N^{(A)} < N^{(Б)},$$
$$P_{n=n0}{}^{(A)} < P_{n=n0}{}^{(Б)},$$
$$\int_0^t \varphi^{(A)}(t_1)dt_1 > \int_0^t \varphi^{(Б)}(t_1)dt_1,$$
$$\int_0^t \psi^{(A)}(t_2)dt_2 > \int_0^t \psi^{(Б)}(t_2)dt_2$$

где индекс «А» при N, P_n, $\varphi(t_1)$ и $\psi(t_2)$ соответствует более высокой квалификации инженеров станции технического обслуживания или (и) использованию более совершенных подвижных и стационарных средств контроля и ремонта, а индекс «Б» - противным случаям.

Оперативность ремонта оценивается по показателям: вероятность выполнения ремонта за заданное время $P(t \le t_0)$ и среднее время ремонта $\bar{t}$.

Требуется определить зависимость $P(t \le t_0)$ и $\bar{t}$ от числовых характеристик M, N, Pm, Pn, $\varphi(t_1)$ и $\psi(t_2)$.

Решение задачи.

Пусть $W_m(t)$ – плотность вероятности времени устранения m неисправностей изделия, а $W_1(t)$ - плотность вероятности времени устранения одной неисправности. Тогда, учитывая случайный характер параметра M, вероятность $P(t \le t_0)$ и среднее время ремонта $\bar{t}$ находятся как [5,6]

$$P(t \le t_0) = \int_0^{t_0} \sum_{m \in M} P_m W_m(t)dt, \tag{1}$$

$$\bar{t} = \int_0^{t_0} t \sum_{m \in M} P_m W_m(t)dt. \tag{2}$$

Выражения (1) и (2) являются следствием формулы полной вероятности, с помощью которой определена вероятность выполнения каждой гипотезы $H_m(Y=m)$ о числе возникших неисправностей ремонтируемого изделия. В свою очередь, учитывая многофазный характер процесса последовательного устранения неисправностей изделия, плотность вероятности $W_m(t)$ является результатом m-кратной свертки $W_i(t)$ [7]

$$W_m(t) = \int_0^{\infty} W_1(t-\tau_m)\cdot W_1(\tau_m)d\tau_m \times \ldots \times \tag{3}$$
$$\times \int_0^{\infty} W_1(\tau_2-\tau_1)\cdot W_1(\tau_1)d\tau_1.$$

По аналогии с учетом многофазного и случайного по времени и событиям характера процесса поиска причины возникновения каждой неисправности и ее устранения следует

$$W_1(t_1) = \int_0^{\infty} \varpi(t-t_2)\cdot \psi(t_2)dt_2, \tag{4}$$

$$\omega(t_1) = \sum_{n \in N} P_n \varphi_n(t_1), \tag{5}$$

$$\varphi_m(t_1) = \int_0^{\infty} \varphi(t-\tau_n)\cdot \varphi(\tau_n)d\tau_n \times \ldots \times \int_0^{\infty} \varphi(\tau_2-\tau_1)\cdot \varphi(\tau_1)d\tau_1, \tag{6}$$

где $\omega(t_1)$ – плотность вероятности времени поиска причины неисправности на множестве n возможных гипотез о причинах ее возникновения;

$\varphi(t_1)$ – плотность вероятности времени последовательной проверки n гипотез о возможных причинах ее возникновения.

Соотношения (1)…(6) являются искомой математической моделью для определения $P(t \le t_0)$ и $\bar{t}$ как функций числовых характеристик $M, N, P_m, P_n, \varphi(t_1), \psi(t_2)$.

Анализ полученных решений. Рассматриваются следующие условия моделирования процесса ремонта. Считается, что процессы поиска причины каждой неисправности и их устранения статистически однотипны и подчиняются показательным распределениям с параметрами a_1 и a_2 соответственно. Принимается, что поиск причины каждой неисправности имеет вид процесса независимых испытаний гипотез об их причинах и поэтому $P_n = \alpha(1-\alpha)^{n-1}$, $\alpha=1/N$. Распределением аналогичного вида, но с параметром $\beta = 1/M$ описывается вероятность возникновения m неисправностей $P_m = \beta(1-\beta)^{m-1}$. Тогда, применяя преобразования Лапласа, для вычисления сверток (3) и (6), получим

$$\varphi_n(t) = \frac{a_1(a_1 t)^{n-1}}{\Gamma(n)} e^{(-a_1 t)}, \tag{7}$$

$$\Gamma(n)=(n-1)!,$$

$$\varpi(t) = \alpha \cdot a_1 e^{(-a_1 t)} \sum_{n \in N} \frac{(a_1 t(1-\alpha))^{n-1}}{n!}. \tag{8}$$

В выражении (8) ряд с аргументами a_1, t, n представляет собой ряд неполной экспоненциальной функции. При достаточно больших N он с высокой точностью может быть аппроксимирован такой функцией, поэтому

$$\varpi(t) \approx \alpha \cdot a_1 e^{(-\alpha \cdot a_1 t)}, \tag{9}$$

$$W_1(t) = \frac{\alpha \cdot a_1 a_2}{a_2 - a_1}(e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}). \tag{10}$$

Из выражений (9) и (10) следует, что плотность вероятности $\omega(t)$ подчиняется экспоненциальному распределению с параметром $\alpha\, a_1$, а $W_1(t)$ – обобщенному распределению Эрланга 2-го порядка. Дальнейшие преобразования дают

$$P(t \le t_0) = \sqrt{\pi\beta} \int_0^{t_0} e^{(\frac{1}{2}(a_1+a_2)t)} \sum_{m \in M} (1-\beta^m) \times \tag{11}$$

$$\times \frac{(a \cdot a_1 a_2)^m}{\Gamma(m)} \left[\frac{t}{(a_1 - a_2)}\right]^{m-\frac{1}{2}} \times I_{m-\frac{1}{2}}\left(\frac{a_1 - a_2}{2} t\right),$$

где $I(.)$ – модифицированная цилиндрическая функция.

В ряде практически важных случаев выполняется условие $a_1 >> a_2$. Оно имеет место при высокопроизводительном технологическом оборудовании или (и) значительном времени устранения неисправности и тогда компонентой t_1 можно пренебречь. При таком условии

$$P(t \le t_0) = \beta \sum_{m \in M} (1-\beta)^m \cdot \frac{a_2(a_2 t)}{\Gamma(m)} e^{(-a_2 t)}. \tag{12}$$

Полагая, что $M>3$ с достаточной для практики точностью функциональный ряд в (12) аппроксимируется экспоненциальной функцией и тогда

$$P(t \le t_0) = 1 - e^{(-\frac{a_2}{M} t_0)}, \tag{13}$$

$$\bar{t} = \frac{1}{a_2}\left[1 - (e^{(-a_2 t_0)} \cdot (1 + a_2 t_0)\right]. \tag{14}$$

Построенные в результате решения (13) графики вероятности выполнения ремонта за заданное время $P(t \le t_0)$ приведены на рис. 1 и 2.

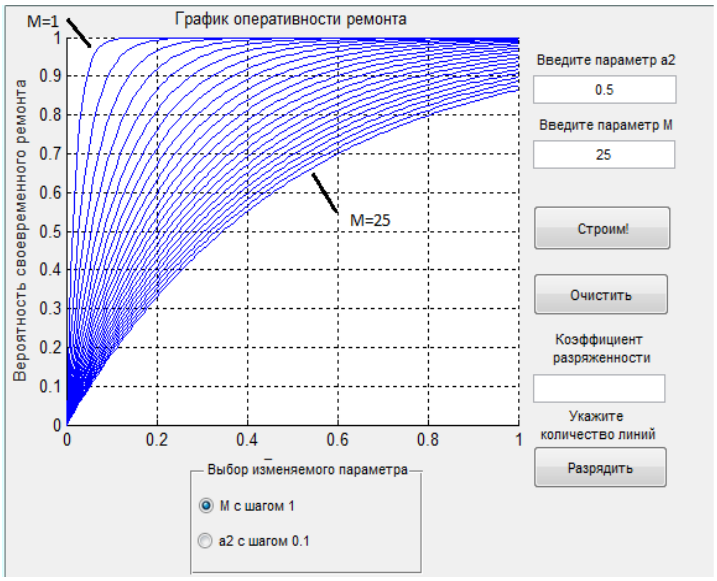


Рисунок 1 – Вероятность своевременного выполнения ремонта техники при изменении параметра M.

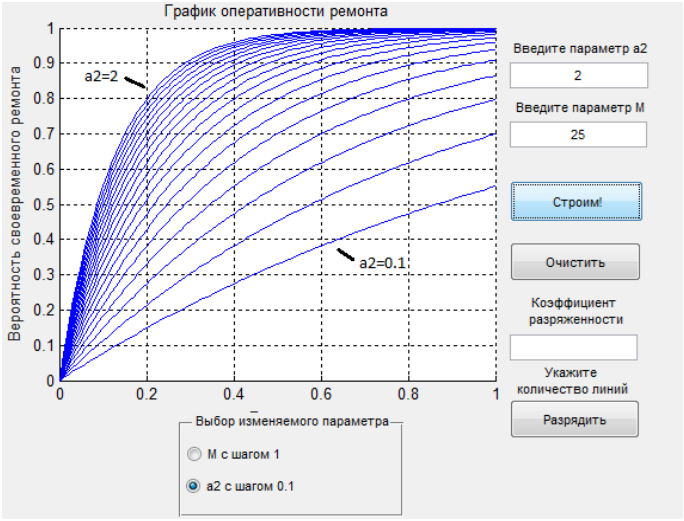


Рисунок 2 – Вероятность своевременного выполнения ремонта техники при изменении параметра a_2

Анализ рисунка 1 показывает, что с увеличением времени, отводимого на ремонт, вероятность своевременного ремонта монотонно возрастает, что очевидным образом следует из содержания моделируемого процесса. При этом графики $P(t \le t_0)$ отражают условия и динамику ремонта с учетом оснащения станции технического обслуживания подвижными и стационарными средствами контроля и ремонта и квалификацию инженерно-технического персонала. Так, с увеличением значений M (т.е. числа неисправностей ремонтируемого изделия) от 1 до 25 (рисунок 1) вероятность в определённый момент времени становится меньше (при t_0=0,4, M=1 $P(t \le t_0)$=1; при t_0=0,4, M=25 $P(t \le t_0)$=0,55). Наоборот, при M=25, в момент времени t_0=0,4 с увеличением a_2

(интенсивность устранения неисправностей) от 0,1 до 2 (рисунок 2) вероятность $P(t \le t_0)$ увеличивается более чем в 3 раз от 0,27 до 0,95.

Вывод. Таким образом, разработанная математическая модель вероятностно-временных характеристик оперативности ремонта АТСН, учитывает оснащенность станции технического обслуживания подвижными и стационарными средствами контроля и ремонта и квалификацию инженерно-технического персонала. Ее использование позволяет разрабатывать практические рекомендации по предъявлению требований к характеристикам диагностического оборудования станции технического обслуживания и инженерно-технического персонала.

Список источников

1. Аринин Е.Н., Коновалов С.И., Баженов Ю.В. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. пособ. 2-е изд. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 314 с.

2. Техническая эксплуатация автомобилей / Под ред. Е.С. Кузнецова. М.: Транспорт, 1991. 413с.

3. Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф., Быстрова Н.А., Галкин Д.И. Основы диагностики технических устройств и сооружений. Москва: Издательсво МГТУ им. Баумана, 2015. 445 с.

4. Болотин В.В. Прогнозирование и нормирование ресурса машин // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 7. С. 3–10.

5. Спирина М.С., Спирин П.А. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Академия, 2-е издание. 2011. 352 с.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 9-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 576 с

7. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. – М., Сов. радио, 1977. 488 с. с ил.

References

1. Arinin E.N., Konovalov S.I., Bazhenov Yu.V. Technical operation of cars: textbook. help. 2nd ed. Rostov n/A: Phoenix, 2007. 314 p.

2. Technical operation of cars / Edited by E.S. Kuznetsov. M.: Transport, 1991. 413 p.

3. Bigus G.A., Daniev Yu.F., Bystrova N.A., Galkin D.I. Fundamentals of diagnostics of technical devices and structures. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2015. 445 p.

4. Bolotin V.V. Forecasting and rationing of the resource of machines // Assembly in mechanical engineering, instrumentation. 2009. No. 7. pp. 3-10.

5. Spirina M.S., Spirin P.A. Probability theory and Mathematical statistics. M.: Academy, 2nd edition. 2011. 352 p.

6. Wentzel E.S. Probability theory. 9th ed., ster. - M. : Publishing center "Academy", 2003. - 576 p.

7. Tikhonov V.I., Mironov M.A. Markov processes. – M., Sov. radio, 1977. 488 p.

Информация об авторах

Д. Н. Смирнов - кандидат технических наук; С. А. Чернопятова - кандидат технических наук; А.И.Малютин – соискатель**;** С.Ю. Панов - доктор технических наук.

Information about the authors

D. Smirnov - Candidate of Technical Sciences; S. Chernopyatova - Candidate of Technical Sciences; A. Malyutin – applicant; S. Panov - Doctor of Technical Sciences.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 08.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 28.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-94-100

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ В ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩЕМ ВАРОЧНОМ КОТЛЕ

Анатолий Михайлович Шувалов [1]***, Алексей Николевич Машков*** [2]***,***
Михаил Александрович Попов [3]
[1,2,3]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]vniiti@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Михайлович Шувалов, vniiti@mail.ru
Corresponding author: Anatoliy Shuvalov, vniiti@mail.ru

Реферат. *Варочные котлы, работающие на природном газе, являются перспективным оборудованием для приготовления кормов в личных подсобных хозяйствах. На основе патентного поиска установлено, что существует широкий выбор варочных газоиспользующих котлов, имеющих различный уровень автоматизации процесса термической обработки продукта и обеспечения безопасности в процессе эксплуатации. На предварительном этапе исследования было установлено, что при плавном регулирования мощности газовой горелки варочного котла во время приготовлении кормов, достигается экономия газа до 19%. Определен принцип саморегулирования расхода газа газовой горелкой пропорционально потребляемому варочным котлом тепловому потоку. Изготовлен действующий экспериментальный образец на основе комплекта автоматики для варочного котла с плавным регулированием мощности газовой горелки. Разработана математическая модель, описывающая процессы тепло- массообмена в кормоварочном котле с саморегулированием мощности. На основе анализа систем энергообеспечения в варочных и отопительных котлах установлена целесообразность разработки новой перспективной схемы саморегулирования мощности на базе полупроводниковых термоэлементов Пельтье. Как показали результаты экспериментальных исследований автоматики в различных режимах работы напряжение на термоэлектрических элементах изменяется пропорционально разности температур. Установлено, что минимальное напряжение равно 0,07В, максимальное-0,7В. Напряжение и температуру продукта и горячего пара в рубашке замеряли с помощью мультиметров TEK DT 830B. Установлено, что наилучшая чувствительность системы управления тепловым режимом достигается, если модуль термоэлектрического преобразователя укомплектован девятью элементами, изменяющими выходное напряжение пропорционально температурному напору в паровой рубашке варочного котла.*

Ключевые слова: *элемент Пельтье, термоэлектрическая батарея, варочный котел, температурный напор, система автоматического регулирования, энергия, модули.*

USE OF SEMICONDUCTOR PELTIER ELEMENTS IN A GAS-USED BOILER

Anatoliy Shuvalov [1]***, Alexey Mashkov*** [2]***, Mikhail Popov*** [3]
[1,2,3]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]vniiti@mail.ru

Abstract. *Cooking boilers powered by natural gas are promising equipment for the preparation of feed in private farms. Based on the patent search, it has been established that there is a wide choice of gas-using boilers with different levels of automation of the process of thermal processing of the product and ensuring safety during operation. At the preliminary stage of the study, it was found that with a*

smooth control of the power of the gas burner of the digester during the preparation of feed, gas savings of up to 19% are achieved. The principle of self-regulation of gas consumption by a gas burner is determined in proportion to the heat flow consumed by the digester. A working experimental sample was made on the basis of an automation kit for a digester with smooth control of the power of a gas burner. A mathematical model has been developed that describes the processes of heat and mass transfer in a feed boiler with self-regulation of power. Based on the analysis of energy supply systems in digesters and heating boilers, the expediency of developing a new promising power self-regulation scheme based on Peltier semiconductor thermoelements has been established. As shown by the results of experimental studies of automation in various operating modes, the voltage on thermoelectric elements changes in proportion to the temperature difference. It is established that the minimum voltage is 0.07V, the maximum is 0.7V. The voltage and temperature of the product and hot steam in the jacket were measured using TEK DT 830B multimeters. It has been established that the best sensitivity of the thermal regime control system is achieved if the thermoelectric converter module is equipped with nine elements that change the output voltage in proportion to the temperature difference in the steam jacket of the digester.

Keywords: *peltier element, thermoelectric battery, digester, temperature difference, automatic control system, energy, modules.*

Для цитирования: Шувалов А.М., Машков А.Н., Попов М.А. Использование полупроводниковых элементов пельте в газоиспользующем варочном котле // Наука в центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 94-100. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-94-100.

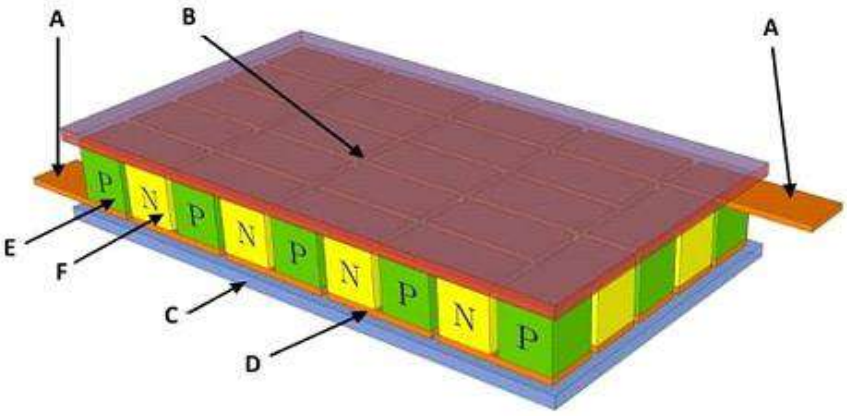
For citation: Shuvalov A., Mashkov A., Popov M. Use of semiconductor peltier elements in a gas-used boiler. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 94-100. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-94-100.

Введение. В период широкомасштабной газификации села в таких энергоёмких процессах, как приготовление кормов, пищи, термической обработки сельхозпродукции начали применять газоиспользующие варочные котлы. Для частичного контроля расхода газа в них применяют одно или двухступенчатое регулирование. Однако, в процессе предварительных опытов было установлено, что за счет применения постепенного регулирования мощности газовой горелки варочного котла при приготовлении кормов, достигается экономия газа до 19%. Это указывает на то, что расход газа должен изменяться плавно пропорционально температурному напору в паровой рубашке котла. В результате изучения существующей информации по средствам автоматизации тепловых процессов было установлено, что применительно к технологии, выполняющей варочным котлом, можно применять регулирующие устройства холодильной техники.

В последние годы усовершенствованные полупроводниковые модули используются для нагрева и охлаждения жидкости. Они состоят из большого количества элементов Пельтье.

Элементы Пельтье — это модуль термоэлектрического преобразователя. Принцип их действия основан на разности температур окружающей среды и вследствие взаимодействия электрических токов они переносят электроны, которые могут ускоряться или замедляться в зависимости от их контактного потенциала между полупроводниками. Под воздействием электрического поля кинетическая энергия электронов изменяется. Когда это поле увеличивается, происходит нагрев, т.е. если кинетическая энергия электронов уменьшается, происходит охлаждение в обратном направлении. Поэтому приложенная разность потенциалов: минус потенциал прикладывается к полупроводнику N-типа, а положительный потенциал прикладывается к полупроводнику P-типа, в результате чего возникает разница температур (PN-переход нагревается, NP-переход охлаждается). Модуль можно использовать для получения тепла или холода при подаче электричества. Также он используется для выработки электрического тока при имеющейся необходимой разницы температур.

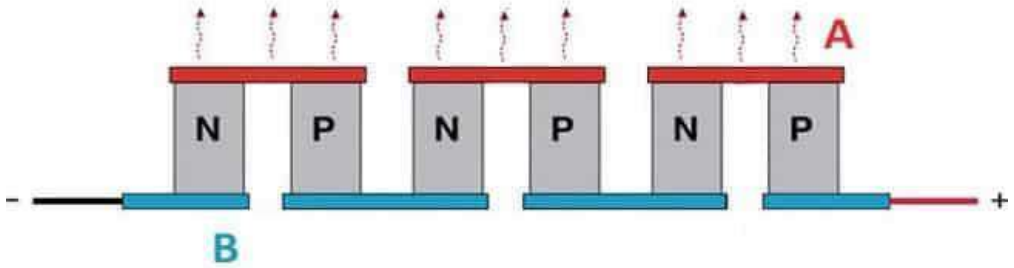
Модуль состоит из двух пластин (обычно керамических), которые хорошо заизолированы, между которыми последовательно соединены термопары (рисунок 1).



А – контакты для подключения к элементу; В – горячая поверхность модуля;
С – холодная поверхность модуля; D – медные проводники;
Е – полупроводник на основе р-перехода; F – полупроводник N- типа

Рисунок 1 - Устройство модульного элемента Пельтье

Модуль создан таким образом, что обе его стороны контактируют в области соприкосновения двух полупроводников с разными типами проводимости. Контакты PN- нагреваются, а NP-контакты охлаждаются (рисунок 2). Это вызывает разницу температур на сторонах модуля. Этот эффект представляется как передача тепловой энергии между сторонами модуля. Примечательно также, что изменение полярности источника питания меняет горячую и холодную стороны [1-4].



А – горячая сторона термоэлемента, В – холодная

Рисунок 2 - Схема элементов Пельтье

Материалы и методы.

Используя модули термоэлектрического преобразователя TEC1-12706 для противоположной цели - для выработки электроэнергии - и была разработана конструкция и система управления расходом газа, который пропорционален потребляемому тепловому потоку.

За счет разности температур на поверхностях каждого модуля возникает напряжение, которое изменяется в зависимости от температурного напора пара в рубашке варочного котла, то есть полупроводниковая батарея генерирует энергию, величина которой изменяется в зависимости от температурного напора. Таким образом, электрический сигнал от термоэлектрической батареи, собранной из полупроводниковых элементов без промежуточных звеньев, воздействует на исполнительный механизм регулирующего устройства газовой горелки. Это позволяет максимально упростить комплект автоматики для газогорелочного устройства и повысить надёжность варочного котла.

Кроме того, полученная нетрадиционная энергия от термоэлектрических элементов позволяет обеспечивать работу варочного котла и при аварийных режимах централизованного электроснабжения.

Результаты и обсуждения.

С целью выявления характера изменения напряжения от разности температур проведены экспериментальные исследования, представленные на рисунке 3.

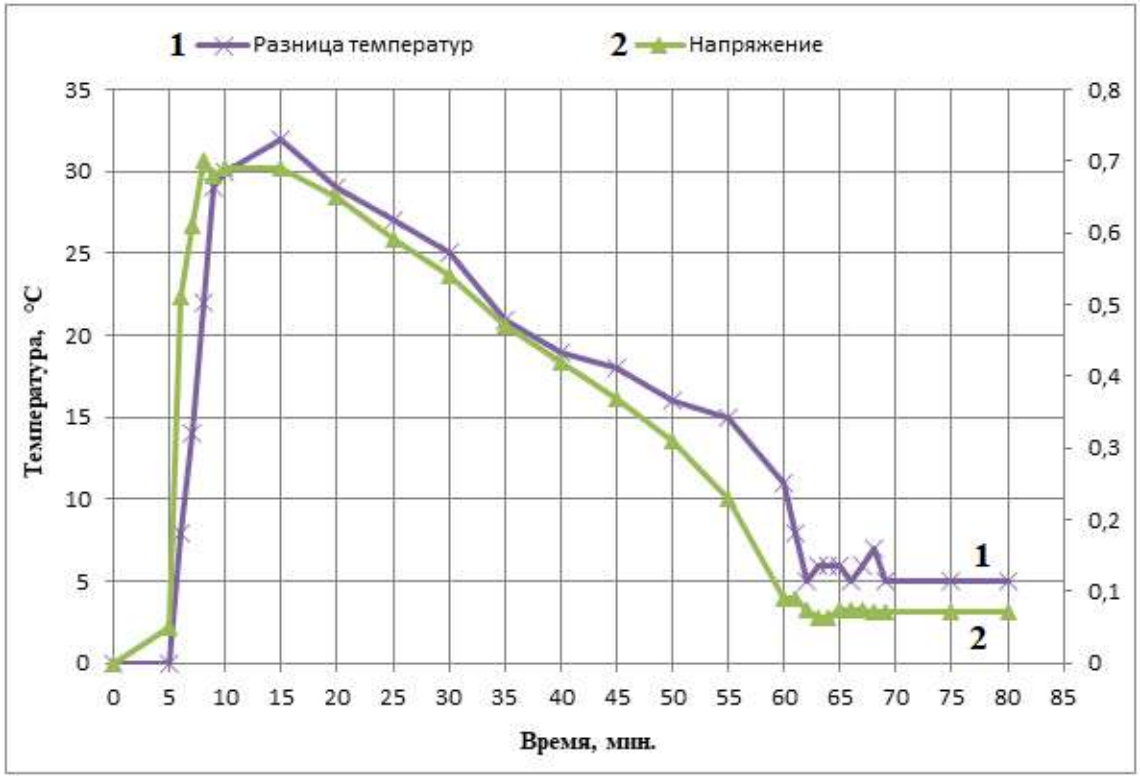


Рисунок 3 – Зависимость напряжения на полупроводниковых элементах от разности температур

Как следует из приведенных данных, зависимость изменения напряжения на термоэлектрических элементах от времени подобна зависимости изменения разности температур от времени. Напряжение на термоэлектрических элементах тем выше, чем выше разница температур между температурой продукта в варочной емкости и стенкой котла . Установлено, что минимальное напряжение равно 0,07 В, максимальное-0,7 В. Напряжение и температуру продукта и горячего пара в рубашке замеряли с помощью мультиметров TEK DT 830B.

Необходимое напряжение батареи термоэлектрических элементов не должно превышать 9 В и не должно быть меньше 0,6 В исходя из параметров работы соленоида и клапана.

Общее количество термоэлектрических элементов определено:

для минимального напряжения

$$N_{min}=U_{доп.min}/U_{min}=9/0,7=12,8$$

для максимального напряжения

$$N_{max}=U_{доп.max}/U_{max}=0,6/0,07=8,6$$

Исходя из расчета, принято количество термоэлектрических элементов равным 10 штук.

Экспериментальное исследование системы энергоснабжения варочного котла [5-7], основанной на термоэлектрическом элементе и оснащенной автоматическим регулятором теплового потока на основе 10 элементов Пельтье, выявило слабую чувствительность контроллера во время нагрева воды в варочном котле от 0 до 30 минут. В этот период температура стенок варочного котла повышалась, т.е. температурный напор уменьшался, но тепловой поток не изменялся. Предполагается, что количество элементов Пельтье в термоэлектрической батарее было завышено [8] и напряжение на выходе батареи было завышено. Для выяснения этого факта

была изготовлена и испытана термоэлектрическая батарея с девятью и восемью модулями Пельтье.

Экспериментальные исследования показали, что наилучшая чувствительность системы автоматического регулирования достигается, если в термоэлектрической батарее установлено 9 элементов Пельтье (рисунок 4).

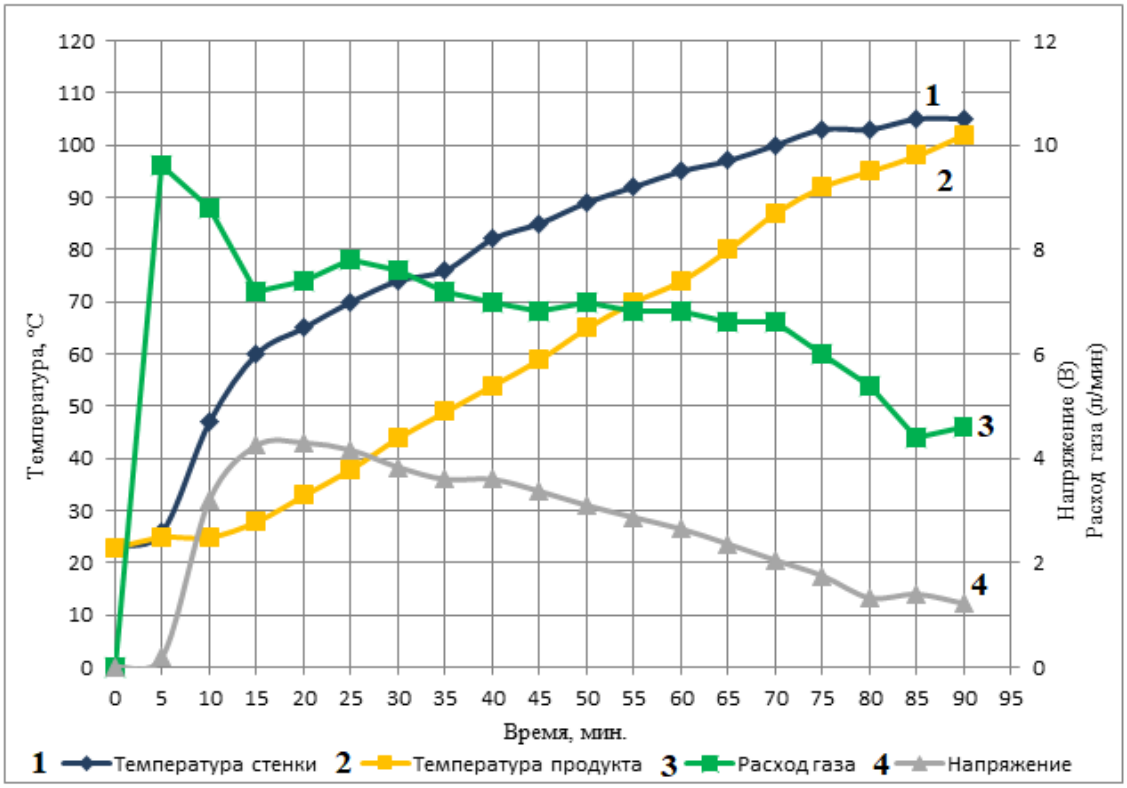


Рисунок 4 - Расход газа при разогреве до кипения 100 л. воды с комплектацией САР 9-ю элементами Пельтье

Как видно из графика рисунка 4, в начальный период времени до 5 минут происходит нагрев воды в паровой рубашке до кипения. После начала кипения воды в паровой рубашке фиксируется резкий рост температуры стенки котла, благодаря чему, происходит нагрев поверхностей термоэлектрических элементов с одной стороны до температуры продукта (рисунок 4, кривая 2), с другой стороны до температуры пара в паровой рубашке (рисунок 4, кривая 1) и на контактах термоэлектрических элементов возникает ЭДС. В процессе нагрева продукта происходит уменьшение разности температур между поверхностями термоэлектрических элементов и через 25 минут начинается снижение расхода газа. Снижение расхода газа происходит прямо пропорционально изменению температуры на поверхностях термоэлектрических элементов в течении 60 минут, а после расход газа становится минимальным для поддержания температуры кипения продукта. Это означает, что напряжение батареи и температурный напор изменяются одинаково, что позволяет использовать такие батареи в системах автоматического управления (САР). Такая конструкция позволяет системе автоматического управления надежно контролировать расход газа пропорционально расходу тепла при приготовлении продукта. Это позволяет достичь расхода газа в 618 литров для кипячения 100 литров воды [6,8].

Проведены также экспериментальные исследования с загрузкой варочной ёмкости на 100 л и с использованием САР с 8-ми элементами Пельтье, полученные зависимости (рисунок 5) аналогичны приведенным на рисунке 4.

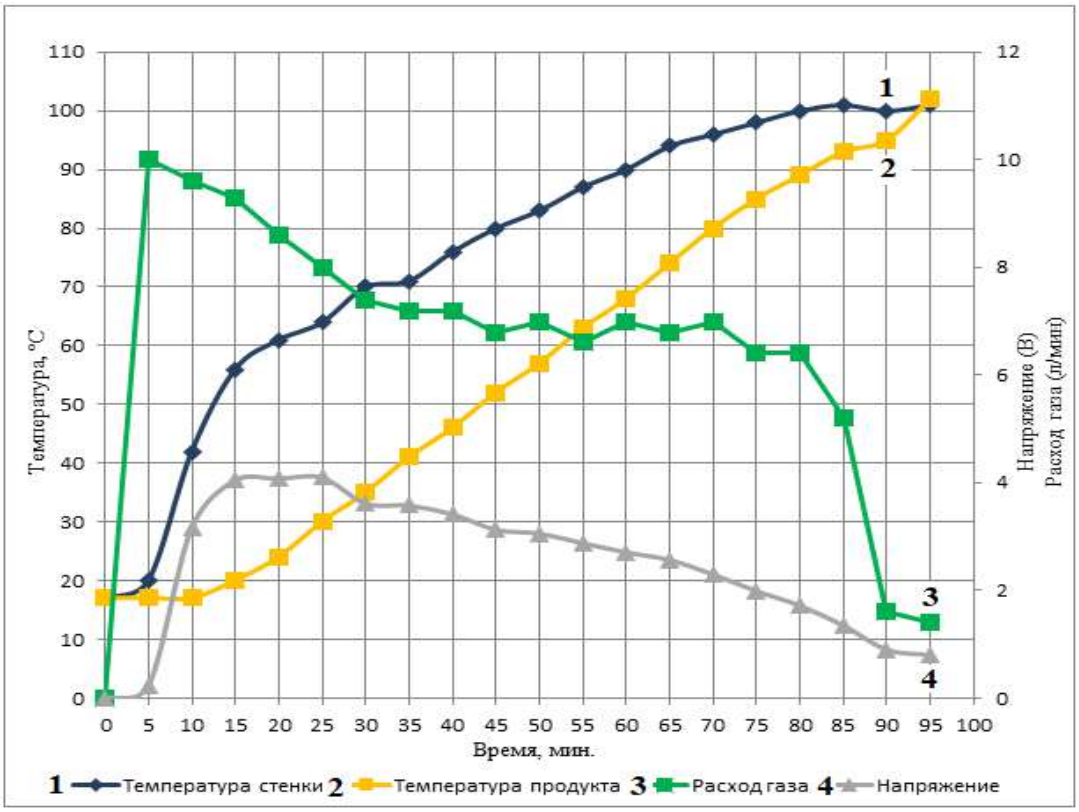


Рисунок 5 - Расход газа при разогреве до кипения 100 л. воды с комплектацией САР 8-ю элементами Пельтье.

Расход газа на разогрев 100 литров воды до кипения на 12 литров больше (на 1,94%), если установлены в термоэлектрической батареи 8 элементов Пельтье

Заключение. Применение сборок, состоящих из элементов Пельтье в конструктивно-технологической схеме системы регулирования расхода газа, способствует уменьшению расхода газа на разогрев 100 литров воды с 747 литров газа до 618 литров, что повышает КПД до 84 %. Оптимальное количество элементов Пельтье на разогрев 100 литров воды равно 9.

Список источников

1. Торопыгина И. В. Исследование элемента Пельтье и его практическое применение / И. В. Торопыгина, Т. В. Янковская // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием" Россия молодая". – 2017. – С. 13009-13009.

2. Лебакин А. И. К вопросу о практическом применении элементов пельтье / А. И. Лебакин, В. Д. Червенчук, А. И. Забудский // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК. – 2019. – С. 165-173.

3. Бышов Д. Н. К вопросу исследования кпд элементов пельтье // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. ПА Костычева. – 2020. – №. 1. – С. 76-80.

4. Ежов Н. А. Элемент Пельтье как возможный источник энергии // Материалы XXI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. НП Огарёва. – 2017. – С. 338-343.

5. Патент № 2708097 C1 Российская Федерация, МПК A47J 27/06. Котёл кормоварочный: № 2019116589: заявл. 29.05.2019: опубл. 04.12.2019 / А. М. Шувалов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов;

заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН).

6. Шувалов А. М. Энергоэкономный варочный котёл с плавным регулированием расхода газа / А. М. Шувалов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов // Наука в центральной России. – 2021. – № 2(50). – С. 55-61. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-2-55-61.

7. Шувалов А. М. Обоснование параметров саморегулируемой системы энергоподвода к варочным аппаратам / А. М. Шувалов, К. А. Набатов, А. Н. Машков, Д. С. Чернов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 3(16). – С. 72-74.

8. Отчет о НИР «Создать действующий экспериментальный газоиспользующей системы энергообеспечения варочного котла с саморегулированием мощности». - Тамбов, ВНИИТиН, 2020. -102с.

Reference

1. Toropygina I. V. Investigation of the Peltier element and its practical application / I. V. Toropygina, T. V. Yankovskaya // Collection of materials of the IX All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation "Young Russia". – 2017. – pp. 13009-13009.

2. Lebakin A. I. On the question of the practical application of peltier elements / A. I. Lebakin, V. D. Chervenchuk, A. I. Zabudsky // The role of research work of students in the development of agriculture. – 2019. – pp. 165-173.

3. Byshov D. N. On the issue of investigating the efficiency of peltier elements // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after PA Kostychev. - 2020. – No. 1. – pp. 76-80.

4. Yezhov N. A. Peltier element as a possible source of energy // Materials of the XXI scientific and practical conference of young scientists, postgraduates and students of the National Research Mordovian State University. NP Ogareva. – 2017. – pp. 338-343.

5. Patent No. 2708097 C1 Russian Federation, IPC A47J 27/06. Feed boiler: No. 2019116589: application 29.05.2019: publ. 04.12.2019 / A.M. Shuvalov, A. N. Mashkov, D. S. Chernov; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture" (FGBNU VNIITiN).

6. Shuvalov A.M. Energy-efficient digester with smooth regulation of gas flow / A.M. Shuvalov, A. N. Mashkov, D. S. Chernov // Science in Central Russia. – 2021. – № 2(50). – Pp. 55-61. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-2-55-61.

7. Shuvalov A.M. Substantiation of parameters of a self-regulating power supply system to cookers / A.M. Shuvalov, K. A. Nabatov, A. N. Mashkov, D. S. Chernov // Vestnik RESKH. – 2014. – № 3(16). – Pp. 72-74.

8. R&D report "To create an operating experimental gas-using power supply system for a digester with self-regulating power". - Tambov, VNIITiN, 2020. -102s.

Информация об авторах

А.М. Шувалов - доктор технических наук, профессор; А. Н. Машков - кандидат технических наук; М.А. Попов – ведущий инженер.

Information about the authors

A.Shuvalov – Full Doctor of technical sciences, Professor; A. Mashkov - Candidate of Technical Sciences; M. Popov – leading engineer.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 636.2.034.084.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-101-108

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗДАЧИ ЖИДКОГО КОРМА НА ОСНОВЕ ШТАНГОВОГО РАЗДАТЧИКА

Леонид Алексеевич Никитин [1]***, Владислав Евгеньевич Никифоров*** [2]***, Геннадий Александрович Симонов*** [3]***, Ольга Борисовна Филиппова*** [4]
[1,2,3] *Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия*
[1] nikitin.l.2010@mail.ru
[2] nfrv_123@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1175-2526
[3] sznii@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4559-233X
[4] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*
[4] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

Автор, ответственный за переписку: Леонид Алексеевич Никитин, nikitin.l.2010@mail.ru
Corresponding author: Leonid Nikitin, nikitin.l.2010@mail.ru

Реферат. *Молочное животноводство является основной отраслью АПК, которая широко использует прогрессивные технологии содержания и обслуживания животных. Для полноценного кормления животных современные фермы оснащены производительной механизированной техникой раздачи кормов. Наиболее сложной задачей является организация кормления молодняка. Разработан эффективный способ механизированной раздачи жидких кормов для телят в условиях беспривязного содержания. Ограниченно-мобильный кормораздатчик предназначен для использования на фермах, на которых применяется содержание животных в боксах. Устройство кормораздатчика жидких кормов состоит из штанги и представляет собой конвейер с закреплёнными на ней ведрами для кормления. Штанга передвигается на роликах с помощью электропривода, перемещая и распределяя ведра по отдельным групповым клеткам с боксами содержания телят. Длина фронта кормления составляет 60 метров при обслуживании одним оператором. В работе раздатчика жидких кормов используется молочный насос НМУ-6 с производительностью 6,5 м*^{3}*/ч. Установлен расходный кран с диаметром выходного отверстия 20 мм, который обеспечивает подачу жидкого корма в стационарно стоящие ведра. Скорость передвижения штанги раздатчика составляет 0,07-0,13 м/с. Чтобы обеспечить равномерность раздачи жидкого корма кормораздатчик может передвигаться с периодическими остановками для заполнения ведер. Разработанная конструкция ограниченно-мобильного штангового раздатчика позволяет максимально эффективно производить механизированную раздачу жидких кормов телятам при их беспривязном содержании. Технология раздачи жидкого корма на основе штангового раздатчика снижает затраты труда на 50 %, исключает тяжелый и монотонный труд.*

Ключевые слова: *технология, кормление телят, механизация, раздатчик жидких кормов.*

TECHNOLOGY FOR DISTRIBUTION OF LIQUID FODDER BASED ON A ROD DISPENSER

Leonid Nikitin[1]***, Vladislav Nikiforov***[2]***, Gennady Simonov***[3]***, Olga Filippova***[4]
[1,2,3] *Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia*
[1] nikitin.l.2010@mail.ru
[2] nfrv_123@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1175-2526
[3] sznii@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4559-233X
[4] *All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in*

Agriculture, Tambov, Russia
[4] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

Abstract. *Dairy farming is the main responsibility of the agro-industrial complex, which widely uses priority technologies for keeping and servicing animals. To feed the animals of modern farms, productive mechanized equipment for distributing feed is used. The most interesting is the organization of feeding young animals. An emergency method has been developed for the mechanized distribution of liquid feed for calves in loose housing conditions. The limited mobile feeder is designed for use on farms, including keeping in boxes. The device of the liquid feed dispenser consists of a bar and is a conveyor with buckets for feeding fixed on it. The bar moves on rollers with the help of an electric drive, moves and transports buckets to use group cages with calf boxes. The length of the feeding front is 60 meters at one consumption by the operator. The liquid feed dispenser uses a milk pump NMU-6 with a capacity of 6.5 m^3/h. An outlet valve with an outlet diameter of 20 mm is installed, which ensures the supply of liquid feed to buckets that are stationary. The speed of movement of the distributor rod is 0.07-0.13 m/s. In the event of a rapid dispensing of liquid feed, the feeder can move with a stop-stop to fill the buckets. The developed design of a limited-mobile rod distributor allows the most efficient use of the mechanized distribution of liquid feed to calves in their loose housing. The technology of liquid feed distribution based on a rod spreader reduces labor costs by 50%, eliminates heavy and monotonous work.*

Keywords: *technology, calf feeding, mechanization, liquid feed distributor*.

Для цитирования: Никитин Л.А., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б. Технология раздачи жидкого корма на основе штангового раздатчика // Наука в центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 101-108. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-101-108.

For citation: Nikitin L.A., Nikiforov V.E., Simonov G.A., Filippova O.B. Technology for distribution of liquid fodder based on a rod dispenser. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 101-108. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-101-108.

Введение. Молочное животноводство является основной отраслью АПК, которая широко использует прогрессивные технологии содержания и обслуживания животных [1-5]. Это во многом определяет эффективность функционирования сельскохозяйственных предприятий по производству молока и конкурентоспособность продукции животноводства в целом. Чтобы достичь плановых производственных показателей, необходимо заложить высокую продуктивность животных на стадии развития молодняка путем внедрения современных автоматизированных и механизированных технологий, в том числе, методов раздачи жидких кормов для телят. Главной задачей по механизации процессов приготовления и раздачи кормов животным является соответствие технологических условий основным зоотехническим требованиям содержания и кормления.

Прежде всего, для достижения высокого уровня молочной продуктивности дойных коров необходимо обеспечить полноценное кормление молодняка. При правильном выращивании телят исключены низкие среднесуточные привесы и поздний ввод в стадо, что непосредственно влияет на рентабельность производства молока. Технология выращивания является самым сложным и трудоёмким процессом, поскольку в зависимости от возраста телятам требуется менять рационы и вид кормов [6-11].

Для организации полноценного кормления животных современные фермы оснащены производительной механизированной техникой раздачи кормов. Однако основные технологические операции по раздаче корма молодняку, как правило, выполняются вручную. Использование ручного труда сопряжено с так называемым человеческим фактором, от чего рационы кормления могут не в полной мере соблюдаться, что и приводит в конечном итоге к снижению продуктивности и повышению затрат труда. Особенных решений требуют также вопросы по раздаче и выпойке жидких кормов телятам с учетом эффективности эксплуатации различных технических средств и рационального использования помещений.

На фермах для выращивания телят используются различные как мобильные, так и стационарные средства раздачи жидких кормов. Они принципиально отличаются по назначению,

конструктивным особенностям, принципу действия и управления, имеют также различную производительность. В технологическом проектировании и технической характеристике за производительность применяемых установок для выпойки телят (УВТ-20А, УВТ-6, УСП-20), как правило, закладывалась производительность оператора и количество телят, которых может выпоить оператор при разовом кормлении за 1 час работы. Однако на практике пропускная способность системы выпойки телят ограничивается техническими и организационными факторами. На производительность установки для выпойки телят большое влияние оказывают индивидуальная потребность животных в поении, продолжительность выполнения ручных операций, а также планировка помещений. Поэтому вопрос, в каких условиях следует применять конкретную технологию или установку, остается открытым. Для технологически верного решения необходимо оценить пропускную способность установки с учетом продолжительности выпойки телят. Основанием, влияющим на выбор типа установки, является способ содержания молодняка на ферме в зимний период и применяемая технология выпойки телят.

Существует потребность универсальных способов одновременной раздачи жидких кормов телятам, которые позволят сократить трудозатраты и повысить качество кормления. Поэтому совершенствование технологий, внедрение раздатчика жидких кормов в системе кормления телят является актуальной задачей. Также требуется оснащать современные фермы автоматическими системами кормления.

Цель исследований – определить эффективный способ механизированной раздачи жидких кормов для телят в условиях беспривязного содержания.

Материалы и методы исследований.

В ходе экспериментальных исследований в качестве средств раздачи жидких кормов для телят после профилакторного периода разработан раздатчик жидких кормов на основе перемещающейся штанги. На рисунке 1 представлена технологическая линия раздачи жидкого корма на основе штангового раздатчика.

Рисунок 1 – Технологическая линия раздачи жидкого корма

Технологическая линия раздатчика включает:

- оборудование для приема, хранения и приготовления (подготовки) жидкого корма: молочный танк ТО-2, ванна для приготовления кормов, молочный насос типа НМУ, система трубопроводов с расходным краном дозировки;

- оборудование для раздачи и выпаивания жидкого корма: штанговый раздатчик и кормовая решетка для ограничения доступа телят к поильным ведрам.

Производственную проверку технологической линии выпойки телят на основе штангового раздатчика проводили в сравнении с технологией ручного индивидуального выпаивания жидких кормов телятам молочного периода в хозяйстве «Заря» Вологодского района Вологодской области.

Для определения эксплуатационных показателей проведен хронометраж, производились замеры для определения дозы корма и определения энергетических показателей. Точность дозирования корма определялась путем взвешивания по выборке 10 доз корма. Потребляемая мощность двигателя замерялась электроизмерительным комплексом К-505, равномерность раздачи корма с использованием весов ВМ-20. Время перемещения штанги в процессе поения одной группы телят определялась по формуле:

$$t_{\text{п}} = \frac{0{,}5 \cdot L_{\text{ф}}}{V_{\text{ш}}};$$

где: $L_{ф}$ – длина фронта кормления;

$V_{ш}$ – скорость передвижения штанги раздатчика.

Результаты и их обсуждение.

В таблице 1 приведена общая сравнительная характеристика и технико-экономические показатели различных способов раздачи жидких кормов телятам при беспривязном содержании.

Таблица 1 – Технико-экономические показатели различных способов раздачи жидких кормов телятам

Процесс, технологические операции, показатель	Способы раздачи жидких кормов		
	В индивидуальных клетках (ТП 801-353. Телятник на 500 голов)	На щелевых полах (ТП 819-215. Телятник на 720 голов)	С использованием боксов (ТП 801-392. Телятник на 500 голов)
Приготовление жидких кормов	АЗМ-0,8	Установка «Сольвилат»	АЗМ-0,8
Раздача жидких кормов	Трубопровод-шланг (ручная)	Трубопровод (ручная)	УВТ-20
Промывка системы	Ручная	Молочный насос (ручная)	Молочный насос
Раздача грубых кормов	Ручная тележка ТУ-300	Ручная тележка ТУ-300	Ручная тележка ТУ-300
Раздача концентратов.	Ручная тележка ТУ-300	Транспортер	Ручная тележка ТУ-300
Уборка навоза	Гидросмыв	Самотечная	ТСН-3Б
Площадь на голову, м^2:			
общая	2,43	2,60	3,20
основного назначения	1,62	2,30	2,28
полезная	0,66	1,54	1,54
Затраты труда (на голову в год), чел-ч.:	41,5	20,1	28,8
Нагрузка, голов:			
на 1 работающего	60	97	65
на 1 основного рабочего	100	119	100
Металлоемкость, кг на голову	56	31,0	45

Наиболее широко используется установка для выпойки телят УВТ-20А, однако её технологические возможности по ряду причин существенно ограничены (таблица 1) [12, 13].

Выпойка телят на данной установке производится группами из расчета на 20 голов в загоне на две секции по 10 телят.

Разработанный штанговый раздатчик имеет значительное преимущество, поскольку позволяет одновременно выпаивать 50 телят и сразу непосредственно в боксах для содержания, при этом исключается загон и выгон телят [14].

Конструктивно кормораздатчик имеет несущую штангу длиной равной половине длины линии кормления 30 м и закрепленные на нем 50 поильных ведра. Для ведер предусмотрено два фиксированных положения – для поения и промывки. Чтобы была возможность ограничивать доступ животных во время раздачи и транспортировки корма, технологическая линия для выпойки телят снабжена устройством для открывания и закрывания кормовых проемов.

В помещениях, организованных по типовым проектам, с целью рационального использования полезной площади необходимо применять стационарные установки раздачи кормов на базе существующих средств механизации. В этих случаях используется универсальная технология беспривязно-боксового содержания телят [15]. Её особенность заключается в том, что боксы являются зоной отдыха животных и совмещены с кормовым фронтом кормораздатчика. При этом фронт кормления закрыт рядами подвижных заслонок перед штанговым механизмом передвижения раздатчика, на котором размещаются ведра для поения. При одновременном открытии всего ряда подвижных заслонок обеспечивается равномерное распределение животных у каждого поильного ведра. Единая конструкция штангового кормораздатчика располагается между двумя рядами боксов и является одним фронтом последовательного кормления. Доступ к поильным ведрам достигается одновременно с открытием одного ряда объединенных заслонок. Дозированное заполнение ведер осуществляется по фронту кормления, там же находится оборудование для приема, хранения, приготовления и дозированной выдачи жидкого корма.

При совершении поступательных перемещений кормораздатчик способен за один период по очереди выпаивать одну четверть телят от всего поголовья. Оптимальным считается двухрядное размещение боксов, при этом каждое поильное ведро обслуживает по очереди четырех телят. Возможно и однорядное расположение боксов, тогда из каждого ведра будут получать корм два теленка. По технологии содержания телят с использованием разработанной конструкции раздатчика молочных кормов размеры боксового оборудования и раздатчика соответствуют нормам проектирования и вписываются в планировку существующих или вновь строящихся типовых телятников [16, 17]. При длине помещения в 72 метра количество обслуживаемых животных может доходить до 200 голов.

Сено, концентраты и др. корма, а также и кормовые добавки скармливаются в отдельных кормушках, которые располагаются вдоль технологических проходов. Их раздача проводится с помощью ручных тележек ТУ-300.

Технологическая схема линии приготовления и раздачи жидкого корма в телятнике фермы на 400 голов представлена на рисунке 2.

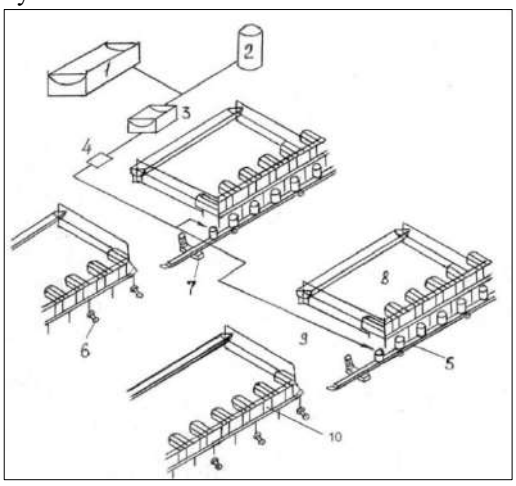


Рисунок 2 – Технологическая схема линии раздачи жидкого корма

На технологической схеме линии приготовления и раздачи жидкого корма в телятнике указаны: накопитель для хранения молочного корма (1); установка АЗМ-08 для приготовления заменителя цельного молока или ЗЦМ (2); ёмкость для приготовления корма (3); молочный насос (4); штанговый раздатчик жидких кормов (5); роликовые направляющие хода штанги (6); привод для перемещения штанги раздатчика (7); клетки с телятами (8); центральный кормовой проход (9); кормовая решетка (10).

Во время раздачи корма и движения раздатчика подготовленный жидкий корм через расходный кран подается в 50 поильных ведер, смонтированных на жесткой штанге, которая перемещается по роликовому пути в технологическом коридоре между двумя рядами смежных боксов. Для регулирования доступа телят к поильным ведрам штангового раздатчика кормовые проемы оборудованы заслонками. Открытие и закрытие заслонок каждого ряда боксов осуществляется с поста оператора.

Кормораздатчик совершает челночные перемещения из одного крайнего положения в другое, при этом, проходя через зону загрузки, расположенную в середине телятника заполняется жидким кормом. Процесс выпаивания выполняется за 4 цикла. При работе раздатчика жидких кормов используется молочный насос НМУ-6.

В ходе исследований определены основные эксплуатационные показатели раздатчика жидких кормов молодняку крупного рогатого скота при боксовом содержании. Результаты проверки работы данного раздатчика представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты опытно-производственной проверки

№ п.п.	Показатели	Характеристика
1	Основное оборудование	штанговый кормораздатчик, раздаточный кран
2	Количество обслуживаемых животных, гол.	200
3	Количество одновременно выпаиваемых животных	50
4	Способ содержания животных	беспривязно-боксовый
5	Вид корма	обезжиренное молоко
6	Возраст животных	телята до 3-х месяцев
7	Количество обслуживающего персонала, чел.	1
8	Длина фронта кормления, м	60
9	Привод	мотор-редуктор МПз2-31,5
10	Установленная мощность, кВт	0,37
11	Число оборотов на приводном валу, об/мин.	18
13	Норма выдачи корма, кг/гол	5
14	Продолжительность раздачи корма (за один цикл), мин.	6
15	Время выпаивания, мин	4

Насос НМУ-6 имеет производительность 6,5 $м^3$/ч. Установка расходного крана с диаметром выходного отверстия 20 мм обеспечивают подачу жидкого корма в стационарно стоящие ведра с неравномерностью не более 5 %.

Скорость передвижения штанги раздатчика при этом составляет 0,07-0,13 м/с. Чтобы обеспечить равномерность раздачи жидкого кормакормораздатчик может передвигаться с периодическими остановками для заполнения ведер.

Заключение. Представленная конструкция ограниченно-мобильного штангового раздатчика позволяет максимально эффективно производить механизированную раздачу жидких кормов телятам при их беспривязном содержании. Использование механизированной раздачи жидких кормов телятам с помощью штангового раздатчика снижает затраты труда на 50 %, связанные с подвозом корма и наполнением ведра из фляги, исключает тяжелый и монотонный труд. Для равномерного наполнения ведер и повышения точности при раздаче рационного корма требуется применять устройства с крановым дозатором или системы автоматического дозирования.

Список источников

1. Влияние роботизированного доения на качество молока / В.Е. Никифоров, И.С. Сереброва, Д.А. Иванова [и др.] // Наука в центральной России. 2020. № 2 (44). С. 117-124.

2. Роботизированная технология доения коров повышает эффективность производства молока / В.Е. Никифоров, Д.А. Иванова [и др.] // Наука в центральной России. 2020. № 5 (47). С. 74-81.

3. Никифоров В.Е., Никитин Л.А., Углин В.К. Условия получения качественного молока при применении автоматизированных технологий доения deLaval // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 1 (33). С. 190-195.

4. Сравнительная оценка экономической эффективности использования доильных роботов в ООО «Покровское» Вологодской области / А.В. Маклахов, В.И. Жильцов [и др.] // Вопросы территориального развития. 2017. № 5 (40). С. 5.

5. Сереброва И.С., Углин В.К., Никифоров В.Е. Производство и качество молока при различных технологиях доения и способах содержания // Farm Animals. 2016. № 2 (12). С. 10-12.

6. Эффективность производства молока при разных способах содержания коров / Г.П. Легошин, С.Е. Бильков // Молочное скотоводство России. – М.: ВИЖ, 2008. С. 150-159.

7. Филиппова, О.Б. А.И. Фролов, Кийко Е.И. Условия кормления телят – залог будущего долголетия коров // Главный зоотехник. 2015. № 8. С. 11-18.

8. Эффективность кормовой добавки на основе природных компонентов при выращивании телят молочного периода / А. Фролов [и др.] // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2021. № 12. С. 11-16.

9. Симонов Г. Интенсивное выращивание высокопродуктивных коров // Молочное и мясное скотоводство. 2005. № 2. С. 29-30.

10. Опыт создания высокопродуктивных молочных стад / В.А. Сабурин, Ю.В. Коваль, А.Ю. Баранов [и др.] // Зоотехния. 2005. № 1. С. 11-15.

11. Тяпугин Е., Гуляева М. Опыт выращивания ремонтных телок в хозяйствах Вологодской области // Молочное и мясное скотоводство. 2010. № 3. С. 2-4.

12. Конаков А.П., Юдаев Ю.Н, Козин Р.Б. Механизация раздачи кормов. М.: Агропромиздат, 1989. 175 с.

13. Молчанов М.В. Технология выращивания телят в родильно-профилакторных боксах, М.В. Молчанов. – Дубровицы: ФГОУ РУЭЦ, 2007. -22 с.

14. Совершенствование системы раздачи жидких кормов для телят / Л.А. Никитин [и др.] // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60). С. 27-34.

15. Пат. 1787393 Российская Федерация А01 К 5/02. Кормораздатчик / Никитин Л.А. Седунов В.А., Гусев А.С. – № 4789170/15; заявл. 07.09.1990; опубл. 15.01.1993; Бюл. № 2.

16. Никитин Л.А., Туваев В.Н. Технологический процесс выпойки телят послепрофилакторного периода // Эффективные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: Сборник научных трудов Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина. – ИЦ, 2004. С. 138-141.

17. Рекомендации по модернизации и техническому перевооружению молочных ферм / Е.Е. Хазанов, Е.Л. Ревякин, В.Е. Хазанов, В.В. Гордеев. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 128 с.

Reference

1. The influence of robotic milking on milk quality / V.E. Nikiforov, I.S. Serebrova, D.A. Ivanova [et al.] // Nauka v tsentral'noy Rossii (Science in Central Russia). 2020. No. 2 (44). pp. 117-124.

2. Robotic technology for milking cows increases the efficiency of milk production / V.E. Nikiforov, D.A. Ivanova [et al.] // Nauka v tsentral'noy Rossii (Science in Central Russia). 2020. No. 5 (47). pp. 74-81.

3. Nikiforov V.E., Nikitin L.A., Uglin V.K. Conditions for obtaining high-quality milk when using automated milking technologies DeLaval // Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva (Bulletin of the All-Russian Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry). 2019. No. 1 (33). pp. 190-195.

4. Comparative assessment of the economic efficiency of the use of milking robots in LLC "Pokrovskoye" of the Vologda region / A.V. Maklakhov, V.I. Zhiltsov [et al.] // Voprosy territorial'nogo razvitiya (Questions of territorial development). 2017. No. 5 (40). p. 5.

5. Serebrova I.S., Uglin V.K., Nikiforov V.E. Milk production and quality with various milking technologies and methods of maintenance // Farm Animals. 2016. No. 2 (12). pp. 10-12.

6. Efficiency of milk production with different methods of keeping cows / G.P. Legoshin, S.E. Belkov // Molochnoe skotovodstvo Rossii (Dairy cattle breeding in Russia). – M. : VIZ, 2008. pp. 150-159.

7. Filippova, O.B. A.I. Frolov, Kiiko E.I. Conditions of feeding calves – a pledge of future longevity of cows // Glavnyj zootekhnik (Chief zootechnik). 2015. No. 8. pp. 11-18.

8. The effectiveness of a feed additive based on natural components in the cultivation of calves of the dairy period / A. Frolov [et al.] // Veterinariya sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh (Veterinary medicine of farm animals). 2021. No. 12. pp. 11-16.

9. Simonov G. Intensive cultivation of highly productive cows // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo (Dairy and beef cattle breeding). 2005. No. 2. pp. 29-30.

10. Experience in creating highly productive dairy herds / V.A. Saburin, Yu.V. Koval, A.Yu. Baranov [et al.] // Zootekhniya (Zootechnia). 2005. No. 1. pp. 11-15.

11. Tyapugin E., Gulyaeva M. The experience of growing repair heifers in the farms of the Vologda region // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo (Dairy and beef cattle breeding). 2010. No. 3. pp. 2-4.

12. Konakov A.P., Yudaev Yu.N., Kozin R.B. Mechanization of feed distribution. M.: Agropromizdat, 1989. 175 p.

13. Molchanov M.V. Technology of growing calves in maternity and prophylactic boxes. Dubrovitsy: FGOU RUETS, 2007. 22 p.

14. Improving the system of distribution of liquid feed for calves / L.A. Nikitin [et al.] // Nauka v tsentral'noy Rossii (Science in Central Russia). 2022. No. 6 (60). pp. 27-34.

15. Pat. 1787393 Russian Federation A01 To 5/02. Feed distributor / Nikitin L.A. Sedunov V.A., Gusev A.S. – No. 4789170/15; application 07.09.1990; publ. 15.01.1993; Byul. No. 2.

16. Nikitin L.A., Tuvaev V.N. Technological process of milking calves of the post-production period // Effective technologies in the production and processing of agricultural products: Collection of scientific papers of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin. – IC, 2004. pp. 138-141.

17. Recommendations for the modernization and technical re-equipment of dairy farms / E.E. Khazanov, E.L. Revyakin, V.E. Khazanov, V.V. Gordeev. M.: FGNU "Rosinformagrotech", 2007. 128 p.

Информация об авторах

Л.А. Никитин - кандидат технических наук; А. Н. Никифоров – старший научный сотрудник; Г.А. Симонов – доктор сельскохозяйственных наук; О.Б. Филиппова – доктор биологических наук.

Information about the authors

L. Nikitin – Candidate of technical sciences; V. Nikiforov – Senior researcher; G. Simonov – Doctor of agricultural Sciences; O. Filippova – Doctor of Biological Sciences.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.354
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-109-117

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ЗЕРНОУБОРОЧНЫМИ КОМБАЙНАМИ НА УБОРКЕ СОИ

Геннадий Николаевич Ерохин [1], Валерий Викторович Коновский [2], Илья Александрович Першин [3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]witin4@rambler.ru

Автор ответственный за переписку: Ерохин Геннадий Николаевич, witin4@rambler.ru
Corresponding author: Gennady Erokhin, witin4@rambler.ru

Реферат. *В статье рассматривается модель оценки расхода топлива зерноуборочным комбайном на уборке сои. Модель базируется на прогнозировании расхода топлива в периоды эксплуатационного времени работы комбайна, в течение которых работает двигатель. К таким периодам относятся затраты времени на основную работу, выгрузку зерна сои, переезды к месту выгрузки и холостые переезды. Получено общее уравнение удельного расхода топлива комбайном в этих периодах времени. Отличительной особенностью модели является учет влияния на расход топлива загрузки молотилки комбайна по пропускной способности. Модель позволяет прогнозировать расход топлива каждым комбайном и в целом по сельхозпредприятию. Апробация модели проведена в конкретном сельхозпредприятии Тамбовской области. Обоснованное по модели необходимое количество дизельного топлива для проведения уборки сои составило 4901 л. Фактически было израсходовано 5488 л. Относительная ошибка прогнозирования общего расхода топлива для уборки сои в целом по предприятию составила 10,7%. Получены зависимости удельного расхода топлива от рабочей скорости на примере комбайнов ACROS 550 и КЗС-1218А-1. Для обоих марок комбайнов выявлено снижение удельного расхода топлива с ростом рабочей скорости. Наиболее значимое снижение наблюдается в интервале скорости 2…6 км/ч. При увеличении рабочей скорости от 2 км/ч до 6 км/ч удельный расход топлива у комбайнов в среднем уменьшается в 1,9 раза. Получены зависимости расхода топлива от урожайности и соломистости убираемой культуры. Подтверждена значимость влияния указанных факторов и необходимость их учета при анализе и прогнозировании расхода топлива на уборке сои.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, соя, урожайность, топливо, расход.*

MODELING OF FUEL CONSUMPTION BY COMBINE HARVESTERS FOR SOYBEAN HARVESTING

Gennady Erokhin [1], Valery Konovskiy [2], Ilya Perchin [3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]witin4@rambler.ru

Abstract. *The model for estimating the fuel consumption of a combine harvester for harvesting soybeans is considered in the article. The model is based on predicting fuel consumption during the periods of operating time of the combine, during which the engine is running. Such periods include the time spent on the main work, unloading soybean grains, moving to the place of unloading and idle moving. A general equation for the specific fuel consumption of a combine harvester in these periods of time is obtained. A distinctive feature of the model is that it takes into account the impact on fuel*

consumption of the combine thresher loading in terms of throughput. The model allows predicting the fuel consumption of each combine and for the whole agricultural enterprise. Approbation of the model was carried out in a specific agricultural enterprise of the Tambov region. Based on the model, the required amount of diesel fuel for soybean harvesting was 4901 liters. In fact, 5488 liters were used up. The relative error in forecasting the total fuel consumption for harvesting soybeans for the whole enterprise was 10.7%. The dependences of the specific fuel consumption on the operating speed are obtained using the example of the ACROS 550 and KZS-1218A-1 combine. For both brands of combines, a decrease in specific fuel consumption with an increase in operating speed was revealed. The most significant decrease is observed in the speed range of 2…6 km/h. With an increase in operating speed from 2 km/h to 6 km/h, the specific fuel consumption of combines decreases on average by 1.9 times. The dependences of fuel consumption on the yield and straw content of the harvested crop were obtained. The significance of the influence of these factors and the need to take them into account in the analysis and forecasting of fuel consumption for soybean harvesting are confirmed.

Keywords: *combine harvester, soybeans, productivity, fuel, consumption*.

Для цитирования: Ерохин Г.Н., Коновский В.В., Першин И.А. Моделирование расхода топлива зерноуборочными комбайнами на уборке сои // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 63, № 3. С. 109-117. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-109-117.

For citation: Erokhin G., Konovskiy V., Perchin I., Modeling of fuel consumption by combine harvesters for soybean harvesting // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 63(3): 109-117. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-109-117.

Введение. В последние годы в Российской Федерации неуклонно растет производство сои. По данным Росстата посевная площадь сои в 2010 году составляла 1209 тыс. га, в 2022 году она достигла 3487 тыс.га. Соответственно урожайность за этот период выросла с 10,9 ц/га до 18,0 ц/га. Посевная площадь под соей увеличилась во всех Федеральных округах. Наибольший рост имел место в Центральном округе, где посевная площадь в 2022 году была более 1423 тыс. га. Положительная динамика развития производства сои объясняется тем, что соя остается высокорентабельной культурой, несмотря на скачки закупочных цен.

В сельхозпредприятиях уборку сои выполняют зерноуборочными комбайнами с молотильным устройством различных типов. При этом используются специальные жатки низкого среза, при их отсутствии – обычные зерновые. В себестоимости комбайновой уборки сои значительная часть затрат приходится на топливо. Расход топлива при уборке сои в реальной эксплуатации варьирует в диапазоне 1,8…7,1 л/т. Сельхозпроизводителю при планировании уборки сои важно иметь прогноз расхода дизельного топлива для применяемых комбайнов при конкретных условиях. Использование для этих целей норм расхода топлива приводит к результатам, отличающимся от фактических в разы. Это обусловлено тем, что нормы расхода топлива определяются для комбайнов без учёта условий уборки сои и уровня загрузки молотилки по пропускной способности.

Известны исследования и модели, позволяющие прогнозировать расход топлива комбайном на уборке зерновых культур [1, 2]. Установлены математические зависимости удельного расхода топлива комбайнами от урожайности и соломистости зерновых культур [3, 4]. Использование таких моделей для уборки сои дает результаты с большой ошибкой. В настоящей работе была поставлена цель – разработать модель расхода топлива зерноуборочными комбайнами на уборке сои и проверить ее работоспособность.

Материалы и методы. Как показывает мониторинг в реальной эксплуатации, комбайны на уборке сои работают с рабочей скоростью V_P равной 4…6 км/ч. Для большинства марок современных комбайнов это значительно меньше скорости $V_{ПР}$, рекомендованной по пропускной способности. Низкая рабочая скорость необходима для качественной работы соевых жаток на низком срезе [5]. В противном случае резко возрастают потери за жаткой. Отсюда комбайны работают с неполной загрузкой молотилки по пропускной способности. Оценить уровень использования пропускной способности можно по формуле [6]:

$$Y_{ПР} = \frac{V_P}{V_{ПР}}, \quad (1)$$

где V_P - фактическая рабочая скорость комбайна, км/ч; $V_{ПР}$ - рекомендованная рабочая скорость комбайна по пропускной способности, км/ч;

Рабочая скорость комбайна, обеспечивающая его загрузку по пропускной способности, находится по формуле:

$$V_{ПР} = \frac{360 \cdot G_П}{У \cdot B_Ж \cdot (1+\varepsilon)}, \quad (2)$$

где $G_П$ - паспортная пропускная способность комбайна, кг/с; ε - отношение массы незерновой части к массе зерна, $У$ - средняя урожайность сои, ц/га, $B_Ж$ - рабочая ширина захвата жатки, м.

В большинстве случаев при уборке сои определяющим производительность фактором является не пропускная способность комбайна, а фактическая допустимая рабочая скорость. Поэтому производительность комбайна по основному времени на уборке сои задается формулами:

$$W_{1ГА} = 0{,}1 \cdot V_P \cdot B_Ж, \text{ га/ч} \quad (3)$$

$$W_1 = 0{,}1 \cdot W_{1ГА} \cdot У, \text{ т/ч} \quad (4)$$

Работа с неполной загрузкой молотилки накладывает свое влияние на расход топлива и учитывается в представленной модели. Модель расхода топлива зерноуборочными комбайнами на уборке сои базируется на рассмотрении элементов эксплуатационного времени работы комбайна, в течение которых работает двигатель. Индекс обозначения этих элементов [7] и их характеристика представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Элементы времени работы двигателя комбайна

Индекс элемента времени	Характеристика элемента времени
1	Время основной работы - скашивание и обмолот убираемой культуры
21	Время на повороты в конце загонки
22	Время на переезд комбайна к месту выгрузки зерна и обратно
23	Время на выгрузку зерна в транспортное средство
6	Время на холостые переезды (к месту ночной стоянки и обратно, с поля на поле)

Количественно рассматриваемые элементы можно описать удельными затратами времени соответственно $\tau_1, \tau_{21}, \tau_{22}, \tau_{23}, \tau_6$. Удельные затраты представляют собой отношение соответствующего элемента времени к времени основной работы. Очевидно, что удельные затраты времени $\tau_1 = 1$. Моделирование остальных удельных затрат $\tau_{21}, \tau_{22}, \tau_{23}, \tau_6$ подробно показано в [4].

Каждый рассматриваемый период (элемент) времени работы двигателя характеризуется своим коэффициентом использования мощности двигателя. Наиболее энергоемким и продолжительным периодом, в течение которого расходуется дизельное топливо, является основная работа. При этом мощность двигателя комбайна расходуется на передвижение комбайна по полю, скашивание и обмолот зерновой массы, измельчение и разброс соломы. Коэффициент использования мощности двигателя на основной работе зависит от уровня использования пропускной способности комбайна. С уменьшением уровня использования пропускной способности снижается и коэффициент использования мощности, так как снижается мощность на обмолот зерновой культуры. Принимая условие, что на движение комбайна расходуется в среднем

около 25% мощности двигателя, предлагается оценивать коэффициент использования мощности двигателя при основной работе уравнением:

$$K_{M1} = 0{,}65 \cdot Y_{ПР} + 0{,}25 \quad , \tag{5}$$

где $Y_{ПР}$ - уровень использования пропускной способности комбайна на уборке сои.

Для упрощения модели коэффициенты использования мощности двигателя в остальных периодах $K_{M21}, K_{M22}, K_{M23}, K_{M6}$ принимаются равными 0,25.

Удельный расход топлива при уборке сои можно описать суммой удельных расходов топлива в рассматриваемых элементах времени [3]:

$$g_K = g_{K1} + g_{K21} + g_{K22} + g_{K23} + g_{K6} \tag{6}$$

где g_K - удельный расход топлива зерноуборочным комбайном, л/т; g_{K1}, g_{K21}, g_{K22}, g_{K23}, g_{K6} - удельный расход топлива комбайном в рассматриваемых элементах времени (при выполнении основной работы, поворотов в конце загонки, переезде комбайна к месту выгрузки зерна и обратно, на выгрузку зерна из бункера в транспортное средство, на холостые переезды), л/т.

Удельный расход топлива комбайном в рассматриваемых элементах времени определяется общим уравнением:

$$g_{Ki} = \frac{q_i \cdot K_{Mi} \cdot N_Д \cdot \tau_i}{10^3 \cdot W_1 \cdot u_T}, \text{ л/т} \tag{7}$$

где q_i - удельный расход топлива двигателем в i-ом элементе времени, г/л.с.×ч; K_{Mi} - коэффициент использования мощности в i-ом элементе времени; $N_Д$ - паспортная мощность двигателя, л.с.; u_T - удельный вес топлива (солярки), кг/л; τ_i - удельные затраты времени i-го элемента времени; W_1 - производительность комбайна на уборке сои по основному времени, т/ч:

Удельный расход топлива двигателем зависит от оборотов двигателя и мощности на его валу. Обработкой данных [8] получено, что фактический удельный расход топлива двигателем при номинальных оборотах можно описать зависимостью:

$$q_i = q_H \cdot \left(0{,}8714 \cdot K_{Mi}^2 - 1{,}7471 \cdot K_{Mi} + 1{,}8757\right), \tag{8}$$

где q_H - удельный паспортный расход топлива двигателем при номинальных оборотах и мощности, г/л.с.×ч; K_{Mi} - фактический коэффициент использования мощности двигателем в i-ом элементе времени.

Общий расход топлива комбайном на уборке сои равен:

$$R_K = g_K \cdot H_K, \text{ л} \tag{9}$$

где H_K - намолот сои комбайном, т.

Общий расход топлива всеми комбайнами на уборке сои в сельхозпредприятии определяется формулой:

$$R_{ОБ} = \sum_{i=1}^{N} R_{Ki} \quad , \text{ л} \tag{10}$$

где N - количество комбайнов на уборке сои в сельхозпредприятии, шт.

Результаты и обсуждение. Формулы (1)…(10) представляют ядро математической модели, позволяющей прогнозировать расход топлива на уборку сои в сельхозпредприятии. Проверка работоспособности данной модели выполнялась на базе конкретного сельхозпредприятия Тамбовской области – МФП «Нива». Исходные данные получены мониторингом работы

комбайнов на уборке сои в 2022 году. Площадь возделывания сои составляла 350 га, сорт сои – Лиссабон, средняя урожайность – 24 ц/га.

Уборка проводилась четырьмя комбайнами «Полесье» КЗС-1218 различных годов выпуска. Комбайны произведены белорусской компанией «Гомсельмаш», имеют с молотилку барабанного типа, снабженную барабаном-ускорителем. Это высокопроизводительные комбайны с двигателем мощностью 330л.с. и пропускной способностью 12…13 кг/с. На трех комбайнах были установлены модернизированные под низкий срез жатки ЖЗК-7, один комбайн работал с обычной зерновой жаткой данной марки. Модернизированные жатки обеспечивали минимальную высоту среза 6…7 см. Условия проведения работ по уборке сои характеризовались следующими показателями: длина гона – 1000 м, отношение зерна к соломистой массе 1:1,2; влажность зерна сои – 19%, полеглость растений – 4%, засоренность сорняками – 4%. Используя предложенную модель для условий МФП «Нива», были получены показатели расхода топлива на уборке сои (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты моделирования расхода топлива на уборке сои в МФП «Нива»

Марка комбайна	КЗС-1218А-1	КЗС-1218-29	КЗС-1218-29	КЗС-1218-29
Год выпуска	2020	2012	2014	2016
Марка жатки	ЖЗК-7	ЖЗК-7 (модерн.)	ЖЗК-7 (модерн.)	ЖЗК-7 (модерн.)
Ширина жатки, м	7	7	7	7
Высота среза, см	17	6	7	7
Рабочая скорость, км/ч	6,2	4,2	4,4	4,5
Производительность по основному времени, т/ч	9,90	6,70	7,02	7,18
Уровень загрузки молотилки	0,54	0,37	0,39	0,39
Удельные затраты времени:				
- на повороты	0,062	0,042	0,044	0,045
-на холостые переезды	0,095	0,093	0,093	0,093
- на переезд к месту выгрузки и обратно	0,073	0,050	0,052	0,053
- на разгрузку зерна в транспортное средство	0,041	0,028	0,029	0,030
Удельный расход топлива комбайном, л/т				
- на основной работе	4,36	5,64	5,47	5,38
- при разворотах	0,15	0,15	0,15	0,15
- при холостых переездах	0,23	0,33	0,31	0,31
- при переезде комбайна к месту выгрузки зерна и обратно	0,17	0,17	0,17	0,17
- при выгрузке зерна	0,10	0.10	0,10	010
Удельный расход топлива комбайном при уборке сои, л/т	5,01	6,39	6,19	6,11
Общий расход топлива комбайном при уборке сои, л	1354	1153	1184	1208

Как показывает таблица 2, минимальный удельный расход топлива при уборке сои 5,0 л/т был у комбайна КЗС-1218А-1, работавшего с обычной зерновой жаткой. В тех же условиях комбайны КЗС-1218-29 работали с модернизированными под низкий срез жатками и показали удельный расход топлива выше в среднем на 24%. Объясняется это тем, что комбайн КЗС-1218А-1 имел

более высокую среднюю рабочую скорость и, соответственно, более высокий уровень использования производительности по пропускной способности.

Смоделированные общие показатели расхода топлива в сельхозпредприятии при уборке сои приведены в таблице 3. В ней также представлены фактические показатели, полученные по результатам бухгалтерской отчетности. Обоснованное по модели необходимое количество дизельного топлива для проведения уборки сои составило 4901 л. Фактически было израсходовано 5488 л.

Таблица 3 – Смоделированные и фактические показатели расхода топлива на уборке сои в МФП «Нива»

Показатели	Смоделированные	Фактические
Общий расход топлива в сельхозпредприятии на уборке сои, л	4901	5488
Уд. расход топлива в сельхозпредприятии на уборке сои, л/т	5,83	6,53
Уд. расход топлива в сельхозпредприятии на уборке сои, л/га	14,00	15,68

Таким образом, относительная ошибка прогнозирования общего расхода топлива для уборки сои в МФП «Нива» составила 10,7%. Такая величина относительной ошибки допустима для подобных моделей и подтверждает ее работоспособность.

Разработанная модель оценки расхода топлива при уборке сои позволяет провести актуальные для сельхозпроизводителя исследования по влиянию на расход топлива отдельных факторов. Были выбраны три фактора: рабочая скорость комбайна, урожайность сои и соломистость культуры. Для этого моделирование выполнялось на примере двух марок зерноуборочных комбайнов КЗС-1218А-1 и ACROS 550, которые нашли широкое распространение в Центрально-Черноземном регионе. Моделирование проводилось для условий уборки сои в МФП «Нива», изложенных выше.

Во-первых, рассмотрим влияние скоростного режима комбайна. На рисунке 1 показана зависимость удельного расхода топлива от рабочей скорости комбайна.

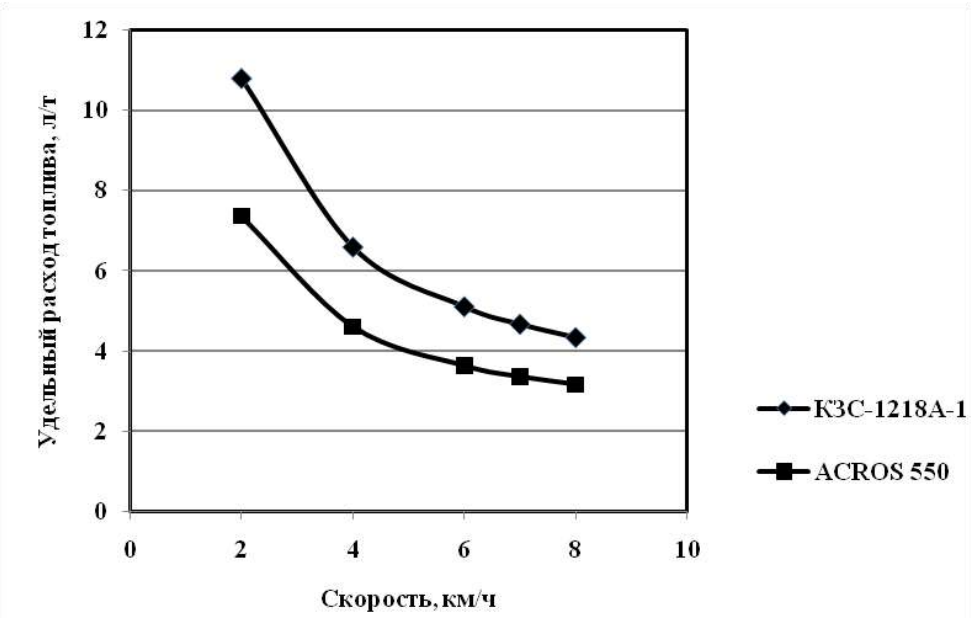


Рисунок 1 - Зависимость удельного расхода топлива от рабочей скорости комбайна

Как показывают графические зависимости на рисунке 1, удельный расход топлива комбайна КЗС-1218А-1 выше расхода комбайна ACROS 550 на всем рассматриваемом диапазоне изменения рабочей скорости. Так при скорости 2 км/ч расход КЗС-1218А-1 составляет 10,8 л/т, а комбайна ACROS 550 – 7,4 л/т, при скорости 4 км/ч - соответственно 6,6 л/т и 4,6 л/т, при скорости 8 км/ч - соответственно 4,3 л/т и 3,1 л/т. Для обоих марок комбайнов получено снижение удельного расхода топлива с ростом рабочей скорости. Причем наиболее значимое снижение наблюдается в интервале 2…6 км/ч. Так, при увеличении рабочей скорости от 2 км/ч до 6 км/ч удельный расход топлива у комбайнов в среднем уменьшается в 1,9 раза.

Зависимости удельного расхода топлива от урожайности сои (рисунок 2) для рассматриваемых комбайнов показывают снижение расхода с ростом урожайности. Для комбайна КЗС-1218А-1 при урожайности 15 ц/га удельный расход топлива составляет 7,9 л/т, а при урожайности 25 ц/га – 5,6 л/т. Для комбайна ACROS 550 при такой урожайности расход топлива равен соответственно 5,5 л/т и 4,0 л/т. В интервале изменения урожайности 15…35 ц/га расход топлива комбайна КЗС-1218А-1 уменьшается в 1.76 раза, комбайна ACROS 550 – в 1,69 раза.

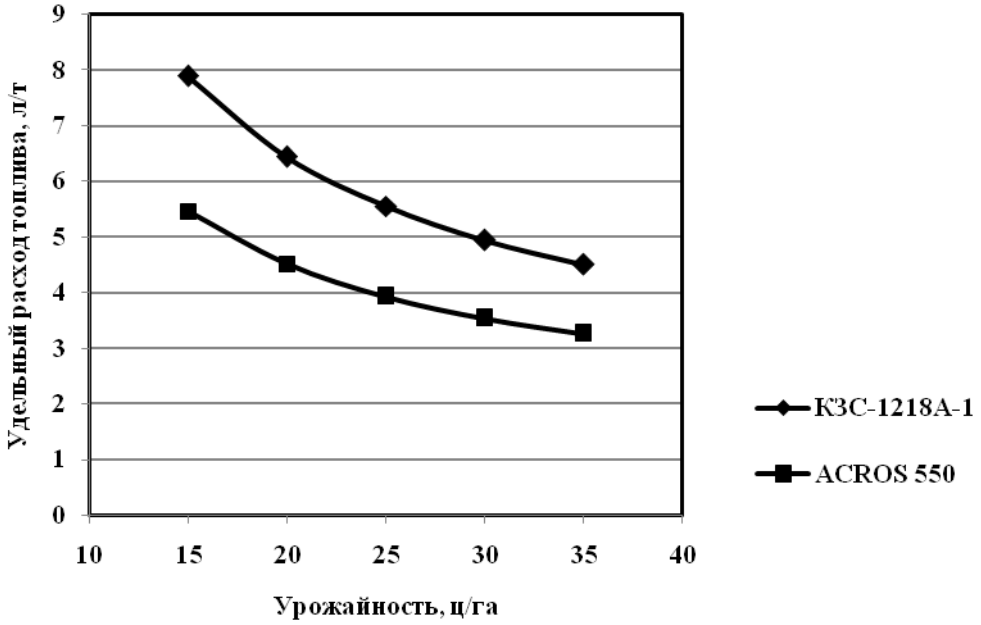


Рисунок 2 - Зависимость удельного расхода топлива от урожайности сои

Зависимости рисунка 2 получены при отношении массы соломы к массе зерна равным 1,2. Это отношение характеризует соломистость убираемой культуры. Величина соломистости в свою очередь влияет на расход топлива. Смоделированные зависимости удельного расхода топлива от соломистости сои показаны на рисунке 3 .

Зависимости рисунка 3 имеют линейный вид и доказывают рост удельного расхода топлива с увеличением соломистости убираемой массы сои. При увеличении соломистости с 0,8 до 2,1 удельный расход топлива увеличивается для комбайна КЗС-1218А-1 на 0,97 л/т, для комбайна ACROS 550 – на 0,84 л/т.

Следует отметить, что полученные зависимости показывают значимое влияние на расход топлива рабочей скорости комбайна, урожайности и соломистости убираемой культуры. Причем во всех случаях удельный расход топлива комбайна КЗС-1218А-1 превышал расход комбайна ACROS 550 в среднем на 1,2..3,5 л/т. Это объясняется тем, что в рассматриваемых условиях комбайн КЗС-1218А-1 работал по сравнению с ACROS 550 с более низкой загрузкой двигателя по мощности.

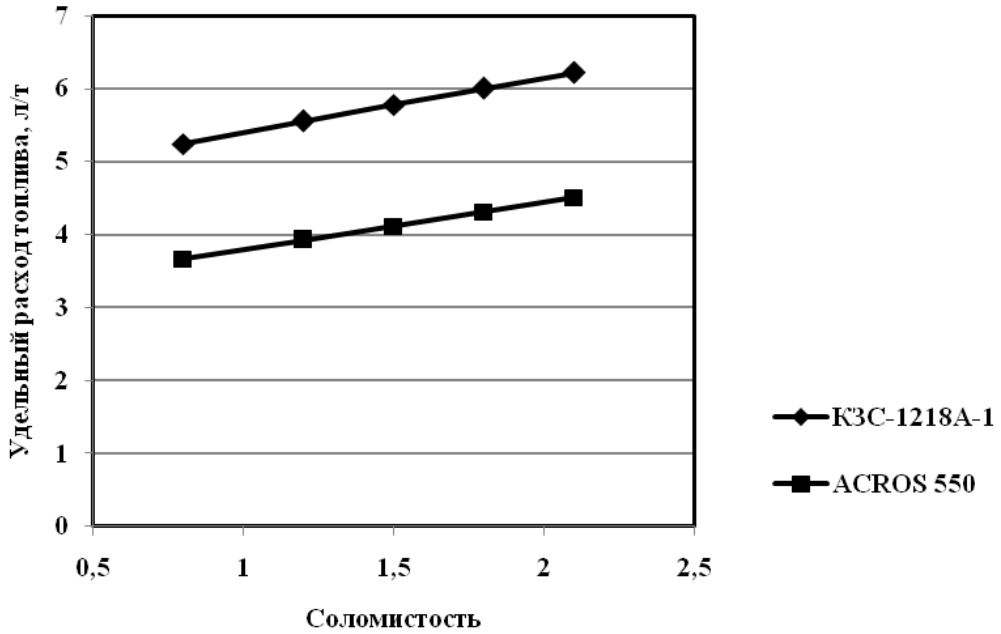


Рисунок 3 - Зависимость удельного расхода топлива от соломистости сои

Выводы. В результате исследований разработана модель расхода топлива зерноуборочными комбайнами на уборке сои. Модель базируется на рассмотрении расхода топлива в различных периодах эксплуатационного времени работы комбайна, в течение которых работает двигатель. Модель позволяет прогнозировать расход топлива в сельхозпредприятии с учетом условий уборки сои и марок применяемых комбайнов и жаток. Производственная проверка модели в МФП «Нива» показала ее работоспособность и достаточную точность. Относительная ошибка прогнозирования общего расхода топлива для уборки составила 10,7%.

Получены зависимости влияния на расход топлива рабочей скорости комбайна, урожайности и соломистости сои. Подтверждена значимость влияния указанных факторов и необходимость их учета при анализе и прогнозировании расхода топлива на уборку сои.

Список источников

1. Ряднов А. И., Федорова О. А., Поддубный О. И. Анализ расхода топлива зерноуборочными комбайнами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. – №3(67). – С.466-473.

2. Анализ расхода топлива зерноуборочными комбайнами с использованием спутникового мониторинга / И.М.Ахмадуллин, И.Д.Гафуров // Материалы международной научно-практической конференции в рамках XXIV международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2014». Уфа. Башкирский ГАУ. – 2014. – С.10 -14.

3. О расходе топлива зерноуборочным комбайном /Г.Н.Ерохин, В.В.Коновский // Наука в центральной России. – 2021. – № 5 (53) . – С. 35–41 .

4. Моделирование расхода топлива зерноуборочных комбайнов / Г.Н.Ерохин, В.В.Коновский // Наука в центральной России. –2016. – № 3 (21). –С. 24-31.

5. Производительность зерноуборочных комбайнов на уборке сои /Г.Н.Ерохин, В.В.Коновский, Першин И.А. // Наука в центральной России. – 2022. – № 1 (55) . – С. 33–41.

6. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. М.: ВИМ, – 2011. – 102с.

7. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: «Стандартинформ». – 2008. – 24с.

8. Многопараметровая топливная характеристика дизеля Cummins / К.И.Городецкий, В.С.Гольнев, Е.П.Ершов и др.// Тракторы и сельхозмашины. – 2012. - №2. – С.44-47.

References

1. Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Poddubny`j O. I. Analysis of fuel consumption by grain harvesters // Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: science and higher professional education. 2022. – №3(67). – S.466-473.

2. Analysis of fuel consumption of grain harvesters using satellite monitoring / I.M.Axmadullin, I.D.Gafurov // Materials of the international scientific and practical conference within the framework of the KSIV international specialized exhibition «Agrokompleks-2014». Ufa. Bashkirskij GAU. – 2014. – S.10 -14.

3. On the fuel consumption of a grain harvester / G.N. Erokhin, V.V. Konovsky // Science in Central Russia. – 2021. – № 5 (53) . – S. 35–41 .

4. Modeling of fuel consumption of grain harvesters / G.N. Erokhin, V.V. Konovsky // Science in Central Russia. –2016. –№ 3 (21). –S. 24-31.

5. The productivity of grain harvesters for soybean harvesting / G.N. Erokhin, V.V. Konovsky, Pershin I.A. // Science in Central Russia. – 2022. – № 1 (55) . – S. 33–41.

6. Zhalnin E`.V. Calculation of the main parameters of combine harvesters. M.: VIM, – 2011. – 102s.

7. GOST R 52778-2007. Testing of agricultural machinery. Methods for its operational and technological assessment. – M.: «Standartinform». – 2008. – 24s.

8. Multi-parameter fuel characteristic of Cummins diesel / K.I.Gorodeczkij, V.S.Gol`nev, E.P.Ershov i dr./ Tractors and agricultural machines `. – 2012. - №2. – S.44-47.

Информация об авторах

Г. Н. Ерохин – кандидат технических наук; В.В. Коновский – научный сотрудник; И.А. Першин – младший научный сотрудник.

Information about the authors

G. Erokhin – Candidate of Technical Sciences; V. Konovskiy - Researcher; I. Perchin - junior researcher.

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

Поступила в редакцию (Received): 22.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 23.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-118-130

СИМУЛЯТОР ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ

Макар Алексеевич Пятибрат [1], Виктор Иванович Балабанов [2]
[1,2] РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
[1]qsmakar@outlook.com
[2]vbalabanov@rgau-msha.ru

Автор ответственный за переписку: Виктор Иванович Балабанов, vbalabanov@rgau-msha.ru
Corresponding author: Viktor Balabanov, vbalabanov@rgau-msha.ru

Реферат. *Рассмотрен инновационный симулятор виртуальной реальности мелиоративных работ, позволяющий понять принципы работы мелиоративных систем без непосредственного воздействия на реальную среду, направленный на качественное и эффективное решение, в том числе, образовательных задач. Данный проект реализуется в рамках сотрудничества между белорусской компанией «StarcoStudio» и РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и предполагает создание VR-продукта, способного предоставить реалистичный и безопасный опыт работы с оборудованием и технологиями мелиорации. Проект охватывает разработку 3D-моделей и сцен, используя передовые программные инструменты, такие как Unreal Engine 5, Gaea, Blender, iClone и MetaHuman, а также включает практический опыт 3D-сканирования сельскохозяйственной техники, такой как каналоочиститель ОКН-0,5 и трактор МТЗ-1221. В ходе реализации продукта были использованы современные методы 3D-сканирования, обработки данных и интеграции в симулятор виртуальной реальности. Целью проекта является внедрение VR-продукта, который позволит оптимизировать процесс обучения, сделать его более гибким и индивидуализированным, учитывая различные особенности и потребности студентов. Безопасность, реалистичность, интерактивность, гибкость, экономия ресурсов, возможность повторения, сотрудничество и стимулирование интереса – все это делает VR-симуляторы мощным инструментом для подготовки квалифицированных специалистов в области мелиорации. Проект способствует повышению конкурентоспособности выпускников на рынке труда и расширению возможностей для дальнейшего развития и совершенствования системы образования в области мелиоративных работ и сельскохозяйственной техники.*

Ключевые слова: *виртуальная реальность, симулятор, мелиоративные работы, 3D-моделирование, сельскохозяйственная техника, 3D-сканирование, инновационные образовательные технологии.*

VIRTUAL REALITY SIMULATOR OF RECLAIM WOR

Makar Pyatibrat [1], Viktor Balabanov [2]
[1,2] RSAU–MACA named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia
[1]qsmakar@outlook.com
[2]vbalabanov@rgau-msha.ru

Abstract. *An innovative virtual reality simulator of land reclamation works is considered, which makes it possible to understand the principles of operation of land reclamation systems without direct impact on the real environment, aimed at a high-quality and effective solution, including educational tasks. This project is being implemented within the framework of cooperation between the Belarusian company StarcoStudio and the RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev and involves the creation of a VR product that can provide a realistic and safe experience of working with reclamation equipment and technologies. The project covers the development of 3D models and scenes using advanced software tools*

such as Unreal Engine 5, Gaea, Blender, iClone and MetaHuman, and also includes practical experience in 3D scanning of agricultural equipment, such as the OKN-0.5 sewer cleaner and the MTZ tractor - 1221. During the implementation of the product, modern methods of 3D scanning, data processing and integration into a virtual reality simulator were used. The goal of the project is to introduce a VR product that will optimize the learning process, make it more flexible and individualized, taking into account the various characteristics and needs of students. Safety, realism, interactivity, flexibility, resource savings, repetitiveness, collaboration and stimulation of interest - all this makes VR simulators a powerful tool for training qualified land reclamation specialists. The project helps to increase the competitiveness of graduates in the labor market and expand opportunities for further development and improvement of the education system in the field of land reclamation and agricultural technology.

Keywords: *virtual reality, simulator, land reclamation, 3D modeling, agricultural machinery, 3D scanning, innovative educational technologies.*

Для цитирования: Пятибрат М.А., Балабанов В.И. Симулятор виртуальной реальности мелиоративных работ // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 63, № 3. С. 118-130. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-118-130.

For citation: Pyatibrat M., Balabanov V. Virtual reality simulator of reclaim wor // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 63(3): 118-130. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-118-130.

Введение. В статье рассмотрено применение VR-технологий в обучении специалистов по мелиорации, которое помогает им лучше понять принципы работы мелиоративных систем, а также дает возможность тренироваться на практике без непосредственного воздействия на реальную среду. Благодаря этому специалисты могут изучить различные варианты мелиоративных мероприятий, избегая ошибок и негативного влияния на окружающую среду. С развитием технологий виртуальной реальности (VR) и их все большей популяризацией, эти инновации начинают проникать в различные сферы человеческой деятельности. Одним из таких направлений является симуляция мелиоративных работ. Мелиорация – это комплекс мероприятий по улучшению и использованию земель, включая регулирование водного режима, почвенную обработку, борьбу с эрозией и другие агротехнические воздействия. В работе будет рассмотрено использование VR-симуляторов для оптимизации мелиоративных работ и повышения качества земельного управления.

Симуляторы виртуальной реальности для мелиоративных работ предоставляют возможность создавать детализированные модели ландшафта и просчитывать возможные воздействия на экосистему в разных сценариях, что позволяет оценивать результаты применения мелиоративных мероприятий и определять наиболее эффективные и экологичные подходы к управлению земельными ресурсами.

Работа направлена на решение такой важнейшей проблемы в сельском хозяйстве как недостаток практического опыта у новых фермеров, мелиораторов и студентов аграрного профиля. Новички могут столкнуться с трудностями в управлении фермой, потому что ведение фермы – это сложный процесс, который включает в себя применение машин, выращивание культур, уход за животными, управление финансами и рынком. Традиционные методы обучения зачастую ограничиваются теоретическими занятиями и краткосрочными практиками, что не всегда обеспечивает достаточное погружение студентов в реальные условия работы и применение мелиоративных мероприятий. В связи с этим, специалисты могут столкнуться с рядом проблем и ошибок при переходе от теории к практике.

Цель данного проекта заключается в разработке и внедрении симулятора виртуальной реальности для мелиоративных работ.

Достижение указанной цели предполагает решение следующих задач:

1. Изучить особенности обучения в высших и средних специальных учебных заведениях, специализирующихся в гидромелиоративных работах и подготовке рабочих профессий в области использования сельскохозяйственной техники, чтобы определить ключевые требования к VR-продукту.

2. Определить основные компоненты и функциональность VR-продукта, а также разработать дизайн и структуру обучающих сценариев и среды виртуальной реальности.

3. Отсканировать и смоделировать каналоочиститель ОКН-0,5 и трактор МТЗ-1221 совместно с компанией «StarcoStudio». Создать реалистичные анимации и интерактивные элементы для обеспечения практической отработки навыков студентами.

4. Внедрить теоретические материалы и практические задания в VR-среду.

5. Провести тестирование и опытное внедрение разработки в учебный процесс с целью выявления и устранения возможных ошибок и несоответствий, а также оптимизировать производительность и удобство использования VR-продукта.

Решение проблемы недостатка практического опыта у студентов, обучающихся в области мелиорации, можно осуществить путем интеграции симуляторов виртуальной реальности в образовательный процесс. Виртуальная реальность предоставляет возможность создания реалистичных моделей ландшафта и экосистемы, в которых студенты могут применять различные мелиоративные мероприятия, анализировать их результаты и корректировать свои действия в зависимости от полученных данных (рисунок 1).

Применение VR-технологий в обучении позволяет будущим мелиораторам набраться практического опыта в безопасной и контролируемой среде (рисунок 2).

Таким образом, будущие специалисты могут освоить принципы работы мелиоративных систем и изучить разнообразные сценарии воздействия на земельные ресурсы без риска нанесения ущерба реальной среде. Использование VR-симуляторов также способствует усилению мотивации студентов и углублению их понимания проблематики мелиорации, поскольку виртуальные симуляции обеспечивают интерактивное и наглядное обучение. Более того, симуляторы виртуальной реальности могут быть использованы для проведения исследовательских работ, а также для разработки и тестирования новых методов и технологий в области мелиорации.

Рисунок 1 - Учебное занятие в виртуальной реальности.

Создание симуляторов виртуальной реальности для мелиоративных работ является сложным и многоэтапным процессом, в котором используются различные программные инструменты (рисунок 3).

Чтобы создать реалистичный и полнофункциональный симулятор, разработчики объединяют свои усилия с экспертами по мелиорации, чтобы учесть все специфические аспекты данной области.

Рисунок 2 – VR-занятие в кабине машины "Komatsu 951"

Рисунок 3 - Возможные программы при разработке VR-продукта.

Основным инструментом для создания симуляторов является игровой движок, который обеспечивает работу всей системы. Одним из самых популярных и мощных движков на сегодняшний день является Unreal Engine 5. Он предоставляет разработчикам широкий набор инструментов и функций для создания виртуальных миров, включая фотореалистичную графику, физику и искусственный интеллект. Для создания реалистичного ландшафта в симуляторе может использоваться программа Gaea. Это профессиональный инструмент для создания трехмерных ландшафтов, который позволяет разработчикам генерировать, редактировать и оптимизировать сложные сцены мелиоративных работ. Gaea позволяет импортировать и экспортировать данные ландшафта в различных форматах, что обеспечивает гибкость и совместимость с другими инструментами, такими как Unreal Engine 5.

Blender является еще одним важным инструментом для создания VR-симуляторов. Это бесплатное и открытое программное обеспечение для создания 3D-моделей, анимации и рендеринга, которое позволяет разработчикам создавать детализированные объекты и сцены для симулятора. Blender также предоставляет инструменты для скульптинга, текстурирования и модификации поверхностей, что делает его универсальным решением для многих задач.

iClone используется для создания анимированных персонажей и объектов, которые будут взаимодействовать с пользователем в симуляторе. iClone позволяет быстро создавать и настраивать

персонажей с помощью обширной библиотеки шаблонов и аксессуаров. С помощью этой программы разработчики могут создавать реалистичные анимации движений и выразительные лицевые анимации, которые обеспечивают высокий уровень интерактивности и погружения в симуляторе (рисунок 4).

Рисунок 4 - Процесс создания анимации для персонажа в программе «Iclone 8»

Metahuman является еще одной технологией, которая может быть использована при создании персонажей для VR-симуляторов. Metahuman представляет собой инструмент от компании Epic Games, создателей Unreal Engine, который позволяет разработчикам легко и быстро создавать фотореалистичные 3D-персонажи с высоким уровнем детализации и анимации. С помощью Metahuman можно создать преподавателей, наставников или других персонажей, которые будут взаимодействовать с пользователем в процессе обучения и практики в симуляторе мелиоративных работ (рисунок 5).

Рисунок 5 - Ассистент, созданный с помощью Metahuman

После создания всех необходимых 3D-моделей, анимаций и ландшафтов разработчики интегрируют их в симулятор с использованием игрового движка Unreal Engine 5. Здесь они добавляют различные функции, такие как физика, искусственный интеллект и системы управления, а также оптимизируют производительность и стабильность работы симулятора (рисунок 6).

Важным этапом разработки является тесное сотрудничество с экспертами по мелиорации, которые помогают разработчикам учесть все специфические аспекты и требования данной области. Это обеспечивает точность симуляции и корректность применения мелиоративных методов в виртуальной среде.

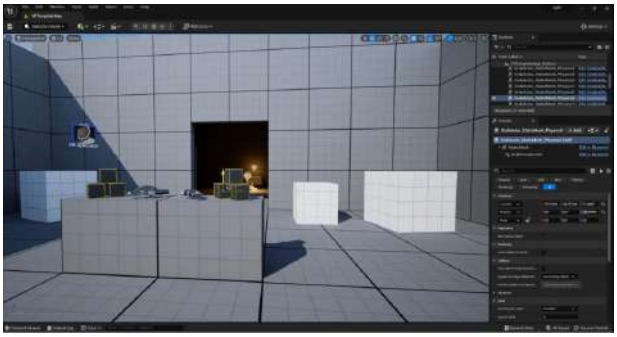


Рисунок 6 - Среда разработки Unreal Engine 5.

После завершения разработки симулятор подвергается тестированию и отладке, чтобы обеспечить стабильную и корректную работу всех компонентов. Затем симулятор может быть внедрен в образовательные учреждения или исследовательские институты, где студенты и специалисты могут использовать его для обучения и практики мелиоративных работ.

Преимущества данного метода. Применение симуляторов виртуальной реальности для обучения мелиоративным работам предоставляет ряд преимуществ, которые способствуют эффективному и качественному обучению студентов и специалистов. Ниже приведены ключевые преимущества данного метода:

1. Безопасность и контролируемая среда: Виртуальная реальность предоставляет студентам возможность применять мелиоративные методы и технологии в безопасной и контролируемой среде. Это позволяет избежать риска нанесения ущерба реальным экосистемам и снижает вероятность возникновения нежелательных последствий в результате ошибок на практике.

2. Реалистичность сценариев и погружение: Современные VR-технологии обеспечивают высокий уровень реализма и детализации симуляторов. Студенты могут испытать ощущение присутствия в реальных условиях работы, что позволяет им лучше понимать проблемы и специфику мелиорации, а также осваивать практические навыки и опыт.

3. Интерактивность и обратная связь: Виртуальные симуляторы предоставляют студентам возможность взаимодействия с окружающей средой, а также получения непосредственной обратной связи о результатах своих действий. Студенты будут осознавать свои ошибки, корректировать действия и постепенно улучшать навыки в мелиоративных работах.

4. Гибкость и персонализация обучения: Симуляторы виртуальной реальности позволяют адаптировать обучение под индивидуальные потребности и предпочтения студентов. Виртуальные сценарии могут быть настроены с учетом различных уровней сложности и специализации, что обеспечивает доступность обучения для разных категорий пользователей.

5. Экономия времени и ресурсов: Использование VR-симуляторов позволяет сократить затраты на организацию и проведение практических занятий в реальных условиях, таких как транспортировка студентов на места мелиоративных работ или предоставление необходимого оборудования и материалов. Виртуальные симуляторы могут быть использованы в любое время и в любом месте, что обеспечивает гибкость в организации обучения и снижает экономические издержки.

6. Возможность многократного повторения: В симуляторе виртуальной реальности студенты могут многократно повторять различные сценарии и задания, что позволяет им закреплять свои знания и навыки без ограничений и давления со стороны времени или ресурсов. Это способствует усвоению материала и формированию уверенности в собственных способностях.

7. Обучение в команде и сотрудничество: Симуляторы виртуальной реальности могут быть использованы для коллективного обучения и развития навыков сотрудничества между студентами. Такой подход позволяет формировать командные навыки и способствует развитию профессиональных связей и понимания между будущими специалистами.

8. Стимулирование интереса и мотивации: Использование VR-технологий в обучении может существенно повысить интерес и мотивацию студентов к изучению мелиоративных работ.

Виртуальные симуляторы предоставляют увлекательный и инновационный подход к обучению, который может привлечь внимание молодого поколения и стимулировать их желание развиваться в данной области.

Итак, применение симуляторов виртуальной реальности для обучения мелиоративным работам предлагает множество преимуществ, которые способствуют эффективному и качественному обучению студентов и специалистов. Безопасность, реалистичность, интерактивность, гибкость, экономия ресурсов, возможность повторения, сотрудничество и стимулирование интереса – все это делает VR-симуляторы мощным инструментом для подготовки квалифицированных специалистов в области мелиорации.

Применение. Применение VR-симуляторов в обучении мелиоративным работам особенно ценно и эффективно в ряде конкретных случаев, включая:

1. Обучение новичков и студентов: VR-технологии идеально подходят для обучения студентов и начинающих специалистов, которые еще не имеют достаточного практического опыта. Виртуальные симуляторы позволяют им безопасно и контролируемо практиковаться в выполнении различных мелиоративных задач, осваивая основы и нюансы профессии.

2. Тренировка определенных навыков и процедур: VR-симуляторы могут быть использованы для тренировки конкретных навыков и процедур, связанных с мелиоративными работами, таких как управление специальной техникой, планирование и расчет мелиоративных систем, оценка и контроль эффективности проведенных мероприятий и других специализированных действий.

3. Подготовка к экстремальным ситуациям: Виртуальная реальность может быть использована для подготовки специалистов к работе в сложных и непредсказуемых условиях, таких как чрезвычайные ситуации или катастрофы. В симуляторе можно моделировать редкие и опасные ситуации, позволяя специалистам освоить навыки быстрого реагирования и принятия правильных решений под давлением.

4. Обучение в труднодоступных или удаленных регионах: VR-технологии могут быть использованы для обучения мелиоративным работам в труднодоступных или удаленных регионах, где проведение традиционного обучения может быть затруднено из-за ограничений в инфраструктуре или доступности квалифицированных преподавателей. Виртуальные симуляторы позволяют проводить обучение на месте, снижая затраты на транспортировку и логистику.

5. Повышение квалификации и переподготовка: VR-симуляторы могут быть использованы для повышения квалификации и переподготовки опытных специалистов по мелиорации, которые хотят освоить новые методы, технологии или обновить свои знания. Виртуальная реальность предоставляет возможность изучать новые подходы и инновации в области мелиорации, а также практиковаться в их применении без риска для реальных проектов и экосистем.

6. Тестирование и оптимизация мелиоративных решений: VR-симуляторы могут быть использованы для моделирования и анализа различных мелиоративных решений и стратегий. Специалисты могут проводить эксперименты в виртуальной среде, тестируя и сравнивая различные подходы, что позволяет им определить наиболее эффективные и экологически безопасные варианты решения задач мелиорации.

7. Междисциплинарное обучение и сотрудничество: VR-технологии могут быть использованы для обучения и сотрудничества между специалистами из разных областей, таких как агрономы, гидрологи, экологи, инженеры и менеджеры. Виртуальные симуляторы позволяют специалистам с разными компетенциями работать вместе над мелиоративными проектами, расширяя свои знания и улучшая коммуникацию между участниками проекта.

8. Исследования и разработка инноваций: Применение VR-симуляторов в обучении мелиоративным работам может способствовать развитию научных исследований и инноваций в данной области. Исследователи могут использовать виртуальную реальность для моделирования и анализа различных гипотез и концепций, а также для проверки их применимости и эффективности в реальных условиях.

В целом, использование VR-симуляторов в обучении мелиоративным работам демонстрирует свою эффективность в ряде конкретных случаев, включая обучение новичков, тренировку определенных навыков, подготовку к экстремальным ситуациям, обучение в удаленных регионах, повышение квалификации, тестирование решений, междисциплинарное обучение и исследования.

Все это делает VR-технологии мощным и гибким инструментом для подготовки квалифицированных специалистов в области мелиорации, что может способствовать улучшению качества образования и развитию данной отрасли.

В Белоруссии и России многие компании и университеты уже начали применять технологии виртуальной реальности для обучения мелиоративным работам и другим отраслям. Благодаря интенсивному развитию VR-технологий, обучение становится более доступным, эффективным и безопасным.

В МГУ имени М.В. Ломоносова разрабатывает и внедряет VR-симуляторы для обучения студентов и повышения квалификации специалистов в области мелиорации, а также для исследовательских проектов. Кроме того, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет активно использует VR-технологии для подготовки кадров и научных исследований в области мелиорации и сельского хозяйства.

В Белорусском государственном аграрном техническом университете интегрирует VR-симуляторы в учебный процесс для обучения студентов мелиоративным работам, а также для исследования и разработки новых технологий и методов мелиорации. Белорусский национальный технический университет также работает над созданием виртуальных симуляторов для подготовки специалистов в области мелиорации и водного хозяйства.

Коммерческие компании также активно внедряют VR-технологии в свою практику. Российская компания "Симуляторы VR" специализируется на разработке и поставке инновационных VR-решений для обучения мелиоративным работам и другим отраслям промышленности. В Белоруссии компания «VirtusLab» предлагает VR-симуляторы для подготовки специалистов в области мелиорации, а также для исследования и оптимизации мелиоративных решений.

Компания «StarcoStudio» является еще одним ярким примером успешного использования VR-технологий в обучении мелиоративным работам и другим отраслям. Это разработчик программного обеспечения и оборудования для виртуальной реальности, который занимается созданием продуктов, ориентированных на образование, профессиональную подготовку и исследования (рисунок 7).

Рисунок 7 - Компания «StarcoStudio»

Таким образом, использование VR-технологий в обучении мелиоративным работам активно развивается и находит применение как в академической среде, так и в коммерческих компаниях России и Белоруссии. Это свидетельствует о том, что потенциал VR-технологий для обучения и исследований в области мелиорации уже признан и активно используется на практике.

Результаты и обсуждение. В данном проекте реализован процесс создания VR-симулятора для обучения студентов мелиоративным работам с использованием оборудования, такого как каналоочиститель ОКН-0,5 и трактор МТЗ-1221 (рисунок 8).

Этот симулятор позволяет студентам и специалистам получить практический опыт работы с реальным оборудованием в виртуальной среде, что упрощает процесс обучения и повышает его эффективность.

Рисунок 8 - Каналоочиститель ОКН-0,5 и трактор МТЗ-1221

Для сканирования каналоочистителя ОКН-0,5 и трактора МТЗ-1221 были использованы передовые технологии и инструменты 3D-сканирования. Начало процесса заключалось в выборе подходящего оборудования и программного обеспечения для создания точных и детализированных 3D-моделей.

Первым этапом стало фотографирование объектов с разных ракурсов с использованием высококачественных камер. Это позволило получить достаточное количество изображений для последующей обработки. Важно учесть, что освещение и окружение играют важную роль в получении качественных фотографий, которые будут использованы для создания 3D-моделей. После этого был проведен этап обработки и анализа фотографий с использованием специализированных программ, таких как Agisoft Metashape и RealityCapture. Эти программы позволяют сопоставить и сопрягать множество фотографий, на основе которых строится облако точек, отражающее трехмерную геометрию объектов. Далее облако точек обрабатывалось с помощью программного обеспечения для 3D-моделирования – Blender. На данном этапе происходит создание полигональной сетки, оптимизация и удаление артефактов, а также добавление текстур. В результате получаются готовые 3D-модели каналоочистителя ОКН-0,5 и трактора МТЗ-1221 (рисунок 9).

Рисунок 9 - 3D-модель трактора

Затем эти 3D-модели были импортированы в среду разработки Unreal Engine 5, где на их основе создали виртуальную сцену для обучения студентов в VR. В Unreal Engine 5 проводится настройка материалов, освещения, а также добавление интерактивных элементов и задач, которые студенты должны будут выполнить в рамках обучающей программы.

Таким образом, процесс сканирования каналоочистителя ОКН-0,5 и трактора МТЗ-1221 включает в себя несколько этапов: съемка объектов, обработка и анализ фотографий, создание 3D-моделей и их импорт в среду разработки для создания виртуальной реальности.

Когда 3D-модели объектов были полностью готовы и размещены в сцене виртуальной реальности, началась разработка сценариев обучения, которые включали различные задачи и ситуации, возникающие при работе с каналоочистителем и трактором. Студенты смогут погрузиться в виртуальное пространство и пройти практическое обучение, испытывая себя в различных ситуациях, а также отрабатывать навыки в безопасной среде, где нет риска повреждения оборудования или опасности для здоровья.

В процессе обучения студенты могут использовать контроллеры VR для управления оборудованием, а также получать подсказки и обратную связь от системы, что обеспечивает эффективное и быстрое усвоение материала.

Для обеспечения эффективного взаимодействия студентов с виртуальным оборудованием, планируется создать интуитивный и простой пользовательский интерфейс, который включал в себя все необходимые элементы управления каналоочистителем ОКН-0,5 и трактором МТЗ-1221 (рисунок 10). Важным аспектом является обратная связь в процессе обучения, чтобы студенты могли оценить свои действия и корректировать их при необходимости.

Рисунок 10 - Система управления внутри кабины трактора МТЗ-1221.

Кроме того, планируется разработка системы отслеживания прогресса студентов, которая позволила бы преподавателям мониторить успехи и слабые стороны каждого ученика. Это позволит адаптировать обучение под индивидуальные потребности студентов и повысить эффективность обучения в целом.

При разработке виртуальной среды в Unreal Engine 5 мы также уделили внимание визуализации окружающего мира и звуковому сопровождению, чтобы создать максимально реалистичную и погружающую атмосферу. Таким образом, студенты привыкнут к условиям работы на месте мелиоративных работ и повысят уровень самоуверенности перед выполнением задач в реальной жизни.

Заключение. В процессе изучения ходе нашего проекта рассмотрена важность и актуальность применения симуляторов виртуальной реальности для обучения мелиоративным работам. Виртуальная реальность предоставляет студентам возможность получить практический опыт работы с оборудованием и технологиями мелиорации без риска для окружающей среды и самих участников образовательного процесса.

1. Проанализирован процесс создания таких симуляторов с использованием передовых программных инструментов, таких как Unreal Engine 5, Gaea, Blender, iClone и MetaHuman. Разработка симулятора включает создание 3D-моделей объектов, которые будут использоваться в обучении, настройку сцены, сценариев и интерактивных элементов.

2. В практической части приведен пример сканирования каналоочистителя ОКН-0,5 и трактора МТЗ-1221 с помощью современных технологий 3D-сканирования. Мы подробно рассмотрели этапы процесса, начиная от съемки объектов и обработки фотографий, до создания готовых 3D-моделей и их использования в среде разработки для создания обучающего контента виртуальной реальности.

3. В рамках планируемого соглашения о научно-техническом сотрудничестве между белорусской компанией «StarcoStudio» и РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, активно ведется разработка инновационного VR-продукта. Продукт предназначен для обучения студентов высших учебных заведений, специализирующихся в мелиоративных работах, а также для обучения в средних специальных учебных заведениях, где осуществляется подготовка рабочих профессий в области сельскохозяйственной техники, таких как трактористы-бульдозеристы.

В летний период на базе Полевой опытной станции планируется внедрение и тестирование продукта в учебном процессе и на практике. Применение виртуальной реальности в обучении мелиоративным работам имеет множество преимуществ, таких как безопасность, экономия ресурсов, возможность отработки навыков в реалистичной среде и адаптивность обучения.

Список источников

1. Балабанов В.И., Романенкова М.С. «Интернет вещей» в сельском хозяйстве. Доклады ТСХА. Выпуск 290. Часть II. 2018 – С.71-74.
2. Балабанов В.И. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. [Учебное пособие]. / В.И. Балабанов, С.В Железова, Е.В. Березовский, А.И. Беленков, В.В. Егоров. М.: Из-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. - 143 с.
3. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия: учеб. / В.И. Балабанов, В.Ф. Федоренко и др. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 240 с.
4. Балабанов В.И. Полевая стратегия. Внедрение инноваций в координатном земледелии. Агротехника и технологии. 2016. № 5. С. 50-53.
5. Шульга Е.Ф., Куприянов А.О., Хлюстов В.К., Балабанов В.И., Зейлигер А.М. Управление сельхозпредприятием с использованием космических средств навигации (ГЛОНАСС) и дистанционного зондирования Земли: Монография/Е.Ф. Шульга, А.О. Куприянов, В.К. Хлюстов, В.И. Балабанов, А.М. Зейлигер. М.: Изда -во РГАУ -МСХА, 2016. 286 с.
6. Александров А.И., Богданов Д.А. Виртуальная реальность и ее применение в образовании: современные подходы. - Москва: Издательство МГУ, 2022. - 112 с.
7. Волков В.П., Козлов С.Г. Технологии виртуальной реальности в профессиональном обучении: новые горизонты. - Санкт-Петербург: Политехника, 2022. - 184 с.
8. Горбунова А.С., Петров В.В. Применение технологий виртуальной реальности в инженерном образовании: перспективы и вызовы. - Москва: Издательство РУДН, 2022. - 128 с.
9. Денисова М.В., Лаптева Е.Н. Опыт применения технологий виртуальной реальности в обучении аграрных специальностей: инновационные подходы. - Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. - 150 с.
10. Егорова И.С., Фомичева О.Л. Виртуальная реальность в практике обучения мелиоративным работам: современные тенденции. - Москва: Издательство "Агропромиздат", 2022. - 92 с.

11. Жуков А.А., Смирнова Е.П. Создание симуляторов виртуальной реальности на платформе Unreal Engine для обучения студентов: методы и подходы. - Нижний Новгород: Издательство ННГУ, 2022. - 96 с.

12. Калашников Д.Ю., Сергеев П.А. Методы 3D-сканирования и их применение в инженерном образовании: новые возможности. - Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2022. - 104 с.

13. Лаврова М.А., Степанова О.В. Обучение студентов мелиоративным работам с использованием технологий виртуальной реальности: практический опыт. - Волгоград: Издательство ВолГУ, 2022. - 88 с.

14. Фролов С.И., Тарасов А.Н. Технологии 3D-моделирования и виртуальной реальности в современном образовании: интеграция и перспективы. - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. - 134 с.

15. Чернова Н.В., Киселев Д.А. Виртуальные симуляторы и их применение в обучении мелиоративным работам: от теории к практике. - Казань: Издательство Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева, 2022. - 102 с.

16. Шевцова И.А., Бородин В.А. Разработка и использование симуляторов виртуальной реальности для обучения студентов аграрных вузов. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2022. - 90 с.

17. Яковлева Е.В., Миронова О.Н. Внедрение технологий виртуальной реальности в обучение студентов в области мелиорации и водного хозяйства. - Самара: Издательство Самарского государственного аграрного университета, 2022. - 98 с.

18. Абрамов С.В., Горбунова А.С. Виртуальная реальность и ее применение в образовании. - Москва: Издательство МГУ, 2018. - 112 с.

19. Белозеров И.А., Захаров В.Н. Технологии виртуальной реальности в профессиональном обучении. - Санкт-Петербург: Политехника, 2019. - 184 с.

Воробьев В.П., Кириллов А.В. Применение технологий виртуальной реальности в инженерном образовании. - Москва: Издательство РУДН, 2018. - 128 с.

References

1. Balabanov V.I., Romanenkova M.S. "Internet of things" in agriculture. TSHA reports. Issue 290. Part II. 2018 - P.71-74.

2. Balabanov V.I. Navigation technologies in agriculture. coordinate farming. [Tutorial]. / IN AND. Balabanov, S.V. Zhelezova, E.V. Berezovsky, A.I. Belenkov, V.V. Egorov. M .: From the RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2013. - 143 p.

3. Technologies, equipment and equipment for coordinate (precision) agriculture: textbook. / IN AND. Balabanov, V.F. Fedorenko and others - M .: FGBNU "Rosinformagrotech", 2016. - 240 p.

4. Balabanov V.I. Field strategy. Implementation of innovations in coordinate farming. Agrotechnics and technologies. 2016. No. 5. S. 50-53.

5. Shulga E.F., Kupriyanov A.O., Khlyustov V.K., Balabanov V.I., Zeiliger A.M. Management of an agricultural enterprise using space navigation aids (GLONASS) and remote sensing of the Earth: Monograph / E.F. Shulga, A.O. Kupriyanov, V.K. Khlyustov, V.I. Balabanov, A.M. Zeiliger. M.: Publishing house of RGAU-MSHA, 2016. 286 p.

6. Alexandrov A.I., Bogdanov D.A. Virtual reality and its application in education: modern approaches. - Moscow: MSU Publishing House, 2022. - 112 p.

7. Volkov V.P., Kozlov S.G. Virtual reality technologies in vocational training: new horizons. - St. Petersburg: Polytechnic, 2022. - 184 p.

8. Gorbunova A.S., Petrov V.V. Application of virtual reality technologies in engineering education: prospects and challenges. - Moscow: RUDN University, 2022. - 128 p.

9. Denisova M.V., Lapteva E.N. Experience of using virtual reality technologies in teaching agricultural specialties: innovative approaches. - Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2022. - 150 p.

10. Egorova I.S., Fomicheva O.L. Virtual reality in the practice of teaching reclamation work: current trends. - Moscow: Agropromizdat Publishing House, 2022. - 92 p.

11. Zhukov A.A., Smirnova E.P. Creation of virtual reality simulators on the Unreal Engine platform for teaching students: methods and approaches. - Nizhny Novgorod: UNN Publishing House, 2022. - 96 p.

12. Kalashnikov D.Yu., Sergeev P.A. 3D scanning methods and their application in engineering education: new opportunities. - St. Petersburg: Baltic State Technical University "Voenmeh", 2022. - 104 p.

13. Lavrova M.A., Stepanova O.V. Teaching students about land reclamation using virtual reality technologies: practical experience. - Volgograd: VolGU Publishing House, 2022. - 88 p.

14. Frolov S.I., Tarasov A.N. 3D modeling and virtual reality technologies in modern education: integration and perspectives. - Moscow: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2022. - 134 p.

15. Chernova N.V., Kiselev D.A. Virtual simulators and their application in teaching land reclamation: from theory to practice. - Kazan: Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 2022. - 102 p.

16. Shevtsova I.A., Borodin V.A. Development and use of virtual reality simulators for teaching students of agricultural universities. - Rostov-on-Don: Southern Federal University Press, 2022. - 90 p.

17. Yakovleva E.V., Mironova O.N. Implementation of virtual reality technologies in teaching students in the field of land reclamation and water management. - Samara: Samara State Agrarian University Publishing House, 2022. - 98 p.

18. Abramov S.V., Gorbunova A.S. Virtual reality and its application in education. - Moscow: MGU Publishing House, 2018. - 112 p.

19. Belozerov I.A., Zakharov V.N. Virtual reality technologies in vocational training. - St. Petersburg: Polytechnic, 2019. - 184 p.

20. Vorobyov V.P., Kirillov A.V. Application of virtual reality technologies in engineering education. - Moscow: RUDN University, 2018. - 128 p.

Информация об авторах

М. А. Пятибрат – студент; В.И. Балабанов – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

M. Pyatibrat – student; V. Balabanov – Doctor of Technical Sciences, Professor.

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

Поступила в редакцию (Received): 05.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 07.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-131-142

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ

Лариса Геннадьевна Князева [1], Николай Алексеевич Курьято [2], Андрей Валерьевич Дорохов [3], Виктория Александровна Брыксина [4]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[4]Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державин, г. Тамбов, Россия
[1]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370
[2]dorokhov.andryusha@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[4]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310

Автор ответственный за переписку: Князева Лариса Геннадьевна, Knyazeva27@mail.ru
Corresponding author: Larisa Knyazeva, Knyazeva27@mail.ru

Реферат. *Для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования особенно актуально использование дешевых, экологически безопасных натуральных продуктов. Исследования проводили на образцах из углеродистой стали Ст3. Изучали покрытия из подсолнечного и рапсового масел и их отстоев; березового дегтя и его эмульсии, приготовленной с помощью гомогенизатора; отваров бифунгина, черного и зеленого чая, кофе, коры дуба, очисток картофеля и свеклы, кожуры апельсина и банана, лаврового листа, луковой шелухи, полевого меда, сахара, ягод смородины, сушеного чеснока, табака, черного и красного перца, приправы хмели-сунели, чистотела. Для оценки защитных свойств натуральных продуктов использовали гравиметрические исследования в термовлагокамере Г-4, в 0,5 М растворе растворе NaCl, в отварах натуральных продуктов. Установлено, что, рапсовое масло обеспечивает защитную эффективность, большую, чем подсолнечное на 14-15 % при испытаниях в 0,5 М растворе NaCl и на 5-9 % - в термовлагокамере Г-4. Нанесение растительных масел по влажной поверхности практически не влияет на их защитную эффективность, а нанесение по ржавой (предварительно окисленной в течении 1 месяца) приводит к существенному снижению защитной эффективности покрытий: на 33 и 42 % для подсолнечного и рапсового масел, на 23 и 40 % для их отстоев, соответственно. Отстои растительных масел полностью защищают стальную поверхность при испытаниях в солевом растворе в течение 3 месяцев, в термовлагокамере Г-4 в течение 40 суток, при натурно-стендовых испытаниях в течение года. В солевом растворе достаточно хорошо защищает стальную поверхность эмульсия из дегтя. Для эффективной защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии на непродолжительный срок можно рекомендовать экологически безопасные отвары распространенных натуральных продуктов, такие как лавровый лист, кофе черный, кожура апельсина, сушеный чеснок, черный молотый перец.*

Ключевые слова: *коррозия, защита, экологически безопасные натуральные продукты, растительные масла, деготь, отвары, гравиметрические испытания.*

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS FOR CORROSION PROTECTION

Larisa Knyazeva [1], Nikolay Kur`yato [2], Andrey Dorokhov [3], Viktoriya Bryksina [4]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia
[4]Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia
[1]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370

[3]dorokhov.andryusha@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[4]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310

Abstract. *The use of cheap, environmentally friendly natural products is especially important for the anti-corrosion protection of agricultural machinery and equipment. The studies were carried out on samples of carbon steel St3.Coatings from sunflower and rapeseed oils and their sediments; birch tar and its emulsion prepared with a homogenizer; decoctions of bifungin, black and green tea, coffee, oak bark, potato and beet peels, orange and banana peel, bay leaf, onion peel, field honey, sugar, currant berries, dried garlic, tobacco, black and red pepper, seasonings hops-suneli, celandine were studied. Gravimetric studies in a G-4 thermal moisture chamber, in a 0.5 M NaCl solution, in decoctions of natural products were used to assess the protective properties of natural products. in 0.5 M NaCl solution and 5-9% - in thermomoisture chamber G-4. The application of vegetable oils on a wet surface practically does not affect their protective effectiveness, and application on a rusty one (preliminarily oxidized for 1 month) leads to a significant decrease in the protective effectiveness of coatings: by 33 and 42% for sunflower and rapeseed oils, by 23 and 40% for their sludge, respectively. Sediments of vegetable oils completely protect the steel surface when tested in a saline solution for 3 months, in a G-4 thermal moisture chamber for 40 days, and in full-scale bench tests for a year. The tar emulsion protects the steel surface well enough in a saline solution. Ecologically safe decoctions of common natural products, such as bay leaf, black coffee, orange peel, dried garlic, ground black pepper can be recommended for effective protection of carbon steel from atmospheric corrosion for a short period.*

Keywords: *corrosion, protection, environmentally friendly natural products, vegetable oils, tar, decoctions, gravimetric tests.*

Для цитирования: Князева Л.Г., Курьято Н.А., Дорохов А.В., Брыксина В.А. Экологически безопасные продукты для защиты от коррозии // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 63, № 3. С. 131-142. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-131-142.

For citation: Knyazeva L., Kuryato N., Dorokhov A., Bryksina V.A. Environmentally friendly anti-corrosion products // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 63(3): 131-142. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-131-142.

Введение. Для защиты от коррозии в древние времена люди использовали натуральные продукты, с течением времени стали отходить от этой практики в сторону более эффективных, но не экологичных продуктов химической промышленности. Но в связи с непростой экологической обстановкой стала вновь актуальна «Зеленая химия», где для решения различных проблем используются природные компоненты.

Металлические земледельческие орудия появились в глубокой древности. Уже в первом тысячелетии до н.э. из бронзы делали прототипы плуга и серпа. С началом производства железа на орудиях стали использовать металлические наконечники. В V веке до н.э. в Греции появился примитивный плуг с железным лемехом, в XI-XIII веках появился тяжелый плуг с железным отвалом, железный топор, подковы и т.д. Лопата, мотыга, кирка, серп, коса, тяпка, кетмень, соха, цеп, вилы, грабли, примитивная жатка могли быть изготовлены сельскими кузнецами, решето, телега – сельскими кустарями. В давние времена проблему защиты металлов от коррозии решали с помощью сала или любого другого животного жира и растительных масел. Эти продукты быстро восполняемы, доступны, не токсичны и биологически легко расщепляемы [1]. Георг Агрикола в XV для борьбы с ржавчиной предлагал использовать покрытия из гипса, битума и смолы [2]. В XIII-XV вв. для защиты корпусов морских судов от обрастания и коррозии применяли деготь, иногда его смесь с маслом, смолой или каучуком [3]. Большой венецианский флот для защиты корпусов использовал деготь. Во времена походов Васко де Гама (1469-1524 гг.) португальцы покрывали внешний корпус судна смесью смолы и серы, слоем толщиной несколько дюймов.

В позднем Средневековье для защиты металлических частей доспехов и оружия занимались воронением (просмаливанием с последующим обжигом) стали [4]. Для замедления коррозионных разрушений поверхностей из углеродистой стали в сельскохозяйственной технике и оборудовании

в современности широко используют ингибиторную защиту [5-10]. Многие из известных неорганических ингибиторов коррозии (ИК) стали, таких как хроматы, нитриты, соли ртути и т. д.) обладают достаточно высокой токсичностью и даже запрещены из-за высокого загрязнения окружающей среды. Разработан целый ряд органических ИК таких, как производные жирные кислот и амидов, аминов, пиридинов, имидазолинов и других 1,3-азолов с отличными защитными свойствами, которые также достаточно токсичны и не дешевы. Поэтому актуален поиск новых экологически безопасных, доступных ингибиторов коррозии природного происхождения. Он активно ведется уже в течение нескольких последних десятилетий. В начале XX века были получены патенты на использование растительных материалов в травлении металлов, таких как крахмал, смолы и масла, измельченный жмых, животные белки (отходы мясной и молочной промышленности), пивные дрожжи и др.

В 30-х годах в качестве травильных присадок начали использовать различные вещества, содержащиеся в растениях, применяя для этого, например, высушенные стебли и листья чистотела [11], известны «травильные супы» уральских оружейников — растворы серной кислоты с отрубями [12]. Появились такие народные средства борьбы с ржавчиной, как пищевая и каустическая сода, хозяйственное мыло и сырой картофель, рыбий жир, парафин, лимонный сок [13]. Позднее даже предлагали использовать кетчуп и кока-колу.

Во второй половине XX века в промышленных масштабах для защиты металлов в качестве ингибиторов коррозии начали использовать экстракты растений. Экстракты растений считаются невероятно богатым источником синтезированных естественным путем смесей ингибиторов - химических соединений, которые можно извлечь с помощью простых и недорогих процедур. Однако, при их использовании, наряду с ожидаемыми синергетическими, могут быть и антагонистические эффекты, которые могут оказать влияние на эффективность их ингибирования. Растительные экстракты, содержащие определенные органические молекулы, можно рассматривать в качестве альтернативы традиционным ИК. Натуральные экстракты растений обычно, действуют как смешанные ингибиторы коррозии [14].

В работе [14] изучали влияние конского каштана на коррозию стали Ст3 в воде. В состав водных экстрактах входят флавоноиды, каротиноиды, углеводы (гексозы и пентозы) и продукты их поликонденсации и распада (уроновые кислоты, геммицеллюлозы, фурфурол и др.), гликозид эскулин и тритерпенсапонины (эсцин), а также дубильные вещества (таннины), азот, причем на соотношение компонентов в вытяжке влияют степень измельченности исходного продукта, температура и время экстрагирования. Предполагается, что рыхлая пленка, формирующаяся на поверхности образца к 48 часам испытаний, включает, наряду с оксидами и гидроксидами железа, комплексы Fe(II). На рост защитных свойств влияет образование хингидронов в результате окисления таннидов, что сопровождается потемнением раствора и снижении его pH. Предполагается, что ингибирование коррозии стали в воде водными экстрактами включает адсорбцию ИК с параллельной ионизацией железа до Fe(II).

В работе [15] исследовано влияние экстрактов растений ромашки (Chamaemelum mixtum L.), полубара (Cymbopogon proximus), черного тмина (Nigella sativa L.) и фасоли обыкновенной (Phaseolus vulgaris L.) на коррозию стали в 1М водном растворе H_2SO_4 методами электрохимической импедансной спектроскопии, которая показала, что процесс растворения стали происходит под активационным контролем. По потенциодинамическим поляризационным кривым исследуемые растительные экстракты ведут себя в сернокислых средах как эффективные ИК стали смешанного типа. Установлено, что ингибирование возрастает с увеличением концентрации растительного экстракта до некоторой критической концентрации и основано на адсорбции стабильного комплекса на поверхности стали.

Ингибирование коррозии стали, алюминия и меди в соляной, серной и лимонной кислоте с помощью патоки было изучено в [16]. Защитная эффективность для растворов HCl и H_2SO_4, содержащих 0,75% мелассы составила 83% и 13%, соответственно. Лото сообщил об ингибирующем действии Vernonia amygdalina (горький лист) на коррозию мягкой стали в 0,5 М HCl при 28 °C [15]. В [17] в качестве ИК углеродистой стали были изучены семена пажитника, люпина, плодов дум-пальмы, баклажана и др., а в работе [18] - такие встречающиеся в природе химические вещества, как катехин, кофейная кислота, галловая кислота и дубильная кислота, В

работе [19] использовали растительные отходы чистотела, алтея лекарственного, тысячелистника и др. В работе [20] в качестве ингибиторов кислотной коррозии предлагается использовать листья алоэ вера, кожуру апельсина или авокадо, экстракт опунции, табак, семена клещевины, черный перец аравийскую камедь, лигнин, кориандр, гибискус, анис, черный тмин, мед, лук, чеснок, горькую тыкву и др.

Использование натуральных продуктов в качестве ИК перспективно (экономично и экологично), потому что они биоразлагаемы, не представляют опасности для здоровья и являются возможным решением для переработки некоторых отходов агропроизводства.

Целью данной работы было изучение защитных свойств некоторых натуральных продуктов.

Материалы и методы

Исследования проводили на образцах из углеродистой стали Ст3. Изучали покрытия из подсолнечного и рапсового масел и их отстоев, нанесенных с помощью кисти; березового дегтя и его эмульсии (3 масс.% дегтя в дистиллированной воде), приготовленной с помощью гомогенизатора; отваров (3 г натурального продукта в 100 мл дистиллированной воды доводили до кипения и кипятили в течение 10 минут) бифунгина, черного и зеленого чая, кофе, коры дуба, очисток картофеля и свеклы, кожуры апельсина и банана, лаврового листа, луковой шелухи, полевого меда, сахара, ягод смородины, сушеного чеснока, табака, черного и красного перца, приправы хмели-сунели, чистотела.

Кинематическую вязкость растительных масел определяли с помощью стеклянного вискозиметра по ГОСТ 33768— 2015, плотность оценивали весовым методом.

Для оценки защитных свойств натуральных продуктов использовали гравиметрические исследования в термовлагокамере Г-4 в соответствии с ГОСТ 9.054-75 и в 0,5 М растворе растворе NaCl в соответствии с ГОСТ 9.042-75 и непосредственно в отварах растительных продуктов.

Результаты и обсуждение

Растительные масла имеют в своем составе триглицериды жирных кислот (≥ 95 %), небольшое количество свободных жирных кислот, фосфолипидов, стеринов, витаминов, красящих и слизистых веществ [21]. При сравнении составов подсолнечного и рапсового масел установили, что помимо различий в процентном составе различных кислотных остатков в триглицеридах, в рапсовом масле появляются кислотные остатки маргариновой, гептадеценовой, эруковой, лигноцериновой и нервоновой кислот, которые отсутствуют в триглицеридах подсолнечного масла.

Исследование влияния температуры на плотность подсолнечного и рапсового масел привели к получению линейной зависимости (рисунок 1) в диапазоне 20 -90 ^{0}С:

$$\rho_t = \rho_{20} - k_{\rho м} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где ρ_t – плотность масла при температуре t °С, кг/м^3; ρ_{20} – то же при температуре 20 °С, кг/м^3; k – температурный коэффициент изменения плотности, $\Delta t = (t - 20)$ – перепад температур, °С. Было определено, что для рапсового масла k = 0,716 кг/м^3·°С; для подсолнечного k = 0,727 кг/м^3·°С; Среднеквадратичное отклонение значений $\rho_{tм}$ от экспериментальных при этом не превышало ± 3,5 %.

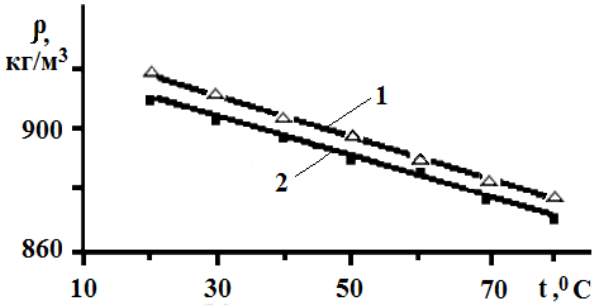


Рисунок 1 - Влияние температуры на плотность рапсового (1) и подсолнечного (2) масел

Кинематическая вязкость исследуемых растительных масел падает с ростом температуры, как показывают вязкостно-температурные кривые на рисунке 2. На зависимостях в полулогарифмических координатах наблюдаются изломы в области температур 60 – 70 ^{0}С.

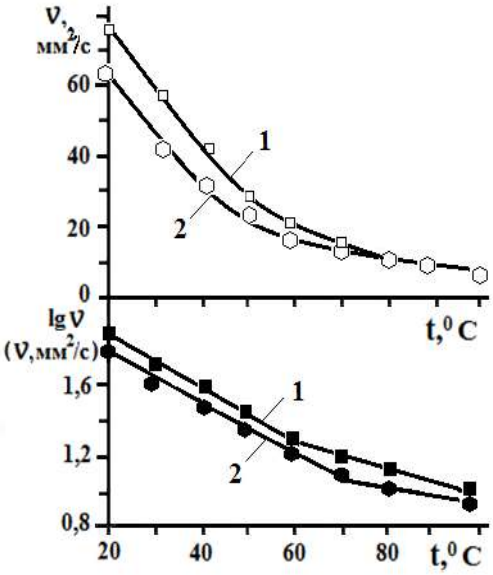


Рисунок 2 – Вязкостно-температурные кривые рапсового (1) и подсолнечного масел (2)

Из-за отсутствия в растительных маслах функциональных присадок можно предположить, что происходит их автоструктурирование в определенной области температур, в результате чего скачкообразно меняется характер зависимости *lgν =f (T)*. Этому способствует увеличение длины углеводородного радикала алканов, молекулы которых не способны ассоциировать за счет водородных связей. Учитывая многокомпонентный состав растительных масел, кажущееся автоструктурирование можно объяснить вкладом составляющих Ван-дер-Ваальсова взаимодействия (ориентационного, индукционного, дисперсионного) и образования водородных связей между полярными группами свободных карбоновых кислот, форсфолипидов, ацил-глицеридов и пр.

Некоторые результаты исследования защитных свойств растительных масел и их отстоев (ОПМ и ОРМ) при ускоренных коррозионных испытаниях в солевом растворе и термовлагокамере Г-4 показаны в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты ускоренных коррозионных испытаний масляных покрытий

№ пп	Покрытие	Толщина покрытия, мкм	0,5 М NaCl			Термовлагокамера Г-4	
			Защитная эффективность (%) на поверхности стали				
			сухая	влажная	ржавая	сухая	влажная
1	Подсолнечное масло	18	55	53	22	86	88
2	ОПМ	50	~100	~100	77	~100	~100
3	Рапсовое масло	17	70	69	28	95	93
4	ОРМ	51	~100	~100	60	~100	~100
Примечания - Скорость коррозии стали Ст3 без покрытия в термовлагокамере Г-4 0,012 г/м^2·ч, в 0,5М растворе NaCl – 0,015 г/м^2·ч. Продолжительность испытаний в термовлагокамере 40 сут., в 0,5 М растворе NaCl - 14 сут.							

Рапсовое масло обеспечивает защитную эффективность, большую, чем подсолнечное на 14-15 % при испытаниях в 0,5 М растворе NaCl и на 5-9 % - в термовлагокамере Г-4. Нанесение

растительных масел по влажной поверхности, что возможно на практике при проведении консервации сельскохозяйственной техники в осенний период, мало сказывается на изменении их защитной эффективности при ускоренных коррозионных испытаниях, потому что они проводятся либо в водном растворе, либо при непрерывной консервации влаги. А нанесение по ржавой (предварительно окисленной в течении 1 месяца) приводит к существенному снижению защитной эффективности (Z) покрытий: на 33 и 42 % для подсолнечного и рапсового масел, на 23 и 40 % для их отстоев соответственно. Отстои растительных масел полностью защищают стальную поверхность при испытаниях в солевом растворе в течение 14 суток и в термовлагокамере Г-4 в течение 40 суток (таблица 1). Более длительные испытания в солевом растворе показали, что ОПМ и ОРМ полностью защищают стальную поверхность в течение 3 месяцев (таблица 2), затем защитная эффективность начинает медленно снижаться.

Таблица 2 - Результаты ускоренных коррозионных испытаний в 0,5 М растворе NaCl

Покрытие	Скорость коррозии (К) и защитная эффективность (Z, %) при времени выдержки, сутки											
	14		30		60		90		120		160	
	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$ г/м^{2}ч	Z, %	$К·10^3$, г/м^{2}ч	Z, %
ОПМ	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	1,0	98	6	90
ОРМ	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	~ 0	100	1,5	97	6,6	89
Контроль	15		18		23		37		50		60	

Следует отметить, что скорость коррозии контрольных образцов стали без покрытия, растет с течением времени. Когда скорость коррозии контрольного образца через 160 суток увеличилась в 4 раза, защитная эффективность отстоев снизилась на 10 -11 %.

При натурно-стендовых испытаниях стальные пластины, покрытые исследуемыми растительными маслами и их отстоями, в течении полугода не покрывались продуктами коррозии при испытаниях в закрытом неотапливаемом помещении, но к концу года защитная эффективность покрытий составила 85 и 90 % для подсолнечного и рапсового масел, соответственно (таблица 3), отстои растительных масел по-прежнему полностью (Z ≈ 100%)защищали стальную поверхность.

Таблица 3 - Результаты натурно-стендовых испытаний масляных покрытий

Покрытие	Изменение защитной эффективности (Z, %) во времени, месяцев							
	1	3	6	12	1	3	6	12
	Неотапливаемое помещение				Открытая атмосфера			
Подсолнечное масло	100	100	100	85	69	38	27	15
ОПМ	100	100	100	100	100	100	100	100
Рапсовое масло	100	100	100	90	71	45	33	25
ОРМ	100	100	100	100	100	100	100	100
Примечания - Скорость коррозии (К) незащищенной стали ($К·10^3$), г/м^{2}ч: для открытой атмосферы $К_3$ -10; $К_6$ - 9,5; $К_{12}$ -10,2; для неотапливаемого помещения $К_3$ - 1,6; $К_6$ – 1,5; $К_{12}$ – 2,0. Индекс - длительность испытаний, месяцев								

При выдержке в открытой атмосфере покрытия из растительных масел разрушались быстрее. Уже через месяц испытаний стальные образцы покрылись ржавчиной, а покрытия на четверть потеряли свою защитную эффективность (таблица 3), через полгода защитная эффективность составляла 27 и 33 %, а через год - 15 и 25 %, для покрытий из подсолнечного и рапсового масел, соответственно. Большая часть поверхности стальных образцов к тому времени была покрыта ржавчиной. Возможно, низкая защитная эффективность растительных масел в открытой атмосфере связана с активным смывом покрытий атмосферными осадками, соответственно, недостаточно высокими адгезионными свойствами, особенно при высоких температурах. Зато

отстои растительных масел полностью защищают стальные поверхности в течение года. (таблица 3).

Как указывалось выше, перспективным натуральным продуктом для защиты от коррозии может оказаться березовый деготь, в состав которого входят гваякол, бетулин, толуол, ксилол, бензол, фенол, смолистые вещества, фитонциды и органические кислоты. Гравиметрические исследования этого продукта в 0,5 М растворе NaCl в течении 14 суток показали, что эмульсия на основе дегтя обладает лучшей защитной эффективностью, чем сам деготь (таблица 4).

Таблица 4 – Защитная эффективность композиций на основе дегтя

№ п/п	Покрытие	К, г/м^2·ч	Z, %
1	Без покрытия	0,046	-
2	Дёготь как покрытие	0,019	59
3	Эмульсия на основе дёгтя	0,008	83

Гравиметрические исследования показали, что скорости коррозии стали Ст3 в воде могут отличаться в зависимости от ее качества. Наибольшие скорости коррозии наблюдали для водопроводной воды, в дистиллированной и кипяченой воде при комнатной температуре скорости коррозии на 4-5 % меньше (таблица 5).

Таблица 5 – Скорость коррозии стальных пластин в воде

Вода	кипяченая	водопроводная	дистиллированная
Скорость коррозии, г/м^{2}ч	0,0343	0,0360	0,0340

В таблице 6 показаны результаты действия отваров (скорость коррозии (К) и защитная эффективность (Z)) на углеродистую сталь, а на рисунке 3 приведены фотографии внешнего вида некоторых образцов стали Ст3 после двухнедельной выдержки в отварах природных веществ. Следует отметить, что по внешнему виду стальных образцов не всегда можно судить количественно о защитных свойствах отваров, в которых выдерживали эти образцы.

Ожидаемо стимулирует коррозию водный раствор соли. Не защищают сталь отвары картофельных очисток, кожуры банана, бефунгина (высушенный гриб «чага»), полевого меда и чистотела. Во всех остальных отварах исследуемых природных соединениях есть белки, жиры и углеводы. У зеленого и черного чая состав отличается только количеством танинов и наличием в черном чае теофлавонов, поэтому их защитные свойства близки, хотя и достаточно слабые (Z=3-4 %).

Почти все вещества, имеющие в составе дубильные вещества, кроме полевого меда, обладают защитной эффективностью, причем более существенной, чем чаи. Если у хмели-сунели и коры дуба Z=27 %, то у черного кофе Z=51 %, а у отвара лаврового листа наилучшая защитная эффективность Z=70 %.

Таблица 6 - Скорость коррозии Ст3 после гравиметрических исследований в отварах

Отвар с природными веществами		Компоненты природного вещества	К г/м^{2}ч	Z, %
Вода	кипяченая		0,0343	
	водопроводная		0,0360	
	дистиллированная		0,0340	
Бефунгин		полисахариды, органические кислоты, гуминоподобная чаговая кислота, микроэлементы	0,0614	С
Чай	зеленый	танины, алкалоиды, аминокислоты, витамин С	0,0326	4
	черный	дубильные вещества (танины), алкалоиды, аминокислоты, витамин С, теофлавоны	0,0330	3

Кофе черный	кофейные масла, дубильные вещества, минералы, витамины	0,0167	51
Кора дуба (аптечная)	дубильные вещества, резорцин, пирогаллол, кислота галловая; флавоноиды; тритерпеновые соединения даммаранового ряда	0,0248	27
Картофельные очистки	крахмал, глюкоза, органические кислоты, жиры, минеральные соли	0,0714	С
Кожура апельсина	флавоноиды, пищевые волокна, лимонная и пектиновая кислоты, витамины, микроэлементы	0,0180	47
Кожура банана	крахмал, глюкоза, клетчатка, жиры, белки, минеральные вещества	0,0680	С
Лавровый лист	углеводы, эфирные (лавровое) масла, пищевые волокна, витамины микро- и макроэлементы, дубильные вещества, смолы, горечи	0,0102	70
Луковая шелуха	углеводы, жиры, витамины, микроэлементы, аминокислоты	0,0275	19
Полевой мед	углеводы (глюкоза), фруктоза, аминокислоты, флавоноиды, дубильные вещества, алкалоиды, ароматические кислоты	0,0580	С
Сахар	углеводы	0,0306	10
Свекла	глюкоза; щавелевая, яблочная, лимонная, аскорбиновая кислоты, пектины, белок, бетаин, каротин, витамины, микроэлементы	0,0299	12
Смородина замороженная	углеводы, белки, жиры, аскорбиновая кислота	0,0373	10
Соль	NaCl	0,1500	С
Сушеный чеснок	углеводы, белки, жиры, аллиин	0,0187	45
Табак из сигареты «Bond»	алкалоид, никотин, смолы, мочевина, ПВХ, стирол, толуол, цианистый водород, аммиак, мышьяк, акролеин, Ni, Cd, Po	0,0221	35
Хмели-сунели (смесь из 6 пряностей: базилик, майоран, острый красный перец, кориандр, шафран, укроп)	белки, жиры, углеводы, эфирные масла, бетулиновая кислота, флавоноиды, каротин, рутин, пектин, витамин С, пентозаны, дубильные вещества, алкалоиды, клетчатка, ненасыщенные жирные кислоты, смолы, витамины и минералы	0,0248	27
Черный молотый перец	крахмал, витамины, пиперин, пиперидин, клетчатка, смолы	0,0190	44
Паприка	белки, жиры, углеводы, витамины, минералы, эфирное масло	0,0373	10
Чистотел	алкалоиды, производные изохинолина, сапонины, эфирные масла, флавоноиды	0,0400	С

*С - стимулирование коррозии

Рисунок 3 - Фотографии внешнего вида образцов стали Ст3 после эксперимента в отварах природных веществ

Защитной эффективностью обладают также отвары всех природных веществ, в состав которых входят смолы (лавровый лист, хмели-сунели и табак), Z = 35%. Сахар, свекла, смородина черная, паприка обеспечивают Z = 10 -12%.

Заключение. Таким образом, рапсовое масло обеспечивает защитную эффективность, большую, чем подсолнечное на 14-15 % при испытаниях в 0,5 М растворе NaCl и на 5-9 % - в термовлагокамере Г-4. Нанесение растительных масел по влажной поверхности практически не влияет на их защитную эффективность, а нанесение по ржавой (предварительно окисленной в течении 1 месяца) приводит к существенному снижению защитной эффективности покрытий: на 33 и 42 % для подсолнечного и рапсового масел, на 23 и 40 % для их отстоев соответственно. Отстои растительных масел полностью защищают стальную поверхность при испытаниях в солевом растворе в течение 3 месяцев, в термовлагокамере Г-4 в течение 40 суток, при натурно-стендовых испытаниях в течение года. В солевом растворе достаточно хорошо защищает стальную поверхность эмульсия из дегтя. Для эффективной защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии на непродолжительный срок можно рекомендовать экологически безопасные отвары распространенных натуральных продуктов, такие как лавровый лист, кофе черный, кожура апельсина, сушеный чеснок, черный молотый перец.

Список источников

1. Щербаков В. Г. Технология получения растительных масел. М.: Колос, 1992. 206 с
2. История развития катодной защиты от коррозии. http://mypractic.ru/istoriya-razvitiya-katodnoj-zashhity-ot-korrozii.html. Дата обращения 5.05.2023.
3. История создания судовых покрытий https://sea-man.org/sudovye-pokrytia.html. Дата обращения 5.05.2023.
4. Краткая история воронения. https://voroneniestali.ru/istoriya-voroneniya-oruzhiya Дата обращения 5.05.2023.
5. Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Е. Ингибиторы коррозии (обзор)// Авиационные материалы и технологии.2015. №2.- С.67-75. DOI;10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75.
6. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Князева Л.Г., Зазуля А. Н. Защита металлов от атмосферной коррозии масляными покрытиями (теория, практика, экологические аспекты). Москва: Издательство «КАРТЭК», 2014. – 232 с.
7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. Т. 55. № 4. С. 412-423.
8. . Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В. Технологические решения по консервации сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами//Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. № 2. С. 61-65.
9. Вигдорович В.И., Князева Л.Г., Зазуля А.Н., Кузнецова Е.Г., Андреев Н.Н., Урядников А.А., Дорохов А.В. Использование летучего ингибитора ИФХАН-118 для защиты сельскохозяйственного оборудования от атмосферной коррозии//Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 1. С. 65-68.
10. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A. Protection of Carbon Steel against Atmospheric Corrosion by Volatile Inhibitors of IFKHAN Series at High Concentrations of CO_2, H_2S and NH_3//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. Т. 7. № 2. С. 175-184.
11. Паршутин В.В., Шолтоян Н.С., Сидельникова С.П., Коваль А.В., Булхак И.И, Болога О.А., Шофранский В.Н. Влияние водного экстракта плодов конского каштана на коррозию стали Ст. 3 в воде//’Электронная обработка металлов.2011.-47(3)-С.90-99.
12. https://master-azov.ru/metally/faktory-korrozii-2.html Дата обращения 5.05.2023.
13. https://remstroiblog.ru/julia/2020/09/11/33-sposoba-kak-izbavitsya-ot-rzhavchiny-v-domashnih-usloviyah/ Дата обращения 5.05.2023
14. Mohammad Ramezanzadeh, Ghasem Bahlakeh, Zahra Sanaei, Bahram Ramezanzadeh Studying the Urtica dioica leaves extract inhibition effect on the mild steel corrosion in 1 M HCl solution: Complementary experimental, ab initio quantum mechanics, Monte Carlo and molecular dynamics studies // Journal of Molecular Liquids. – 2018. – Vol. 218. – P. 120–136.
15. Abdel-Gaber A.M., Abd-El-Nabey B.A., Sidahmed I.M., El-Zayady A.M., Saadawy M. Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media// Corrosion science.2006.V.48.N.9.-P. 2765-2779.
16. Fiori-Bimbi María V., Alvarez Patricia E., Vaca Hugo, Gervasi Claudio A. Corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by pectin// Corrosion Science, Volume 92, 2015, pp. 192-199
17. Saleh R.M., Ismail A.A., Hosary A.A. Corrosion inhibition by naturally occurring substances: The effect of fenugreek lupine, doum beet and solanum melongena extracts on the corrosion of steel, Al, Zn and Cu in acids. Corros. Prev. and Contr. 1984, 31(1), 21–23.
18. Kumar H, Yadav V. Highly efficient and eco-friendly acid corrosion inhibitor for mild steel: Experimental and theoretical study // Journal of Molecular Liquids. – 2021. – Vol. 335. – P. 116.
19. Жаксыбаева А.Г. Растительные отходы в качестве ингибитора коррозии металлов//актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014 file:///C:/Users/user/Downloads/rastitelnye-othody-v-kachestve-ingibitora-korrozii-metallov.pdf. Дата обращения 10.05.2023

20. Лапцевич М.Д. Природные ингибиторы коррозии металлов. https://files.school-science.ru/pdf/18/63fc634792432.pdf. Дата обращения 10.05.2023

21. Князева Л. Г., Прохоренков В. Д. Растительные масла для противокоррозионной защиты. // Практика противокоррозионной защиты. 2009. № 2 (52). С. 22 – 27.

References

1. Shcherbakov VG Technology of obtaining vegetable oils. M.: Kolos, 1992. 206 p.

2. History of the development of cathodic corrosion protection. http://mypractic.ru/istoriya-razvitiya-katodnoj-zashhity-ot-korrozii.html. Retrieved 05/05/2023.

3. History of the creation of ship coatings https://sea-man.org/sudovye-pokrytia.html. Date of circulation 05/05/2023.

4. Brief history of bluing. https://voroneniestali.ru/istoriya-voroneniya-oruzhiya Retrieved 05/05/2023.

5. Kozlova L.S., Sibileva S.V., Chesnokov D.V., Kutyrev A.E. Corrosion inhibitors (review) // Aviation materials and technologies. 2015. No. 2.- P.67-75. DOI;10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75.

6. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Zazulya A.N. Protection of metals from atmospheric corrosion by oil coatings (theory, practice, environmental aspects). Moscow: Publishing house "KARTEK", 2014. - 232 p.

7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. V. 55. No. 4. S. 412-423.

8. . Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V. Technological solutions for the conservation of agricultural machinery with used motor oils // Proceedings of GOSNITI. 2013. V. 112. No. 2. S. 61-65.

9. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Kuznetsova E.G., Andreev N.N., Uryadnikov A.A., Dorokhov A.V. The use of the IFKhAN-118 volatile inhibitor to protect agricultural equipment from atmospheric corrosion // Russian Agricultural Science. 2016. No. 1. P. 65-68.

10. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A. Protection of Carbon Steel against Atmospheric Corrosion by Volatile Inhibitors of IFKHAN Series at High Concentrations of CO2, H2S and NH3//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. V. 7. No. 2. S. 175-184.

11. V. V. Parshutin, N. S. Sholtoyan, S. P. Sidel'nikova, A. V. Koval', I. I. Bulkhak, O. A. Bologa, and V. N. Shofranskii, Russ. Influence of aqueous extract of horse chestnut fruit on corrosion of steel Art. 3 in water // 'Electronic processing of metals. 2011.-47 (3) - P. 90-99.

12. https://master-azov.ru/metally/faktory-korrozii-2.html Retrieved 05/05/2023.

13. https://remstroiblog.ru/julia/2020/09/11/33-sposoba-kak-izbavitsya-ot-rzhavchiny-v-domashnih-usloviyah/ Accessed 5.05.2023

14. Mohammad Ramezanzadeh, Ghasem Bahlakeh, Zahra Sanaei, Bahram Ramezanzadeh Stud-ying the Urtica dioica leaves extract inhibition effect on the mild steel corrosion in 1 M HCl solution: Complementary experimental, ab initio quantum mechanics, Monte Carlo and molecular dynamics studies // Journal of Molecular Liquids. - 2018. - Vol. 218. - P. 120-136.

15. Abdel-Gaber A.M., Abd-El-Nabey B.A., Sidahmed I.M., El-Zayady A.M., Saadawy M. Inhib-itive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media//Corrosion sci-ence.2006. V.48.N.9.-P. 2765-2779.

16. Fiori-Bimbi María V., Alvarez Patricia E., Vaca Hugo, Gervasi Claudio A. Corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by pectin// Corrosion Science, Volume 92, 2015, pp. 192-199

17. Saleh R.M., Ismail A.A., Hosary A.A. Corrosion inhibition by naturally occurring substances: The effect of fenugreek lupine, doum beet and solanum melongena extracts on the corrosion of steel, Al, Zn and Cu in acids. corros. Prev. and Contr. 1984, 31(1), 21–23.

18. Kumar H, Yadav V. Highly efficient and eco-friendly acid corrosion inhibitor for mild steel: Ex-perimental and theoretical study // Journal of Molecular Liquids. - 2021. - Vol. 335. – P. 116.

19. Zhaksybaeva A.G. Plant waste as a metal corrosion inhibitor // Actual problems of the humanities and natural sciences. 2014 file:///C:/Users/user/Downloads/rastitelnye-othody-v-kachestve-ingibitora-korrozii-metallov.pdf. Retrieved 10.05.2023

20. Laptsevich M.D. Natural corrosion inhibitors of metals. https://files.school-science.ru/pdf/18/63fc634792432.pdf Retrieved 10.05.2023

21. Knyazeva L. G., Prokhorenkov V. D. Vegetable oils for anti-corrosion protection. // Practice of anti-corrosion protection. 2009. No. 2 (52). pp. 22 – 27.

Информация об авторах

Л.Г. Князева – доктор химических наук, доцент; А.В. Дорохов - кандидат химических наук; Н.А. Курьято – младший научный сотрудник; В.А. Брыксина - аспирант.

Information about the authors

L. Knyazeva – Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor; A. Dorokhov - Candidate of Chemical Sciences; N. Curiato - junior researcher; V. Bryksina - postgraduate student.

Вклад авторов: Л.Г. Князева – обзор литературы, формулировка цели и выводов, обработка и анализ результатов исследований; А.В. Дорохов, Н.А. Курьято, В.А. Брыксина – проведение экспериментальных исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: L. Knyazeva - literature review, formulation of the goal and conclusions, processing and analysis of research results; A. Dorokhov, N. Kur`yato, V. Bryksina – conducting experimental studies.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 01.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 662.75, 543.06
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-143-152

ЭКСПРЕСС-СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Светлана Валерьевна Романцова [1]***, Ирина Владимировна Гладышева*** [2]***,***
Наталья Владимировна Вервекина [3]***, Станислав Александрович Нагорнов*** [4]***,***
Анна Павловна Ликсутина [5]
[1,2,3] *Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия*
[1]svromantsova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5363-1645
[2]gladysheva_irina78@mail.ru, https://orcid.org/0009-0002-5318-9110
[3]vervekinanv@mail.ru, https://orcid.org/0009-0001-2627-5382
[4,5]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[4]snagornov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0322-3622
[5]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Автор ответственный за переписку: Светлана Валерьевна Романцова, svromantsova@yandex.ru
Corresponding author: Svetlana Romantsova, svromantsova@yandex.ru

Реферат. *Добавкой к дизельному топливу, используемому в сельскохозяйственном производстве для повышения цетанового числа и улучшения смазывающих свойств, может быть биодизельное топливо (БТ). Нормативные документы разрешают добавление к нефтяному топливу 7% БТ. Разрабатывали экспресс-метод, позволяющий потребителю быстро определять его наличие. Впервые исследована возможность определения БТ в смеси с нефтяным методом тонкослойной хроматографии (ТСХ). Для исследования были синтезированы образцы БТ, полученные переэтерификацией рапсового, подсолнечного, льняного, кукурузного, редькового и рыжикового масел. Для подбора элюента впервые исследована растворимость БТ в ряде органических растворителей. Установлено, что биодизельное топливо хорошо растворимо не только в неполярных углеводородах (бензол, толуол, октан, петролейный эфир), но и в хлороформе и одноатомных спиртах нормального и разветвлённого строения (пропиловый, бутиловый, изобутиловый, изоамиловый). В растворителях с большей диэлектрической проницаемостью (например, ацетон, глицерин) биодизельное топливо нерастворимо. Те же растворители исследовали в качестве элюентов для разделения нефтяного топлива и биодизельного топлива методом тонкослойной хроматографии. Показано, что в качестве элюента спирты, хлороформ и ацетон не подходят; но можно использовать толуол. Значения коэффициента подвижности Rf для основного пятна нефтяного топлива составляет 0,86, для биодизельного топлива 0,6 (элюент – толуол). Установлено, что с помощью ТСХ (элюент толуол) можно определять наличие биодизельного топлива, синтезированного из различных видов масел. Так же в качестве элюента для проведения анализа в полевых условиях можно рекомендовать петролейный эфир. Метод ТСХ можно использовать для обнаружения присутствия БТ в концентрациях от 2% и выше.*

Ключевые слова: *биодизельное топливо, растворимость, тонкослойная хроматография.*

EXPRESS METHOD FOR DETERMINATION OF BIODIESEL FUEL IN MIXED FUEL BY THIN LAYER CHROMATOGRAPHY

Svetlana Romantsova [1]***, Irina Gladysheva*** [2]***, Natalia Vervekina*** [3]***, Stanislav Nagornov*** [4]***,***
Anna Lixutina [5]
[1,2,3] *Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia*

[1]svromantsova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5363-1645
[2]gladysheva_irina78@mail.ru, https://orcid.org/0009-0002-5318-9110
[3]vervekinanv@mail.ru, https://orcid.org/0009-0001-2627-5382
[4,5]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[4]snagornov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0322-3622
[5]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Abstract. *Biodiesel fuel (BF) can be an additive to diesel fuel used in agricultural production to increase the cetane number and lubricating properties. Such an additive can be biodiesel fuel. Regulations allow the addition of 7% BF to petroleum fuels. An express method that allows the consumer to quickly determine its presence was developed. The possibility of determining BF in a mixture with petroleum by thin-layer chromatography (TLC) has been studied for the first time. Samples of BF obtained by transesterification of rapeseed, sunflower, linseed, corn, radish and camelina oils were synthesized for this investigation. The solubility of BF in a number of organic solvents was studied for the first time to select the suitable eluent. It has been established that biodiesel fuel is highly soluble not only in non-polar hydrocarbons (benzene, toluene, octane, petroleum ether), but also in chloroform and monohydric alcohols of normal and branched structure (propyl, butyl, isobutyl, and isoamyl alcohols). Biodiesel is insoluble in solvents with a higher dielectric constant (such as acetone or glycerol). The same solvents were investigated as eluents for the separation of fuel oil and biodiesel by thin layer chromatography. It has been shown that alcohols, chloroform and acetone are not suitable as eluents; but it is possible to use toluene. The value of the retardation factor R_f for the main spot of petroleum fuel is 0.86, and for biodiesel fuel is 0.6 (eluent is toluene). It has been established that it is possible to determine the presence of biodiesel fuel synthesized from various types of oils using TLC (eluent is toluene). Also, petroleum ether can be recommended as an eluent for analysis in the field. The TLC method can be used to detect the presence of biodiesel at concentrations from 2% and above.*

Keywords: *biodiesel fuel, solubility, thin layer chromatography*.

Для цитирования: Романцова С.В., Гладышева И.В., Вервекина В.В., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П. Экспресс-способ определения биодизельного топлива в смесевом топливе методом тонкослойной хроматографии // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 63, № 3. С. 143-152. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-143-152.

For citation: Romantsova S., Gladysheva I., Vervekina N., Nagornov S., Lixutina A. Express method for determination of biodiesel fuel in mixed fuel by thin layed chromatography // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 63(3): 143-152. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-143-152.

Введение. Современное сельскохозяйственное производство невозможно представить без использования энергонасыщенной техники: тракторов, комбайнов, других сельскохозяйственных машин. Для их бесперебойной и корректной работы требуются качественные горюче-смазочные материалы (ГСМ), в первую очередь дизельное топливо. Во время полевых и уборочных работ от качества топлива зависит стабильность и безотказность работы техники, а значит, качество выполненных работ и успех деятельности в агросфере в целом.

Требования последних экологических стандартов «Евро», а также конструкция современных двигателей (особенно у всё более распространяющихся зарубежных машин и агрегатов) заставляют отечественных производителей улучшать качество топлива. Но число отказов сельскохозяйственных машин и агрегатов, вызванных низким качеством светлых нефтепродуктов, тем не менее увеличивается. Так, Центрально-Чернозёмная МИС в течение 2021 года обследовала 102 хозяйства из Курской, Орловской, Воронежской и Белгородской областей, проведя анализ более 160 проб различных видов горюче-смазочных материалов, уделяя основное внимание качеству топлив для дизельных двигателей [1]. Результаты представлены на рисунке 1.

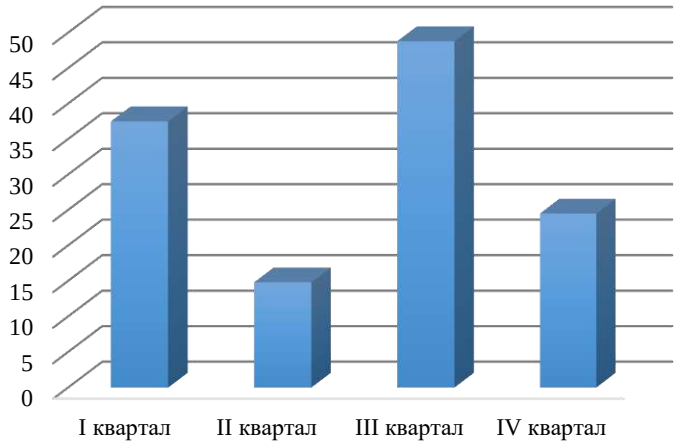


Рисунок 1 – Число некондиционных проб топлив (%) в 2021 году

Количество некондиционных проб составило от 14,8% во втором квартале и почти половину проб в третьем квартале (48%). Причина может быть в том, что сельскохозяйственные товаропроизводители покупают топливо у недобросовестных поставщиков, предлагающих топливо по более дешёвой цене, а также качество топлива ухудшается в процессе его транспортировки и хранения, особенно на нефтескладах АПК, состояние которых в настоящее время оставляет желать лучшего. Это, безусловно, вызывает большую озабоченность и подтверждает необходимость регулярных проверок качества ГСМ. Прежде всего, требуется входной экспресс-контроль, чтобы некондиционное топливо не успело попасть в топливные баки. Комплект для анализа светлых нефтепродуктов разработан и постоянно усовершенствуется ФГБНУ ВННИТиН. Реактивы и простое оборудование позволяют оператору без каких-либо специальных знаний и навыков проводить в полевых условиях определение плотности, вязкости, коррозионной агрессивности, устанавливать наличие воды, мехпримесей, водорастворимых кислот и щелочей, фактических смол, непредельных углеводородов [2].

Анализ некондиционных проб топлив в 2021 году показал, что отмечаются отклонения характеристик дизельного топлива по температуре вспышки и фракционному составу (это может быть связано со смешиванием разных видов топлив, в том числе и в процессе хранения), не всегда соответствует норме температура фильтруемости дизтоплива. Но чаще всего встречаются отклонения от требований ГОСТ по содержанию механических примесей, воды (иногда оно выше в 4-5 раз), а также фиксируется несоответствие требованиям стандарта Евро 5 по содержанию серы (оно может быть выше нормы более чем в 350 раз) [1].

Для производства топлива, удовлетворяющего современным экологическим стандартам, нефтяные дизельные фракции подвергаются гидроочистке, в результате из них удаляются природные ароматические и серосодержащие органические соединения. Это снижает содержание в отходящих газах оксидов серы и канцерогенных полиароматических углеводородов, но ухудшает ряд эксплуатационных характеристик дизельного топлива, прежде всего смазывающие свойства и цетановое число. Коррекция этих характеристик достигается путём введения присадок и добавок. Такой добавкой может служить биодизельное топливо (БТ), положительно влияющее как на указанные свойства, так и на снижение концентрации вредных компонентов в выхлопных газах [4, 5]. Оно получает всё большее распространение в мире, в 2020 году его производство составило около 2,7 млн. баррелей в сутки и, вероятно, в будущем будет ещё увеличиваться [5, 6].

В настоящее время разрешено присутствие в товарном нефтяном топливе 7% биодизельного топлива [7]. Однако возможно его введение и в больших количествах. Если оно превысит 20%, это может заметно изменить физико-химические свойства топлива. Поэтому экспресс-анализ дизтоплива в настоящее время должен включать и определение биодизельного топлива в его составе.

Цель работы – разработка экспресс-метода для определения биодизельного топлива в составе нефтяного товарного топлива для дизельных двигателей. Реактивы и оборудование для такого определения будут включены в состав комплекта для анализа светлых нефтепродуктов.

Материалы и методы. Для исследования были синтезированы образцы биодизельного топлива из масел рапса, подсолнечника, льна, кукурузы, редьки и рыжика. Для подбора элюента использовались органические соединения, относящиеся к различным классам: алифатические и ароматические углеводороды: октан, петролейный эфир; бензол, толуол; галогенпроизводные: хлороформ; одноатомные спирты нормального и разветвлённого строения: этиловый, пропиловый, бутиловый, изобутиловый, изоамиловый; кетоны: ацетон.

Разделение нефтяного и биодизельного топлива проводили на пластинах для тонкослойной хроматографии с закреплённым слоем силикагеля Sorbfil (ПТСХ АФ-А и ПТСХ АФ-В-УФ). Пробы топлив наносили на пластину с помощью стеклянных капилляров, высушивали и помещали в хроматографическую камеру. После того, как элюент достигал линии финиша, хроматограмму высушивали и пластины ПТСХ АФ-В-УФ визуально рассматривали в УФ-лучах, а пятна на пластинах ПТСХ АФ-А идентифицировали в парах йода.

Положение вещества (группы веществ) характеризуется величиной коэффициента подвижности R_f, который определяется как отношение расстояния от линии старта до середины пятна к расстоянию от линии старта до линии финиша.

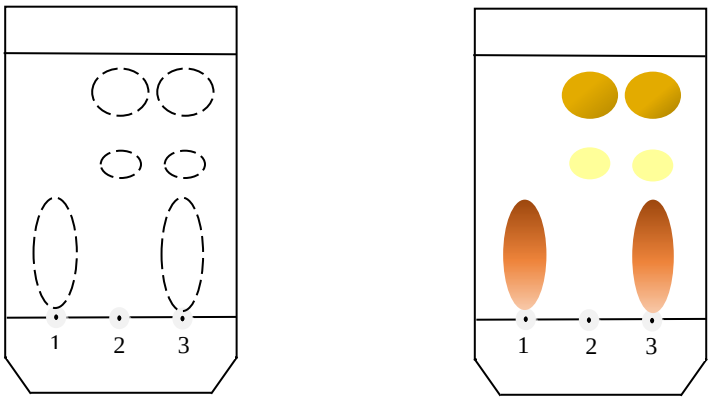
Результаты и их обсуждение.

Для определения наличия биодизельного топлива можно использовать различные методы. Так, ГОСТ Р 52368-2005 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия» [7] закрепляет для этих целей метод колебательной спектроскопии в инфракрасной области спектра (ИК-спектроскопии). Биодизельное топливо представляет собой смесь сложных эфиров, поэтому измеряют поглощение в средней инфракрасной области при 1750-1735 $см^{-1}$, где обнаруживается характерная для алифатических сложных эфиров полоса, отвечающая за валентные колебания связи С=О. Есть данные об использовании методов газовой (ГХ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для обнаружения биодизельного топлива при проливах и даже на основе информации о снятии отпечатков пальцев [8]. Однако оборудование для ИК-спектроскопии, ГХ и ВЭЖХ сложное и дорогостоящее, работа на нём требует специальной подготовки, этот способ подходит для стационарных, а не экспресс-лабораторий.

При анализе смесей органических соединений широко используется метод тонкослойной хроматографии (ТСХ). Для него не требуется сложной аппаратуры и специальных навыков, для проявления хроматограммы и идентификации пятен требуется 10-20 минут. Метод применяется для обнаружения нефтепродуктов и анализа состава нефтяных топлив, он рекомендован для исследования горючих жидкостей при расследованиях пожаров [9]. В последнем случае он не получил широкого распространения из-за сравнительно низкой чувствительности, но после пожара следователи имеют дело с небольшим количеством, буквально со следами жидкости.

Другое дело – анализ образцов дизтоплива, когда для анализа предоставляется достаточное количество смеси нефтяного топлива и БТ, при этом доля последнего составляет минимум 5-7%. Была исследована возможность использования метода ТСХ для обнаружения биодизельного топлива. Проведённый литературный поиск показал, что есть данные об использовании его для анализа нефтепродуктов, для определения содержания глицерина в биодизельном топливе [9, 10]. Данные об определении наличия биодизельного топлива в смеси с нефтяным в литературе отсутствуют.

При исследовании нефтяных топлив методом ТСХ в качестве элюента часто используется гексан или смесь октана и бензола (5:1). Поэтому мы использовали эту смесь в качестве элюента для определения сложноэфирных молекул биодизельного топлива в смеси с углеводородами дизельного топлива. Исследовали биодизельное топливо, синтезированное из масла подсолнечника. Результаты приведены на рисунке 2. Идентификацию пятен проводили в УФ-лучах на пластине ПТСХ АФ-В-УФ (на рисунке они представлены пунктирной линией) и с помощью паров йода на пластине ПТСХ АФ-А (на рисунке представлены окрашенными пятнами).

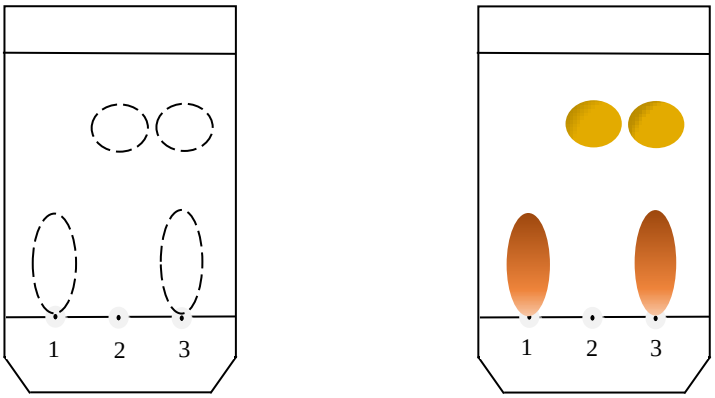


ПТСХ АФ-В-УФ ПТСХ АФ-А

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 2 – Хроматограмма с элюентом октан: бензол 5:1

Хроматограмма даёт наглядное представление о том, что биодизельное топливо не обладает достаточным сродством к элюенту, а, следовательно, и подвижностью при использовании в качестве элюента смеси алифатического и ароматического углеводородов. Как в УФ-лучах, так и в парах йода видно овальное пятно, касающееся линии старта. Пары йода лучше адсорбируются молекулами сложных эфиров, входящими в состав биодизельного топлива: при одинаковом времени экспозиции (10 минут) пятно, соответствующее биодизельному топливу, окрашено более интенсивно. При этом углеводороды нефтяного топлива имеют большее сродство к элюенту, основное пятно уходит к линии финиша; на хроматограмме видно менее интенсивное второе пятно, соответствующее другой группе компонентов дизтоплива. Разделения компонентов биодизельного топлива не наблюдается.

Так же по аналогии с известными литературными данными для нефтяного топлива в качестве элюента был взят петролейный эфир (смесь алифатических углеводородов, в основном, пентанов и гексанов). Результаты представлены на рисунке 3.



ПТСХ АФ-В-УФ ПТСХ АФ-А

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 3 – Хроматограмма с петролейным эфиром в качестве элюента

Установлено, что при разных способах идентификации пятен (осмотр у УФ-лучах и в парах йода), они совпадают друг с другом. Пластины ПТСХ АФ-В-УФ дороже, использование паров йода проще в аппаратурном оформлении, не требует использования электрической сети, испытание можно проводить в полевых условиях. Поэтому далее использовали только пластины ПТСХ АФ-А и пары йода для идентификации.

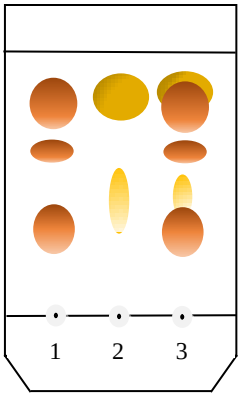
Видно, что при использовании только алифатических углеводородов пятно нефтяного топлива расположено ниже, значение R_f составляет 0,7 вместо 0,8. Положение веществ на хроматограмме чётко разделено, пятна находятся на значительном расстоянии друг от друга, но биодизельное топливо не отрывается от линии старта. Следовательно, элюенты, рекомендуемые для хроматографического исследования нефтяного топлива, не подходят для БТ. Петролейный эфир можно использовать для того, чтобы различить два вида топлива, но для более корректного использования метода ТСХ необходимо провести подбор элюента.

Для этого необходимо ориентироваться как на значения диэлектрической проницаемости растворителей, используемых в качестве элюента, так и на данные о растворимости биодизельного топлива. Компонентами биодизельного топлива являются, чаще всего, метиловые эфиры карбоновых кислот с длинной углеродной цепью (обычно от 16 до 24 атомов углерода в молекуле) [11]. В состав сложных эфиров входят два атома кислорода, поэтому они являются более полярными молекулами, чем углеводороды – компоненты нефтяного топлива. По правилу растворимости В.К. Семенченко чем ближе диэлектрическая проницаемость веществ, тем лучше они растворяются друг в друге. Следовательно, биодизельное топливо должно растворяться в более полярных органических растворителях, чем нефтяное топливо.

Однако в литературных источниках данные о растворимости биодизельного топлива крайне ограничены. Практически во всех статьях, описывающих свойства этого вида топлива, говорится о том, что оно нерастворимо в воде. Есть данные о его растворимости в системах ископаемое дизельное топливо-метанол (или этанол)-метиловый эфир рапсового масла [12]. Во втором томе справочника химика можно найти данные о растворимости отдельных компонентов биодизельного топлива: метиловых эфирах стеариновой, олеиновой и линолевой кислот. По данным справочника, все они растворяются в диэтиловом эфире и этаноле, а метилолеат ещё и в хлороформе [13]. Поэтому была изучена растворимость биодизельного топлива в ряде органических растворителей с разной диэлектрической проницаемостью.

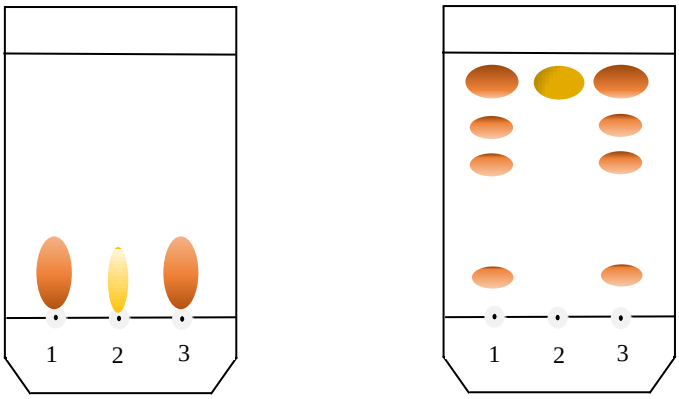
Установлено, что биодизельное топливо хорошо растворимо в неполярных углеводородах (октан, петролейный эфир, бензол, толуол,). Относительная диэлектрическая проницаемость (ε) этих растворителей находится в интервале от 1,9 до 2,4. У хлороформа этот показатель равен 4,8 и по нашим данным, биодизельное топливо хорошо растворяется в нём. Ещё более высокой является диэлектрическая проницаемость спиртов: изоамиловый – 16; бутиловый и изобутиловый – 17,7; пропиловый – 20,7; этиловый – 25. Надо отметить, что биодизельное топливо растворяется во всех перечисленных спиртах нормального и разветвлённого строения. Ацетон имеет диэлектрическую проницаемость, близкую к пропанолу – 21, но в ацетоне биодизельное топливо не растворяется, как и в глицерине (ε = 42).

Добавление к октану более полярного растворителя (ацетона) привело к лучшему разделению компонентов биодизельного топлива, видно несколько пятен, соответствующих метиловым эфирам различных карбоновых кислот. Можно предположить, что карбоновые кислоты разной молекулярной массы и степени непредельности имеют разное сродство к данному элюенту. Это можно использовать для изучения состава биодизельного топлива, синтезированного из разных сортов масла. Но значения R_f биодизельного и нефтяного топлива близки (рисунок 4), пятна накладываются друг на друга. Следовательно, для экспресс-анализа наличия БТ в нефтяном товарном топливе данный элюент непригоден.



1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 4 – Хроматограмма с элюентом октан: ацетон 1:1

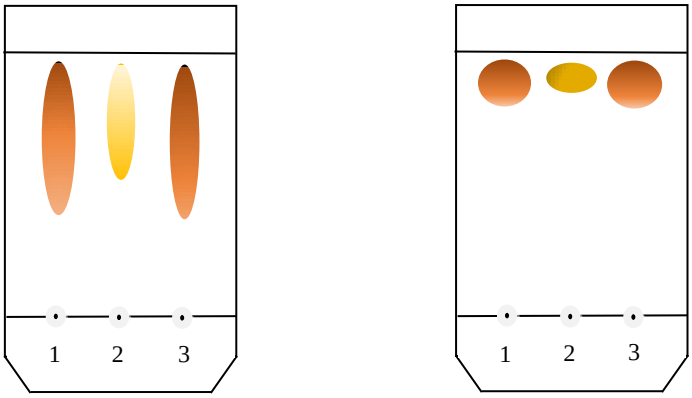
Если в качестве элюента взять ацетон, пятна обоих видов топлив не отрываются от линии старта, вероятно, из-за низкого сродства компонентов топлив к растворителю. При использовании хлороформа, наоборот, большая часть компонентов уходит с элюентом к линии финиша (рис. 5). Хлороформ можно так же использовать для изучения компонентного состава биодизельного топлива, но не для определения присутствия БТ в товарном дизельном топливе.



элюент – ацетон элюент – хлороформ

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 5 – Хроматограмма с элюентами ацетон и хлороформ

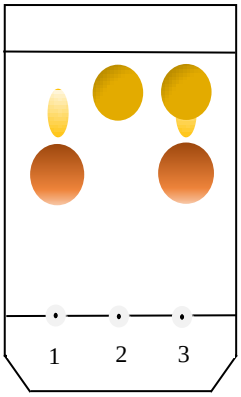
Проверили возможность использования в качестве элюента этанола и бутанола. У этих растворителей относительно высокие значения диэлектрической проницаемости, но в отличие от ацетона компоненты биодизельного топлива имеют высокое сродство к спиртам. Результат представлен на рисунке 6. Видно, что все компоненты топлив продвигаются по пластине практически вместе с элюентами, при этом этанол сильно растягивает пятно, но не выделяет отдельных групп компонентов топлив.



элюент – этанол элюент – бутанол

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 6 – Хроматограмма с элюентами этанол и бутанол

Интересный результат получен при использовании в качестве элюента толуола (рисунок 7). Биодизельное топливо, синтезированное из подсолнечного масла, даёт на хроматограмме одно интенсивное пятно с R_f = 0,6 и очень слабое пятно с R_f = 0,8, при этом коэффициент подвижности для единственного пятна нефтяного топлива равен 0,86. Таким образом, основные пятна нефтяного топлива и БТ хорошо отличаются на хроматограмме и этот элюент можно использовать для экспресс-анализа.



1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 7 – Хроматограмма с элюентом толуол

Используя толуол в качестве элюента, провели исследование методом ТСХ ещё четырёх образцов биодизельного топлива, синтезированных из различных масел. Общий вид хроматограмм для биодизельных топлив, полученных переэтерификацией масел рапса, подсолнечника, рыжика и редьки практически не отличаются. Есть небольшие различия в величинах коэффициента подвижности основного пятна БТ (от 0,59 до 0,63). На хроматограмме биодизельного топлива, синтезированного из льняного масла, мы видим ещё одно пятно с R_f = 0,48. Вероятно, это связано с тем, что этот вид биотоплива заметно отличается по своему составу наличием метилового эфира непредельной линоленовой кислоты, радикал которой содержит три двойные связи [12].

Необходимо было определить чувствительность метода ТСХ для определения наличия биодизельного топлива в смеси с нефтяным. Провели хроматографическое исследование пяти образцов смесевых топлив с содержанием БТ 2, 5, 7, 10 и 20 % (об.). С уменьшением концентрации БТ площадь его пятна на хроматограмме снижается, но даже при концентрации 2% пятно хорошо различимо.

Заключение. Впервые изучена растворимость биодизельного топлива в органических растворителях с различной полярностью. Установлено, что биодизельное топливо хорошо растворимо неполярных алифатических и ароматических углеводородах (бензол, толуол, октан, петролейный эфир) и их галогенопроизводных (хлороформ), а также в одноатомных спиртах нормального и разветвлённого строения с числом атомов углерода C_2–C_5. В растворителях с большей диэлектрической проницаемостью (например, ацетон, глицерин) биодизельное топливо нерастворимо.

Впервые исследована возможность определения биодизельного топлива в смеси с нефтяным дизельным методом тонкослойной хроматографии. Показано, что в качестве элюента не могут быть использованы спирты, хлороформ и ацетон. При использовании в качестве элюента толуола достигается удовлетворительное разделение компонентов нефтяного и биодизельного топлив. Значения коэффициента подвижности R_f для основного пятна нефтяного топлива составляет 0,86, для биодизельного топлива, синтезированного из различных сортов растительного масла он находится в пределах 0,59–0,63 (элюент – толуол). Установлено, что таким образом можно определять наличие биодизельного топлива, синтезированного из различных видов масел при концентрациях от 2% (об.) и выше.

Список источников

1. На заметку аграриям – новые данные по контролю качества ГСМ в ЦФО [Электронный ресурс]. – URL: https://dzen.ru/a/Yl7ymmGB2RjlkBzv (дата обращения 12.06.2023).

2. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Матвеев О.В., Остриков В.В. Комплект для экспресс-анализа // Сельский механизатор. 2001. № 10. С. 14-15.

3. Белозерцева Н.Е., Торчакова О.М., Богданов И.А., Киргина М.В. Исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесевого компонента товарных дизельных топлив // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. № 12 (1). С. 130-140

4. Рагимов Э.А. Влияние альтернативных топлив на окружающую среду // Транспорт на альтернативном топливе. 2020. № 2. С. 64-70.

5. Медведева Н.Д. Перспективы развития производства биотоплива: мировой опыт // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019. № 3. С. 45-53.

6. Боровицкая П. С., Варламова Е. С. Проблемы и перспективы развития российского рынка биотоплива // Экономические исследования и разработки. Научно-исследовательский журнал. 2021. № 2. С. 63-76.

7. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 11 с.

8. Yang Z., Hollebone B.P., Wang Z., Yang C., Brown C., Landriault C. Forensic identification of spilled biodiesel and its blends with petroleum oil based on fingerprinting information // Journal of Separation Science. 2013. № 36 (11). P. 1788-1796.

9. Мартынов В.Ф., Бельшина Ю.Н. Исследование дизельного топлива методом тонкослойной хроматографии в экспертных целях // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2012. № 4. С. 135-139.

10. Bansal K., McCrady J., Hansen A., Bhalerao K. Thin layer chromatography and image analysis to detect glycerol in biodiesel // Fuel. 2008. V. 87. P. 3369-3372.

11. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Романцова С.В. О молекулярном составе биодизельного топлива // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2013. № 3. С.70-73.

12. Makareviciene V., Sendzikiene E., Janulis P. Solubility of multi-component biodiesel fuel systems // Bioresource Technology. 2005. № 96(5). P. 611-616.

13. Никольский Б.П., Григоров О.Н., Позин М.Е. Справочник химика. Том 2. Основные свойства неорганических и органических соединений. Л.: Химия, 1965. 1168 с.

References

1. Note to farmers - new data on quality control of fuels and lubricants in the Central Federal District. Retrieved from https://dzen.ru/a/Yl7ymmGB2RjlkBzv (accessed 12.06.2023). (In Russ.)

2. Nagornov S.A., Romantsova S.V., Matveyev O.V., Ostrikov V.V. Set for express analysis *Sel'skij mehanizator* = Agricultural machine operator. 2001; (10):14-15. (In Russ.)

3. Belozertseva N.Ye., Torchakova O.M., Bogdanov I.A., Kirgina M.V. Study of the feasibility of using biodiesel fuels as a mixed component of commercial diesel fuels *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied chemistry and biotechnology. 2022; (12(1)):130-140. (In Russ.)

4. Ragimov E.A. Impact of alternative fuels on the environment *Transport na al'ternativnom toplive* = Alternative fuel transport. 2020; (2):64-70. (In Russ.)

5. Medvedeva N.D. Prospects for the development of biofuel production: world experience *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve* = Economy labor management in agriculture. 2019; (3):45-53.

6. Borovitskaya P. S., Varlamova Ye. S. Problems and prospects for the development of the Russian biofuel market // *Ekonomicheskiye issledovaniya i razrabotki. Nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = Economic development research journal. 2021; (2):63-76. (In Russ.)

7. GOST R 52368-2005 (EN 590:2009) EURO diesel fuel. Specifications. M.: Standartinform; 2009. 11 p. (In Russ.)

8. Yang Z., Hollebone B.P., Wang Z., Yang C., Brown C., Landriault C. Forensic identification of spilled biodiesel and its blends with petroleum oil based on fingerprinting information Journal of Separation Science. 2013; (36 (11)):1788-1796.

9. Martynov V.F., Bel'shina Yu.N. The study of diesel fuel by thin-layer chromatography for expert purposes *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii* = Bulletin of the Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia.2012; (4):135-139. (In Russ.)

10. Bansal K., McCrady J., Hansen A., Bhalerao K. Thin layer chromatography and image analysis to detect glycerol in biodiesel Fuel. 2008; (87): 3369-3372.

11. Nagornov S.A., Zazulya A.N., Romantsova S.V. On the molecular composition of biodiesel fuel *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Michurinsk state agrarian university. 2013; (3):70-73. (In Russ.)

12. Makareviciene V., Sendzikiene E., Janulis P. Solubility of multi-component biodiesel fuel systems Bioresource Technology. 2005; (96(5)): 611-616.

13. Nikol'skiy B.P., Grigorov O.N., Pozin M.Ye. Handbook of a chemist. Volume 2. Basic properties of inorganic and organic compounds. L.: Khimiya; 1965; 1168 p. (In Russ.).

Информация об авторах

С.В. Романцова – кандидат химических наук; И.В. Гладышева – кандидат химических наук; Н.В. Вервекина – кандидат химических наук; С.А. Нагорнов - доктор технических наук, профессор; А.Н. Ликсутина - кандидат технических наук.

Information about the authors

S. Romantsova - Candidate of Chemical Sciences; I. Gladysheva - Candidate of Chemical Sciences; N. Vervekina - Candidate of Chemical Sciences; S. Nagornov - Full Doctor of Technical sciences, Professor; A. Lixutina - Candidate of Technical Sciences

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

Поступила в редакцию (Received): 01.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.06.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.43; 621.892
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-153-163

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО МАСЛА ПО НАКОПЛЕНИЮ НЕРАСТВОРИМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Алексей Иванович Малютин [1]***, Евгений Анатольевич Татаренков*** [2]***,***
Сергей Юрьевич Панов [3]***, Зугум Сагидович Гасанов*** [4]
[1,2] *ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия*
[3,4] *Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия*
[3]malyutin-1980@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Алексей Иванович Малютин, malyutin-1980@mail.ru
Corresponding author: Aleksej Malyutin, malyutin-1980@mail.ru

Реферат. *В процессе интенсивной эксплуатации двигателей сельскохозяйственной техники в неблагоприятных условиях качество масла ухудшается, что приводит к износу трущихся поверхностей деталей, нарушению работы двигателя и увеличению риска возникновения нештатной операционной или аварийной ситуации. В статье рассмотрены причины возникновения аварийных ситуаций узлов двигателя, а также методы их снижения посредством применения системы диагностики моторного масла. Степень загрязненности моторного масла нерастворимыми примесями является одним из диагностируемых параметров, по которому определяется работоспособность всей технической системы. Современными методами анализа (лазерная дифракция, электронная рентгеноспектральная микроскопия) были установлены основные характеристики примесей в отработанных моторных маслах и их связь со степенью износа элементов двигателей автомобильной сельскохозяйственной техники. Использование данного вида диагностики позволяет произвести оценку состояния важнейших систем автомобиля. Диагностируемые признаки могут показать наличие технических проблем топливной и воздушной систем, цилиндропоршневой группы двигателя, так и нарушения в эксплуатации. Предлагается в качестве диагностического параметра трибомониторинга, являющегося показателем степени изнашивания деталей поршневой группы двигателя автомобильной техники сельскохозяйственного назначения использовать элементарную концентрацию железа в отобранных пробах машинного масла. Полученная по результатам рентгеноспектрального микровзвешивания зависимость концентрации металла (C_{Fe}) в машинном масле от содержания кремния (C_{Si}) аппроксимируется экспоненциальной зависимостью, что повышает точность прогнозирования ресурса машинного масла и технического состояния автомобиля. Применение данных методов контроля позволяет однозначно определить характер работы оборудования и своевременно обнаруживать возникновение дефектов.*

Ключевые слова*: моторные масла, загрязнения, износ, диагностика, надежность технических систем.*

MONITORING OF ENGINE OIL QUALITY BY ACCUMULATION OF INSOLUBLE MECHANICAL IMPURITIES

Aleksej Malyutin [1]***, Evgenij Tatarenkov*** [2]***, Sergej Panov*** [3]***, Zugum Gasanov*** [4]
[1,2]*Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia*
[3,4]*Voronezh state technical university, Voronezh, Russia*
[3]malyutin-1980@mail.ru

Abstract. *The quality of the oil deteriorates during the intensive operation of agricultural machinery engines in adverse conditions, which leads to wear of the rubbing surfaces of parts, disruption of the*

engine and an increase in the risk of an emergency operating or emergency situation. The causes of emergencies of engine components, as well as methods for their reduction through the use of an engine oil diagnostic system, are discussed in the article. The degree of contamination of engine oil with insoluble impurities is one of the diagnostic parameters by which the operability of the entire technical system is determined. Modern methods of analysis (laser diffraction, electron X-ray microscopy) have established the main characteristics of impurities in used engine oils and their relationship with the degree of wear of engine elements of agricultural machinery. The use of this type of diagnostics allows you to assess the condition of the most important systems of the car. The diagnosed signs can show the presence of technical problems of the fuel and air systems, the cylinder piston group of the engine, and violations in operation. It is proposed to use the elementary concentration of iron in the selected samples of engine oil as a diagnostic parameter of tribomonitoring, which is an indicator of the degree of wear of parts of the piston group of the engine of agricultural machinery. The dependence of the metal concentration (C_{Fe}) in engine oil on the silicon content (C_{Si}) obtained from the results of X-ray spectral microweighting is approximated by an exponential dependence, which increases the accuracy of predicting the engine oil resource and the technical condition of the car. The use of these control methods makes it possible to unambiguously determine the nature of equipment operation and detect the occurrence of defects in a timely manner.

Keywords: *engine oils, pollution, wear, diagnostics, reliability of technical systems.*

Для цитирования: Смирнов Д.Н., Чернопятова С.А., Малютин А.С., Панов С.Ю. Математическая модель оперативности ремонта автомобильной техники // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 153-163. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-153-163.

For citation: Smirnov D, Chernopjatova S., Malyutin A., Panov S. Mathenatical model of the efficiency of repair of automotive equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(3): 153-163. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-153-163.

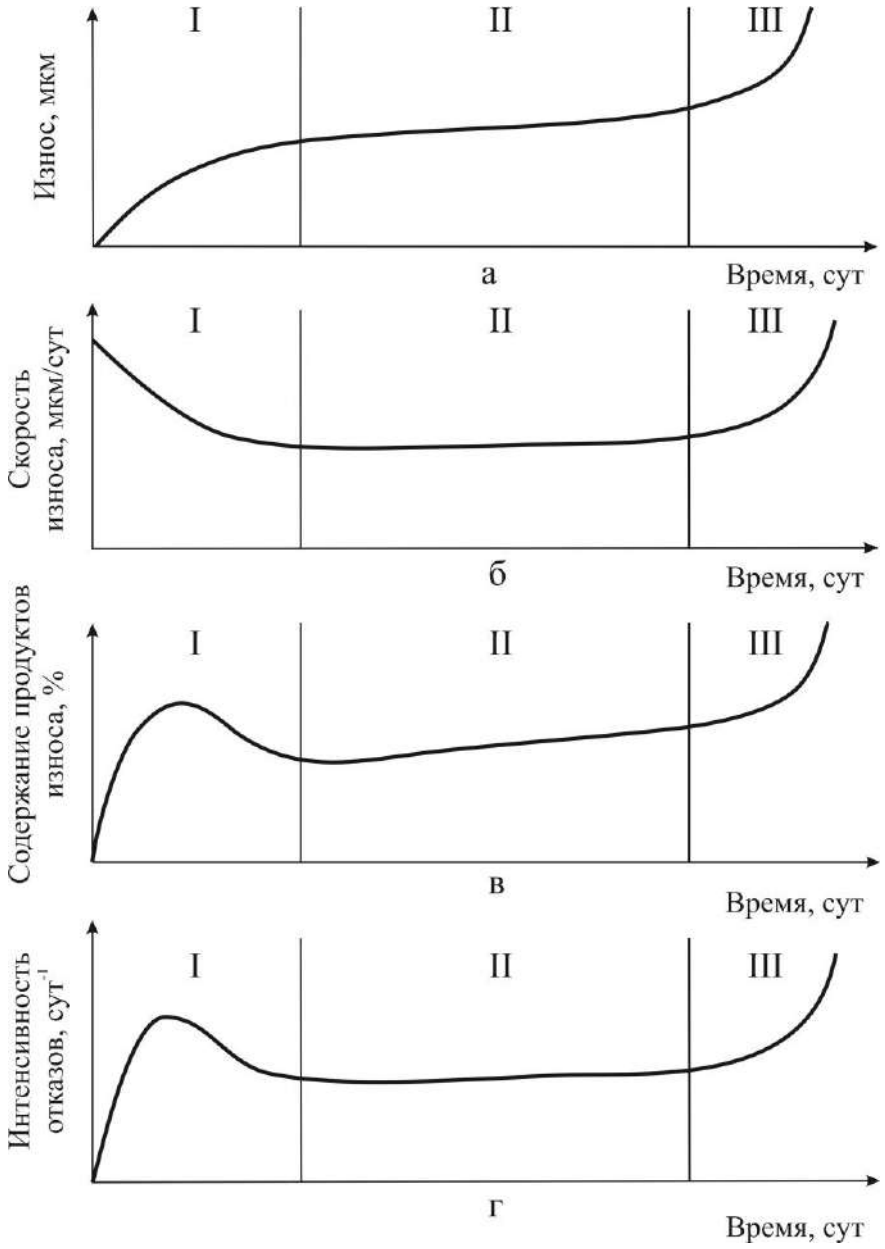
Введение. Анализ современных тенденций развития продовольственной безопасности показывает увеличение интенсивности применения сельскохозяйственной техники. Возрастание посевных площадей и массы сельскохозяйственной продукции вызывают необходимость увеличения объемов перевозок. Кроме того, различные климатические явления способствуют увеличения объема мероприятий по обслуживанию и подготовки сельскохозяйственной техники. Это приводит к увеличению интенсивности использования и расходу моторесурса, и следовательно, к увеличению выхода из строя машин по эксплуатационным причинам.

Эксплуатационные характеристики масла изменяются в течение времени в зависимости от операционных условий работы механизмов и узлов вместе с изменением их технического состояния.

Контроль состояния машины посредством анализа масла обычно осуществляется путем определения количества, размера и химического состава частиц износа, образующихся на поверхностях смазываемых деталей машины [1-5].

Графики (рисунок 1) показывают взаимосвязь технического состояния механизма и концентрации металлов в масле [2]. При этом видно, что повышение суммарного износа пары трения механизмов двигателя сопровождается увеличением скорости изнашивания, и как следствие возрастание концентрации металлов в масле. По понятным причинам в этот же период существенно возрастает интенсивности отказов (аварий).

Таким образом, становится очевидным, что анализ элементного состава примесей моторных масел и концентрация металлов в сочетании со знанием материалов, из которых изготовлен двигатель, может быть квалифицированным средством обследования текущего состояния и прогнозирования остаточного ресурса технической системы и ее отдельных составных частей.



а – износ механизма; б – скорости его изнашивания; в – содержание продуктов износа в масле; г – интенсивность потока отказов

I – зона приработки механизма; II – зона нормальной эксплуатации механизма; III – зона повышенных и аварийных износов механизма

Рисунок 1 – Изменение параметров работы двигателей от времени работы

Результаты и обсуждение.

При различных эксплуатационных режимах нагружения узлов механизмов машин сельскохозяйственного назначения и, соответственно видов изнашивания деталей, образуются частицы износа различных форм и размеров.

Различают нормальное, коррозионное, механическое и усталостное изнашивание.

Частицы нормального износа получаются в результате микроотслаивания и, чаще всего, обладают гладкой поверхностью линейным размером 1…5 мкм и отношением толщины к линейному размеру 1:2 или 1:5.

Частицы, образующиеся при коррозионном изнашивании, представляют собой множественные сколы частиц разрушенных оксидных пленок, сформированных на поверхности деталей в процессе эксплуатации. Размер таких чешуек не превышает 1 мкм.

При механическом изнашивании (жесткое скольжение, микрорезание) образуются частицы неправильной формы с неровными рваными краями размером 10-150 мкм либо микростружечные структуры длиной до 2 мм. Отношение толщины к линейному размеру варьируются от 1:5 в первом случае до 1:50 во втором. Этому виду изнашивания чаще всего подвергаются поршневые кольца, зубья высоконагруженных шестерней, роликовые подшипники.

Усталостное изнашивание связано со снижением прочности конструкционного материала деталей, вследствие постоянного накопления повреждений под действием переменных нагрузок. Так как повреждения в данном случае происходит при образовании микротрещин, их расширении и последующее разрушении, частицы могут быть в виде осколка неправильной формы или гладкой чешуйки (лепестка). Линейные размеры характерные для частиц этого вида изнашивания составляет 10-200 мкм. Кроме того, к усталостному изнашиванию относят кавитационное разрушение материала. При этом образуются почти сферические частицы 1…100 мкм.

Детальная классификация морфологии частиц износа приводится в работе В.А. Степанова [5].

Степень износа элементов механизма может быть определена по концентрации частиц износа в работающем масле и их фракционному составу.

В качестве диагностического параметра состояния механической системы и степени износа её элементов могут служить линейные размеры и дисперсность (средняя концентрация частиц в работающем масле).

Одним из совершенных методов определения размеров частиц (гранулометрического анализа) является метод лазерной дифракции, основанной на измерении угловой зависимости рассеянного света, например с помощью лазерного анализатора.

Полученные результаты различных измерений обеспечили удобство анализа данных и составления отчётов (рисунок 2).

Представленные зависимости распределения диаметров частиц износа в моторном масле от длительности пробега в условиях интенсивной работы автомобильной техники во время сезонных сельскохозяйственных работ показывает закономерность интенсивности изнашивания механизмов от содержания в работающем масле крупных частиц.

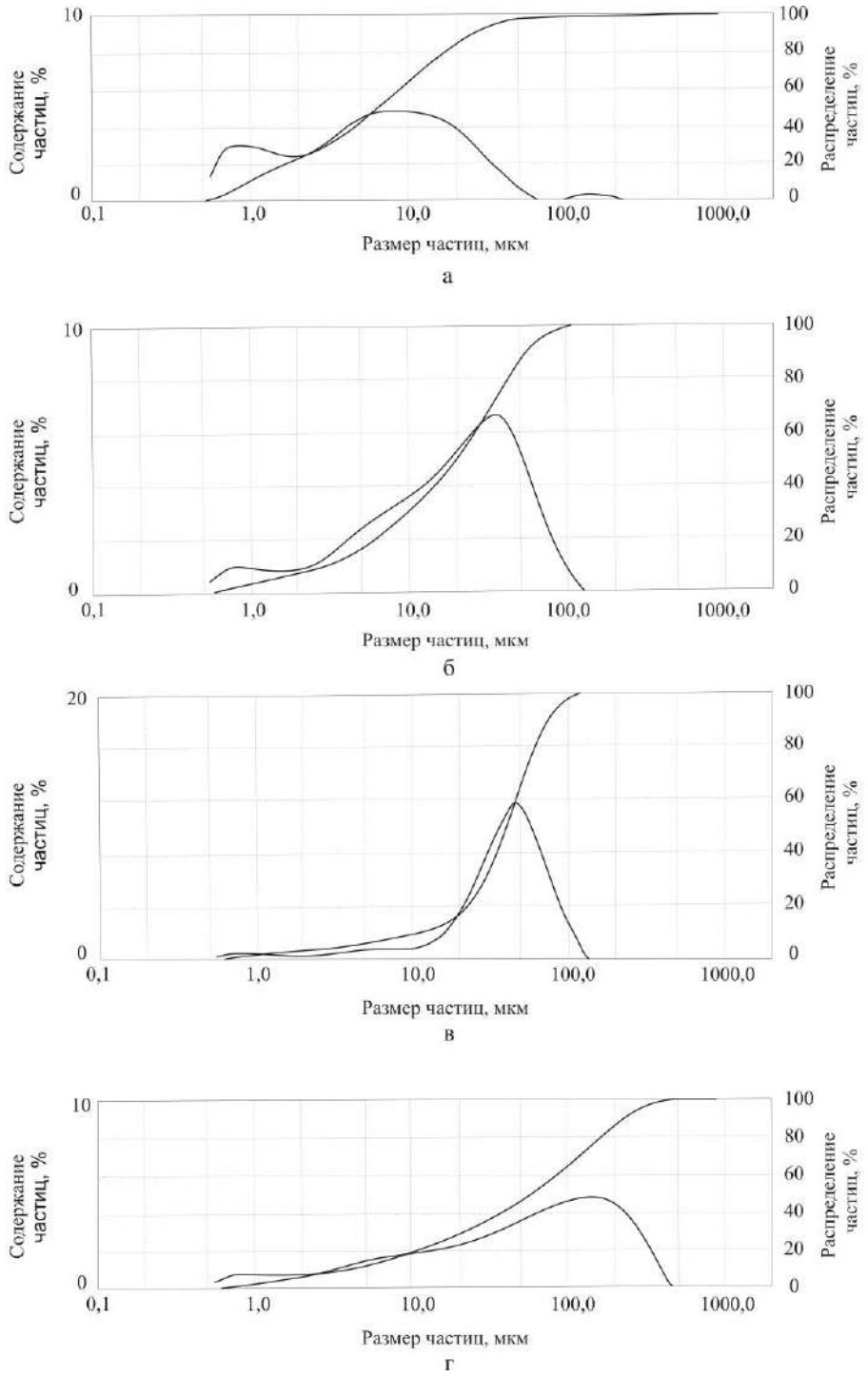
При нормальном функционировании отмечаются практически равномерное распределение частиц износа от 1 до 20 мкм (рисунок 2 а).

При повышенном износе дисперсия перемещается в область содержания крупных частиц (рисунок 2 б, в). Средний медианный размер - 50…100 мкм. При этом максимальный размер обнаруженных частиц в масле не превышает 200 мкм.

Предаварийное состояние (рисунок 2 г) характеризуется образованием частиц до 500 мкм, что свидетельствует о критическом износе элементов механизмов.

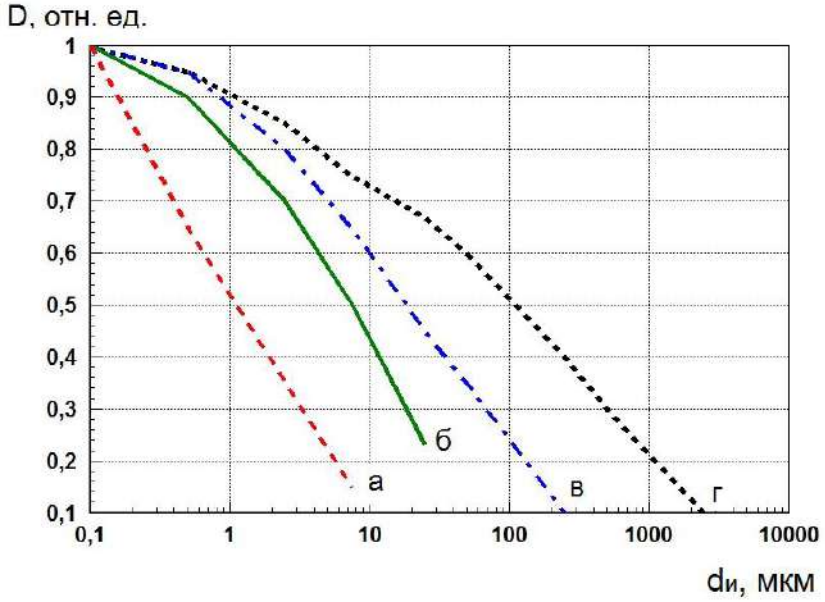
Интегральные кривые логарифмически-нормального распределения диаметров частиц износа по размерам для разных режимов эксплуатации моторных масел, которые могут служить диагностическими диапазонами, приведены на рисунке 3.

При изучении микрофотографий (рисунок 4) установили, что частицы износа имеют хлопьевидную форму с преобладанием размеров менее 10 мкм. Частицы в большей степени образуют конгломераты, при этом молекулы и смолоподобные частицы тяжелых фракций моторного масла являются своеобразными полимерными "мостиками" удерживающими неорганические частицы износа между собой.



а) - пробег 4000 км (нормальный износ); б) - пробег 6500 км (начальный повышенный износ); в) - пробег 8000 км (повышенный износ); г) - пробег 12000 км (предаварийный износ)

Рисунок 2 – Распределение диаметров частиц износа в моторном масле по данным измерения с помощью лазерного анализатора



а) нормальный износ; б) повышенный износ; в) предаварийный повышенный износ; г) аварийный износ.

Рисунок 3 – Интегральные кривые логарифмически-нормального распределения диаметров частиц износа по размерам для разных режимов эксплуатации моторных масел

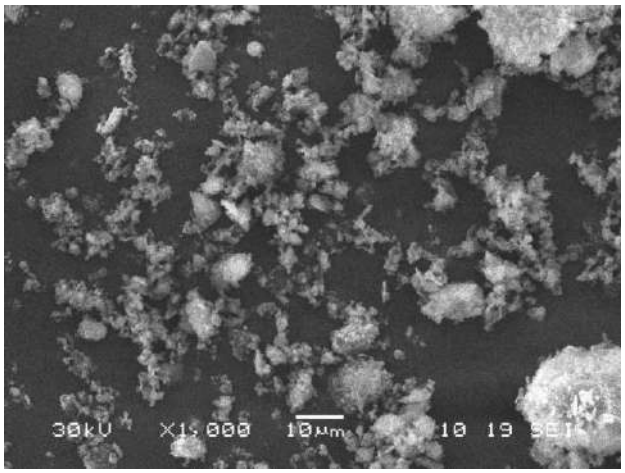


Рисунок 4 – Микрофотография частиц износа в моторном масле (пробег 6500 км)

Диагностика содержания некоторых элементов, в частности, металлов в работающем моторном масле необходима для составления программы планово-предупредительного обслуживания машин и механизмов. Аналогично оперативный контроль состояния масленых присадок по наличию элементов также требует различных мероприятий по техническому обслуживанию. Многоэлементный анализ в сочетании со знанием материалов, из которых изготовлен двигатель, часто позволяет идентифицировать приближающийся отказ конкретного компонента.

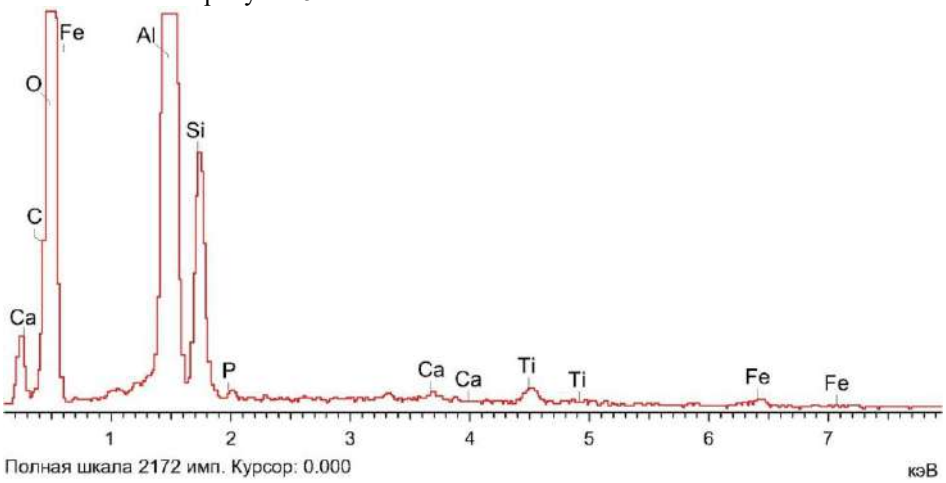
Благодаря этому заблаговременному предупреждению можно принять меры для исправления ситуации до того, как произойдет серьезное повреждение оборудования или несчастный случай с персоналом.

Для определения химических элементов примесей, содержащихся в моторном масле и изучения морфологии частиц износа в работе использована электронная микроскопия совместно с рентгено-спектральным микроанализом [7-9].

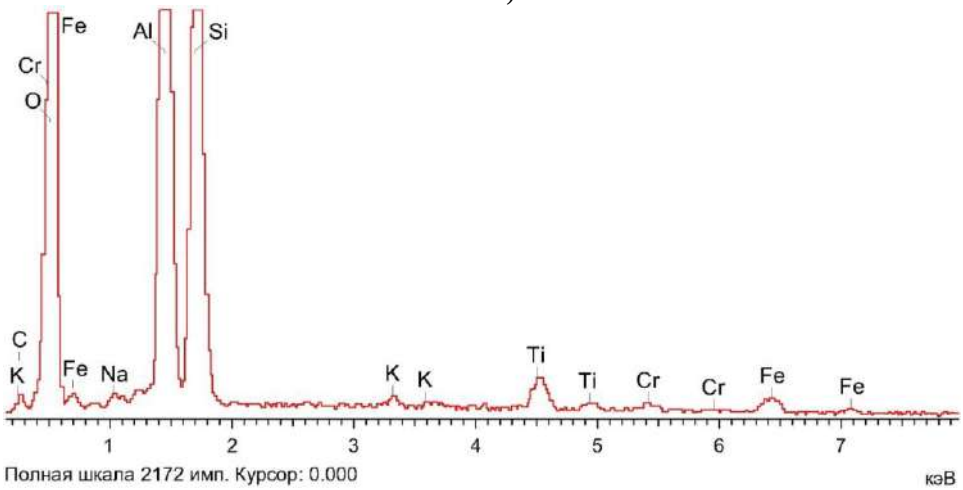
Отфильтрованные осадки масляных проб предварительно подвергались пиролитическому удалению органической составляющей, а полученный твердый остаток помещали на специальную подложку с проводящим клеем, покрывали пленкой коллоидного золота ионно-плазменным методом, после чего микроскопические препараты подложки устанавливали на предметный столик микроскопа.

Микроскопический анализ производили в растровом электронном микроскопе в режиме вторичных электронов, просматривая фотоснимки и проекции препарата на экран.

Рентгено-спектральный микроанализ выявил наличие определенных групп химических элементов показанных на рисунке 5.



а)



б)

а - пробег 4000 км, б - пробег 12000 км

Рисунок 5 – Результаты спектрального анализа образцов моторного масла

Находящиеся в отработанном моторном масле химические элементы отражают состояние элементов механизмов двигателя и условия их эксплуатации.

Результаты спектрального анализа образца моторного масла (рисунок 5,а) показывает наличие небольшого количества элементов металлов (продуктов износа деталей двигателя при их трибологическом взаимодействии) и элементов присадок, входящих в состав масел.

При этом следует отметить повышенную концентрацию алюминия и кремния. Причинами этого может быть повреждение поршней изготовленных из алюминиевого сплава либо проникновение пыли каолинового состава (глина), вследствие неисправности воздушной фильтровальной системы или из-за потери герметичности некоторых соединений. В дальнейшем попадание данных частиц в зоны трения вызывает механическое изнашивание соприкасающихся поверхностей.

На рисунке 5,б показаны результаты, характеризующие повышенный износ. Наличие легирующих элементов показывают срабатывание упрочняющего слоя элементов механизмов, в частности поршневых колец (Cr). Следует отметить снижение по сравнению с исходным уровнем элементов содержащихся в присадках (Ca, P). Наличие элементов (Na, K) свидетельствует об утечке охлаждающей жидкости.

Детальная расшифровка источников поступления металлов в рабочем моторном масле от двигателей дана в таблице 1.

Таблица 1 - Элементы, входящие в состав моторных масел, присадок и продуктов износа

Элемент	Источники поступления	Диагностический признак
Fe (Железо)	Конструктивный элемент деталей двигателя.	Износ поршневых и маслосъёмных колец, поршней, штока поршня, цилиндровых втулок, коленчатых и распределительных валов
Si (Кремний)	1.Проникновение в систему вместе с загрязненным воздухом (песок); 2. Входит в состав противопенных присадок. 3.Использование в качестве легирующей добавки в некоторые сплавы материалов деталей двигателя (поршней и коленчатых валов)	-Износ систем фильтрования; -Нарушение герметичности системы -Дополнительный показатель износа некоторых деталей
Al (Алюминий)	1.Проникновение в систему вместе с загрязненным воздухом (глина); 2. Конструктивный элемент деталей двигателя (поршней).	-Износ систем фильтрования; -Нарушение герметичности системы -Износ поршней
Cr (хром)	Использование в качестве легирующей добавки в некоторые сплавы материалов деталей двигателя	Износ поршневых и маслосъёмных колец
Ti (Титан)	Использование в качестве легирующей добавки в некоторые сплавы материалов деталей двигателя	Износ коленчатого и распределительного валов
Ca (Кальций)	1.Проникновение в систему вместе с загрязненным воздухом (мел); 2.Входит в состав нейтрализующих присадок.	-Износ систем фильтрования; -Нарушение герметичности системы -Срабатывание присадок
P (Фосфор)	Входит в качестве pH-буфера в состав противоизносных и антиокислительных присадок	Срабатывание присадок
K (калий)	Входит в качестве pH-буфера в состав охлаждающей жидкости	Утечка охлаждающей жидкости
Na (натрий)	Входит в качестве ингибитора в состав охлаждающей жидкости	Утечка охлаждающей жидкости

Резюмируя вышеизложенное, предлагается в качестве диагностического параметра трибомониторинга, являющегося показателем степени изнашивания деталей поршневой группы двигателя автомобильной техники сельскохозяйственного назначения использовать элементарную концентрацию железа в отобранных пробах машинного масла.

Представляет интерес полученная по результатам рентгеноспектрального микровзвешивания зависимость концентрации металла (C_{Fe}) в машинном масле от содержания кремния (C_{Si}), представленная на рисунке 6.

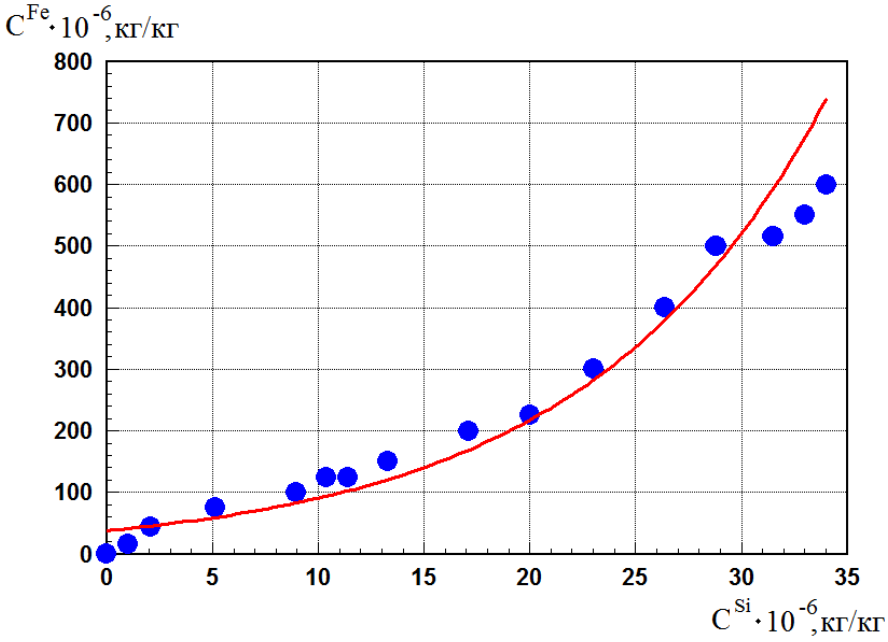


Рисунок 6 – Зависимость концентрации металла в машинном масле от содержания кремния

Данные, представленные на рисунке 6 хорошо аппроксимируются экспоненциальной зависимостью:

$$C_{Fe} = 37{,}8e^{0{,}087 C_{Si}},$$

Соотношение доказывает нелинейный характер изменения величины износа металлических частей двигателя от абразивного воздействия кремния. Ранее в литературе [10, 11] отмечалось наличие функциональной линейной зависимости, что снижало, на наш взгляд, точность прогнозирования ресурса машинного масла.

Выводы. Показано, что находящиеся в рабочем моторном масле элементы (главным образом металлы) - продукты износа деталей двигателя являются в задаче трибомониторинга и трибодиагностики диагностическими параметрами, адекватно отражающие состояние структурных элементов двигателей сельскохозяйственной техники, условия их смазывания и интенсивность нагружения.

Получены однозначные функциональные зависимости показателей: концентрации и размера металлических частиц износа в масле от интенсивности изнашивания поверхностей трения, а определенные при этом интегральные кривые логарифмически-нормального распределения диаметров частиц износа по размерам для разных режимов эксплуатации моторных масел, могут служить диагностическими диапазонами.

Получена зависимость, доказывающая нелинейный характер изменения величины износа металлических частей двигателя от абразивного воздействия кремния.

Список источников

1. Перспективы развития трибодиагностики / Л.В. Маркова и др. // Трение и износ. 2006. Т. 27, № 2. С. 175–184.

2. Надежкин, А. В. Мониторинг работающего моторного масла в системе обеспечения безопасной ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей / диссертация ... доктора технических наук по специальности ВАК РФ 05.08.05 – Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные). Владивосток, 2011

3. Григорьев М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей / М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий. М.: Изд-во стандартов, 1981. 232 с

4. Соколов А.И. Диагностирование современных ДВС по параметрам работающего масла / А.И. Соколов // Двигателестроение. 1989. № 10. С. 29–31.

5. Степанов В.А. Диагностика технического состояния узлов трансмиссии газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле / В.А. Степанов. - Рыбинск: ЦИАМ, 2002. - 232 с.

6. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / Л.: Химия, 1987. 264 с.

7. Smith M. Oil analysis vs. microscopic debris analysis: when and why to choose // Practicing Oil Anal. Mag. 2004. № 5. P. 111–124.

8. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П. И др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: В 2-х томах. Пер. с англ. М.: Мир, 1984.

9. Градус Л.Я. Руководство по дисперсному анализу методом микроскопирования. М.: Химия, 1979. 232 с.

10. Бойков Д.В., Борисов А.И., Ефремов В.Н. Диагностирование технического состояния дизелей городских автобусов по результатам анализа работавшего масла // Химия и технология топлив и масел. 1997. № 5. С. 41–43.

11. Носова Е.В. Метод замены моторных масел по фактическому состоянию: На примере грузовых автомобильных перевозок в условиях АПК: дис. к-та тех. наук: 05.20.03 / Носова Евгения Викторовна. Иркутск, 1995. 169 с.

References

1. Prospects for the development of tribodiagnostics / L.V. Markova et al. // Friction and wear. 2006. Vol. 27, No. 2. pp. 175-184.

2. Reliable, A.V. Monitoring of running engine oil in the system for ensuring safe resource-saving operation of marine diesel engines / dissertation... Doctor of Technical Sciences in the specialty of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation 05.08.05 – Ship power plants and their elements (main and auxiliary). Vladivostok, 2011

3. Grigoriev M.A. Engine oil quality and engine reliability / M.A. Grigoriev, B.M. Bunakov, V.A. Doletsky. M.: Publishing House of Standards, 1981. 232 p

4. Sokolov A.I. Diagnostics of modern internal combustion engines according to the parameters of the working oil / A.I. Sokolov // Engine building. 1989. No. 10. pp. 29-31.

5. Stepanov V.A. Diagnostics of the technical condition of transmission units of gas turbine engines according to the parameters of wear products in oil / V.A. Stepanov. - Rybinsk: CIAM, 2002. - 232 p.

6. Kouzov P.A. Fundamentals of the analysis of the dispersed composition of industrial dusts and crushed materials / L.: Chemistry, 1987. 264 p.

7. Smith M. Oil analysis vs. microscopic debris analysis: when and why to choose // Practicing Oil Anal. Mag. 2004. № 5. P. 111–124.

8. Gouldstein J., Newbury D., Etchlin P. And others. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: In 2 volumes. Trans. from English M.: Mir, 1984.

9. Gradus L.Ya. Guide to disperse analysis by microscopy. M.: Chemistry, 1979. 232 p.

10. Boikov D.V., Borisov A.I., Efremov V.N. Diagnostics of the technical condition of city bus diesels based on the results of the analysis of the working oil // Chemistry and technology of fuels and oils. 1997. No. 5. pp. 41-43.

11. Nosova E.V. The method of replacing motor oils according to the actual condition: On the example of truck transportation in the conditions of the agro-industrial complex: dis. k-ta of technical sciences: 05.20.03 / Nosova Evgeniya Viktorovna. Irkutsk, 1995. 169 p.

Информация об авторах

А.И.Малютин – соискатель; Е. А. Татаренков - кандидат технических наук; С.Ю. Панов - доктор технических наук; З.С. Гасанов - кандидат технических наук.

Information about the authors

A.Malyutin – applicant; E. Tatarenkov - Candidate of Technical Sciences; S. Panov - Doctor of Technical Sciences; Z. Gasanov - Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: А.И. Малиютин – обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведение экспериментальных исследований, подготовка рукописи; Е.А. Татаренков – выполнение расчетов, консультация в ходе исследования; С.Ю. Панов – формулировка цели и выводов, разработка методики исследований, анализ результатов исследований; З.С. Гасанов – обработка результатов экспериментов, подготовка и корректировка рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: A.Malyutin – review of literature sources on the problem under study, conducting experimental studies, preparing the manuscript; E.Tatarenkov - performing calculations, consulting during the study; S. Panov - formulation of goals and conclusions, development of research methodology, analysis of research results; Z. Gasanov - processing of experimental results, preparation and correction of the manuscript.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 18.05.2023 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2023

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 30.06.2023. Заказ № 23.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 17,22 усл. печ. л. Тираж 100 экз.