ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2023 № 2 (62)

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

№ 2 (62), 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
№ 2 (62), 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.; заместители главного редактора: Остриков В.В., Корнев А.Ю.
№2 (62). Дата выхода в свет: 28.04.2023. 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 И СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ, ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Шулаев Г.М., Милушев Р.К., Доровских В.И., Жариков В.С.
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ИЗ СЕМЯН РАСТОРОПШИ 7

Мещерякова Ю.В., Нагорнов С.А., Ложкина Е.Б.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКОВ МОТОРНОГО ТОПЛИВА В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАМЕРЕ АКТИВАТОРА 17

Казакевич П.П., Комлач Д.И., Юрин А.Н.
ОБОСНОВАНИЕ АЛГОРИТМА СОРТИРОВАНИЯ ПЛОДОВ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ 27

Сухаева А.Р., Хабардин Н.Х., Шуханов Н.Ш., Степанов Н.В.
МОДЕРНИЗАЦИЯ АППАРАТА ДЛЯ ОБМОЛОТА И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ХЛЕБНОЙ МАССЫ 38

Михальченков А.М., Филин Ю.И., Петракова Н.В.
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СКОРОСТНОГО ПЛУГА ПСКУ……..46

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

Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРИЕРА С АВТОРЕГУЛИРУЕМЫМ СКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ..... .54

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

Киров Ю.А., Киров В.А., Кирова Ю.З., Петушков А.В.
РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОКОМПЛЕКСОВ НА ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЕ С ВЫРАБОТКОЙ БИОГАЗА.....65

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

Родионов Ю.В., Деревянко Е.А., Ломовских А.Е., Пантелеев П.Т., Январёв В.С.
МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ БАЗЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ..... ..74

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

Остриков В.В., Жерновников Д.Н., Забродская А.В., Вязинкин В.С., Сафонов В.В.
ОЦЕНКА АНТИКОРРОЗИОННЫХ, ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ СОСТАВОВ МАСЕЛ ДЛЯ КОНСЕРВАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ 93

Остриков В.В., Кошелев А.В., Вязинкин В.С.
ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ДВИГАТЕЛЯХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ И МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ 106

Беляев А.Н., Афоничев Д.Н., Тришина Т.В., Новиков А.Е., Шередекин П.В., Высоцкая И.А.
ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА 115

Нагдаев В.К., Остриков В.В., Кошелев А.В., Жерновников Д.Н.
АТОМНО-АБСОРБЦИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗНОСА МОТОРНЫХ МАСЕЛ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ 127

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА, РЕМОНТА, ХРАНЕНИЯ, РЕЦИКЛИНГА, УТИЛИЗАЦИИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Бородин А.А., Родионов Ю.В., Ломовских А.Е., Январев В.С., Деревянко Е.А., Скоморохова А.И.
ТРУДОЕМКОСТЬ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТЕХНИКИ 135

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАШИН, АГРЕГАТОВ, РАБОЧИХ ОРГАНОВ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Подрубалов М.В., Мехедов М.А.
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТРАКТОРОВ ДЛЯ РАБОТЫ НА СКЛОНАХ……..147

CONTENTS

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

Shulaev G., Milushev R., Dorovskikh V., Zharikov V.
MANUFACTURING TECHNIQUES OF THE FODDER ADDITIVE FROM THISTLE SEEDS ... 7
Meshcheryakova Y., Nagornov S., Lozhkina E.
NUMERICAL SIMULATION OF THE FLOW OF MOTOR FUEL FLOWS IN AN ULTRASONIC ACTIVATOR CHAMBER 17
Kazakevich P., Komlach D., Yurin A.
SUBSTANTIATION OF THE ALGORITHM FOR PERFORMING THE PROCESS OF FRUIT SORTING BY A VISION SYSTEM 27
Sukhaeva A., Khabardin V., Shukhanov S., Stepanov N.
MODERNIZATION OF THE APPARATUS FOR THRESHING AND GRINDING MASS.....38
Mikhalchenkov A., Filin Yu., Petrakova N.
SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGIES FOR STRENGTHENING AND RESTORING PARTS OF THE WORKING BODIES OF THE HIGH-SPEED PLOW OF THE PSKU……..46

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

Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovich S.
RESULTS OF EXPLORATION STUDIES OF THE TRIERE WITH AUTO-REGULATING SPEED MODE 54

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

Kirov Y., Kirov V., Kirova Y., Petushkov A.
RATIONAL TECHNOLOGY OF UTILIZATION OF PIG FARM MANURE EFFLUENTS FOR ORGANIC FERTILIZER WITH BIOGAS PRODUCTION.....65

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

Rodionov Y., Derevianko E., Lomovskih A., Panteleev P., Yanvarev V.
METHODOLOGY FOR SUBSTANTIATING THE STRUCTURE AND CHARACTERISTICS OF THE REPAIR AND MAINTENANCE BASE SYSTEM THAT ENSURES THE OPERABILITY OF MODERN EQUIPMENT..... ..74

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

Ostrikov V., Zhernovnikov D., Zabrodskaya A., Vyazinkin V., Safonov V.
EVALUATION OF ANTICORROSION, ANTIWEAR PROPERTIES OF OIL COMPOSITIONS FOR PRESERVATION OF ENGINES OF GRAIN HARVESTERS 93
Ostrikov V., Koshelev A., Vyazinkin V.
CHANGING THE CHARACTERISTICS OF MOTOR OILS IN COMBINE HARVESTER ENGINES DURING OPERATION AND OFF-SEASON STORAGE……106
Belyaev A., Afonichev D., Trisina T., Novikov A., Sheredekin P., Vysotskaya I.
THE INFLUENCE OF THE RIGIDITY OF THE HINGED SYSTEM ON THE STABILITY OF THE CURVED MOVEMENT OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT 115
NagdaevV., Ostrikov V., Koshelev A., Zhernovnikov D.
ATOMIC ABSORPTION METHOD OF CONTROL OF WEAR ELEMENTS OF MOTOR OILS IN VARIOUS APPLICATION CONDITIONS..... 127

ORGANIZATION OF TECHNICAL SERVICE, REPAIR, STORAGE, RECYCLING, UTILIZATION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

Borodin A., Rodionov Yu., Lomovskih A., Yanvarev V., Derevyanko E., Skomorokhova A.
LABOR-INDUSTRY OF REPAIR WORKS DURING RESTORATION OF EQUIPMENT..... 135

SCIENTIFIC FOUNDATIONS FOR THE DESIGN AND CREATION OF NEW MACHINES, UNITS, WORKING BODIES, ACTUATORS

Podrubalov M., Mekhedov M.
DESIGN FEATURES OF TRACTORS FOR WORK ON SLOPES……147

Тип статьи: научная
УДК 636.087.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-7-16

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ИЗ СЕМЯН РАСТОРОПШИ

Геннадий Михайлович Шулаев [1], Ринат Келимулович Милушев [2], Владимир Иванович Доровских [3], Вадим Сергеевич Жариков [4]
[1,2,3,4]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*
[1]tniij@yandex.ru, [2]july55@yandex.ru, [3]dorovskih50@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Владимир Иванович Доворских, dorovskih50@mail.ru
Corresponding author: Vladimir Dorovskikh, dorovskih50@mail.ru

Реферат. *Технологический регламент производства комплексной кормовой добавки для высокопродуктивных животных разработан. Ее состав из семян расторопши и биологически активных веществ (пробиотик, бетаин и витамин Е) обоснован. Технологические режимы обработки семян расторопши, приготовления премикса из биологически активных веществ, способы подготовки и смешивания компонентов, контроля качества продукции отработаны на серийном оборудовании кормоцеха (дробилка, передвижной транспортер, комбикормовый агрегат «Доза»). Технологическая линия приготовления сырья и производства кормовых добавок разработана с использованием принципа циклично-периодического действия имеющегося в кормоцехе оборудования. Изготовлен экспериментальный образец кормовой добавки следующего состава, в % по массе: семя расторопши –92,76; пробиотик «профорт» – 6,00; бетаин гидрохлорид (97%) - 1,20; витамин Е (50%) – 0,04 (в скобках указана активность препарата). Использование в рационе высокопродуктивных сухостойных коров этой кормовой добавки в количестве 0,4 кг в сутки на голову повышает молочную продуктивность животных на 4,3%. Применение кормового средства способствовало сокращению времени на отделение последа по сравнению с контрольными животными на 2,4 часа. Животные из группы, получавшей с кормом добавку, характеризовались лучшей воспроизводительной способностью. Через 44 дня они были осеменены после отела, из контрольной группы были осеменены через 79 дней, или на 35 дней позднее. Добавку из семян расторопши и биологически активных веществ можно изготовить в условиях хозяйств, используя имеющееся оборудование.*

Ключевые слова: *кормовая добавка, семена расторопши, технология приготовления, оборудование.*

MANUFACTURING TECHNIQUES OF THE FODDER ADDITIVE FROM THISTLE SEEDS

Gennady Shulaev [1], Rinat Milushev [2], Vladimir Dorovskikh [3], Vadim Zharikov [4]
[1,2,3,4]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]tniij@yandex.ru, [2]july55@yandex.ru,[3]dorovskih50@mail.ru

Abstract. *Technological regulations for the production of a complex feed additive for highly productive animals have been developed. Its composition of milk thistle seeds and biologically active substances (probiotic, betaine and vitamin E) is justified. Technological regimes for processing milk thistle seeds, preparing a premix from biologically active substances, methods for preparing and mixing components, and controlling the quality of products have been worked out on the serial equipment of the feed shop (crusher, mobile conveyor, Doza feed unit). The technological line for the preparation of raw materials and the production of feed additives was developed using the principle of cyclic-periodic*

operation of the equipment available in the feed shop. An experimental sample of the feed additive was made with the following composition, in % by weight: milk thistle seed -92.76; probiotic "Profort" - 6.00; betaine hydrochloride (97%) - 1.20; vitamin E (50%) - 0.04 (the activity of the drug is indicated in brackets). The use of this feed additive in the diet of highly productive dry cows in the amount of 0.4 kg per day per head increases the milk productivity of animals by 4.3%. The use of the feed agent contributed to a reduction in the time for separation of the placenta compared with control animals by 2.4 hours. Animals from the group that received the supplement with feed were characterized by better reproductive ability. After 44 days they were inseminated after calving, from the control group were inseminated after 79 days, or 35 days later. An additive from milk thistle seeds and biologically active substances can be made on farms using existing equipment.

Keywords: *the fodder additive, thistle seeds, technology of preparation, equipment.*

Для цитирования: Шулаев Г.М., Милушев Р.К., Доровских В.И., Жариков В.С. Особенности технологии изготовления кормовой добавки из семян расторопии // Наука в центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 7-16. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-7-16.

For citation: Shulaev G., Milushev R., Dorovskikh V., Zharikov V. Manufacturing techniques of the fodder additive from thistle seeds. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 7-16. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-7-16.

Введение. Расторопша пятнистая (*Silybum marianum* (L) Gaertn) содержит комплекс полезных биологически активных веществ, которые участвуют в регуляции многих обменных процессов в организме животных [1,2]. Поэтому в последние годы во многих странах проявляют большой интерес к ее семенам. Ведётся поиск наиболее эффективных способов их использования в кормления животных в виде побочных продуктов маслоэкстракционной промышленности (жмыхи и шроты) [3,4,5]. Применяются они и как основной компонент функциональных добавок, обеспечивающих коррекцию гепатопатий различной этиологии, укрепления естественной резистентности, коррекции метаболических процессов в организме, повышения сохранности и продуктивности животных [6,7,15,16].

Высокопродуктивные животные предрасположены к заболеваниям печени из-за интенсивного обмена веществ [8,9]. Печень является органом, от состояния которого зависят обменные процессы, резервные и компенсаторные возможности организма, и в конечном счете продуктивные качества животных. Поэтому поиск путей, обеспечивающих работу печени без отклонений от нормы необходим [10,11].

Одним из вариантов решения этой проблемы является использование гепатопротекторов растительного происхождения, в составе которых содержатся плоды растения расторопши пятнистой. Ее флаволигнаны, объединенные под общим названием «силимарин», являются ведущей группой биологически активных веществ в этом растении. Гепатопротекторное действие силимарина проявляется в защите клеток печени от неблагоприятных воздействий различного происхождения [10,12,].

В современной научной литературе приводятся экспериментальные данные по влиянию расторопши на организм крупного рогатого скота. Скармливание в составе корма лактирующим коровам шрота из расторопши способствует повышению среднесуточного удоя, содержания жира и белка в молоке, улучшает его аминокислотный состав, переваримость питательных веществ рациона [2,3,4,

Расторопша и продукты ее переработки хорошо сочетаются с другими биологически активными веществами как природного, так и искусственного происхождения [13 - 15]. Ее использование в качестве основного компонента при создании новых кормовых добавок для сельскохозяйственных животных является актуальным. Перспективным может быть сочетание семян расторопши с витамином Е и донором метильных групп, осмопротектором и гепатопротектором - бетаином [17, 18, 19]. Особый интерес такая добавка представляет для молочного скотоводства, в частности, при использовании в рационах кормления сухостойных коров.

Цель исследований – повышение эффективности биологического звена биотехнических систем в молочном скотоводстве за счет использования кормовой добавки из семян расторопши пятнистой и биологически активных компонентов в кормлении сухостойных коров.

Материалы и методы. В лабораторных условиях определялись показатели, необходимые для промышленного производства кормовых добавок и комбикормов с использованием зерна расторопши. Для этого были отработаны оптимальные способы размола ее зерна и приготовления кормовой добавки. Выяснялись свойства цельного и размолотого зерна по крупности, коэффициентам трения, аэродинамическим свойствам.

Качественные показатели расторопши были представлены производителем, а экспериментальной кормовой добавки определяли с помощью программы «Корм Оптима». Разработан рецепт добавки для сухостойных коров. В ее состав входят следующие компоненты, в % по массе (таблица 1).

Таблица 1 – Состав компонентов в добавке

Наименование компонента в добавке	Количество, %
Размолотое зерно расторопши	92,76
Профорт (пробиотик)	6,00
Бетаин гидрохлорид (97%)	1,20
Витамин Е (50%) сыпучий	0,04

Апробация добавки проводилась в колхозе - племзаводе им. В.И. Ленина Тамбовской области. Для проведения исследований было подобрано две группы (по 5 животных - парных аналогов в каждой) сухостойных коров черно – пестрой породы 2 – 3 лактации с удоем 5 - 7 тыс. кг молока и ожидаемым сроком отела через 30 – 35 дней. Условия содержания и кормления для всех животных были одинаковые. Содержалось поголовье в условиях принятой в хозяйстве технологии для сухостойных коров: капитальном двухрядном помещении, привязное. Полы – деревянный настил на бетонном основании. Раздача кормосмесей на кормовой стол утром и вечером миксером, поение из автопоилок, уборка навоза транспортером. За неделю до ожидаемого отела коров переводили в родильное отделение, где они также получали кормовую добавку. Опыт проводился по представленной ниже схеме (таблица 2).

Таблица 2 - Схема опыта

Группа	Количество коров	Условия кормления
Контрольная	5	Рацион, принятый на ферме (ОР)
Опытная	5	ОР + кормовая добавка на основе зерна расторопши и БАВ

Кормовая добавка выдавалась каждой корове из опытной группы индивидуально, вручную, утром по 0,4 кг в течение месяца до отела. Кормили подопытных животных по принятому в хозяйстве рациону, кг: сено злаково-бобовое-4; силос кукурузный - 25; дробина пивная влажная - 3; концентраты - 3; монокальций фосфат - 0,1; мел кормовой - 0,05; соль поваренная – 0,05, патока – 0,5. В рационе содержалось 132,8 Мдж обменной энергии, 1600 г сырого протеина, 99 г кальция, 55 г фосфора, 565 мг каротина, он соответствовал современным нормам кормления [20].

При апробации экспериментальной добавки в производственных условиях состояние животных оценивали по биохимическим и морфологическим показателям крови, а также микробиому желудочно-кишечного тракта. Анализы крови на различные интерьерные показатели проводили в ветеринарно – диагностическом центре «Вета» г. Тамбов, а микробный состав фекалий устанавливали в бактериологической лаборатории Тамбовской областной клинической больницы. Активность ферментов крови определялась в клинико – биохимической лаборатории Областной детской поликлиники г. Тамбова. При интерпретации результатов пользовались современными нормативами [21,22].

Результаты и их обсуждение. Семена расторопши хорошо изучены с фармакологической стороны, однако их использование как кормового средства требует дополнительных знаний [7]. Поэтому в лабораторных условиях был проведен комплекс исследований по изучению различных характеристик зерна, необходимых при изготовлении кормовых добавок.

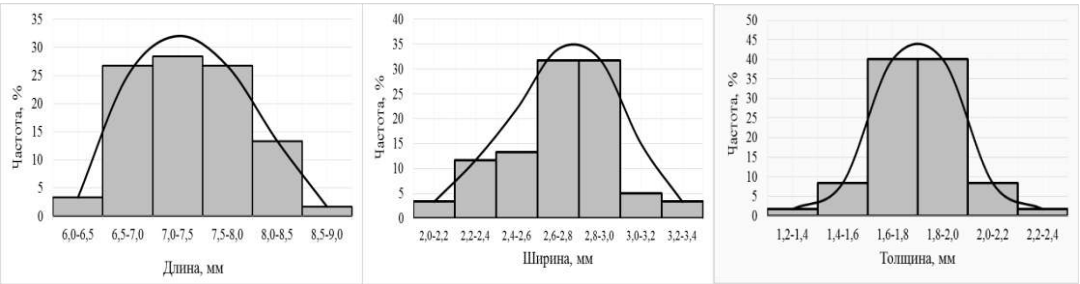
Зерно расторопши пятнистой урожая 2021 г. в качестве опытного образца было завезено из ООО «Истобное» Воронежской области. Его качественная характеристика показана в таблице 3.

Таблица 3 –Качественные показатели зерновки расторопши пятнистой

Показатели	Ед. изм.	Значения
Влажность	%	6,67
Массовая доля сырого жира	%	26,69
Кислотное число	мг/КОН	1,2
Сумма флаволигнанов в пересчете на силибин	%	4,61

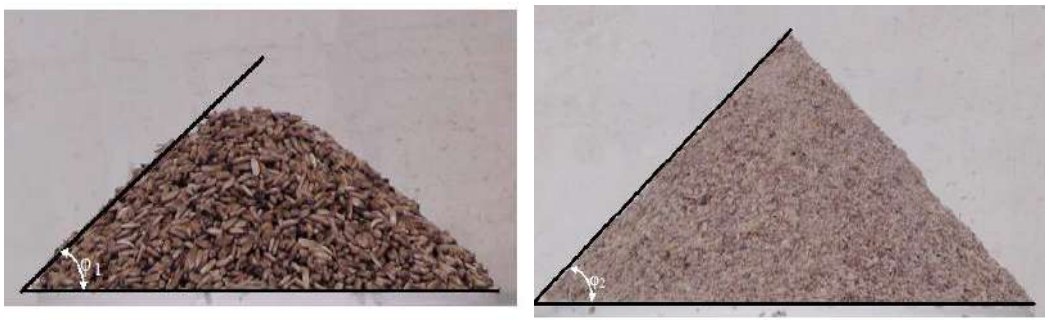
Из таблицы видно, что в зерне расторопши содержится значительное количество жира (26,69%) и ценных биологически активных веществ – флаволигнанов, которые составляют в пересчете на силибин 4,61%. Расторопша пятнистая является ценным и высокопитательным кормовым средством. Она содержит значительное количество обменной энергии, сырого протеина, незаменимых аминокислот: обменной энергии - 12,43 мДж, сырого протеина - 16,6%, незаменимых аминокислот - 5,42%.

При фракционировании зерновки установлено, что гранулометрические показатели зерна (длина, ширина, толщина) варьируют в широких пределах. На рисунках 1 и 2 представлена полная характеристика по этим показателям.



M = 7,34; σ = 0,55 M = 2,9; σ = 0,26 M = 1,7; σ = 0,18

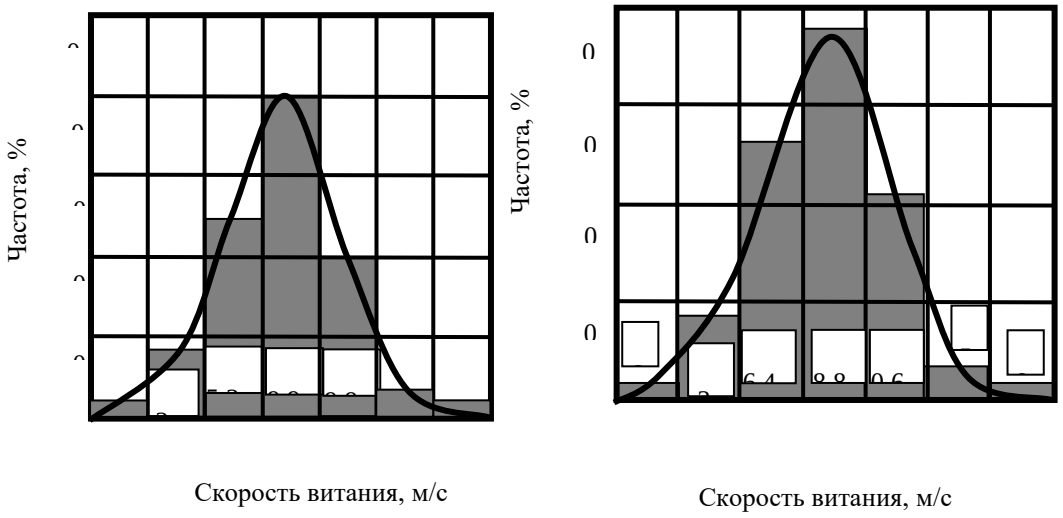
Рисунок 1 - Распределения зерновок по длине, ширине и толщине



$\varphi_1 = 34^o$; $tg\varphi_1 = 0,672$ $\varphi_2 = 42^o$; $tg\varphi_2 = 0,896$

Рисунок 2 - Углы естественного откоса цельного и размолотого зерна расторопши

Анализы показали, что средние размеры зерна расторопши находятся в пределах по длине – 7,34 мм, ширине – 2,90 мм, толщине – 1,70 мм, а угол естественного откоса цельного зерна составляет $\varphi_1 = 34^o$, размолотого зерна $\varphi_2 = 42^o$. Показателем сыпучести цельного и размолотого зерна является коэффициент внутреннего трения. Полученные данные свидетельствуют, что цельное и размолотое зерно расторопши можно относить к группе сыпучих. Этот показатель имеет практическое значение при использовании размолотого зерна расторопши в качестве добавки и одновременно как наполнителя для равномерного смешивания компонентов с биологически активными веществами. При помощи разработанной в ФГБНУ ВНИИТиН установки для определения скоростей витания частиц сыпучих материалов (парусный классификатор) построены полигоны распределений скоростей витания зерновок расторопши (рисунок 3, а) и частиц дробленого зерна (рисунок 3, б)



а) б)

Рисунок 3 - Полигоны распределений скоростей витания зерновок расторопши и частиц дробленого зерна

Из рисунка 3 следует, что для зерна расторопши скорость воздушного потока пневмотранспортных систем должна быть более 10 м/с, а для дробленки с гранулометрическим составом в пределах 1 – 3 мм – более 4 м/с. Характерной особенностью зерна расторопши является сравнительно высокая его твердость в отличии от фуражных зернобобовых культур. В связи с этим возникают определенные особенности его размола. Были проведены исследования по оптимизации технологии размола зерна расторопши на экспериментальной молотковой дробилке с частотой вращения 2840 об/мин. При этом использовались решета с размером отверстий 3, 4 и 5 мм. Результаты размола зерна обеспечили получение следующего фракционного состава продукта на выходе (таблица 4).

Таблица 4 – Фракционный состав дробленого зерна расторопши при разном размере отверстий решет

Размер фракции, мм	Содержание фракции, % при размере отверстий решета, мм		
	3,0	4,0	5,0
< 1,0	1,2	0,8	0,7
1,0-2,0	89,5	83,7	78,0
2,0-3,0	9,1	15,1	18,9
> 3,0	0,2	0,4	2,4

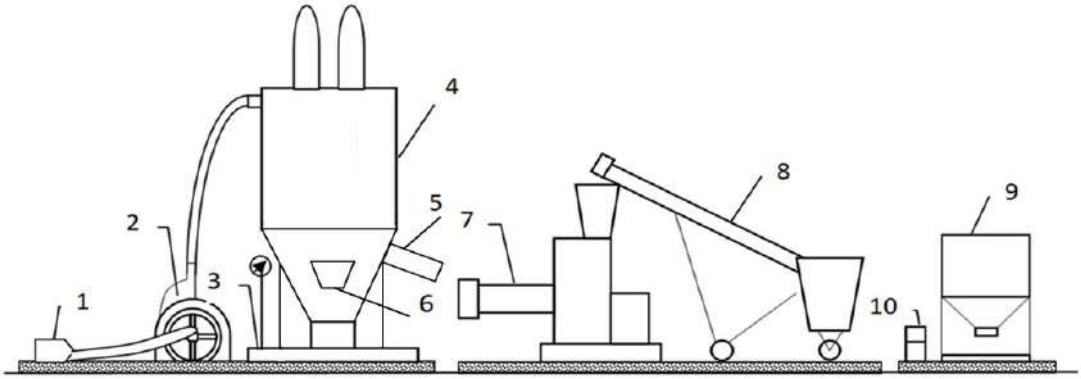
Экспериментальные исследования процесса размола зерна расторопши показали, что пропускная способность для решет с диаметром отверстий 3, 4 и 5 мм составляет соответственно 110, 155 и 215 кг/час. При этом с уменьшением диаметра отверстий решет происходит снижение производительности дробилки примерно в 1,5 - 2,0 раза и наблюдается нагревание готового продукта на выходе до 65-70ºС. Оптимальный фракционный состав обеспечивает решето с отверстием 5 мм причем без разогрева массы. Объемная масса зерна расторопши составила 0,796 г/см^3, а размолотого зерна – 1,177 г/см^3. Размолотое зерно расторопши является хорошим наполнителем для изготовления на его основе кормовых добавок животным [15].

В лабораторных условиях на основе размолотого зерна расторопши методом ступенчатого смешивания компонентов был изготовлен опытный образец (80 кг) кормовой добавки для испытания на сухостойных коровах. Взвешивание компонентов проводилось на обычных и лабораторных тензовесах. Предварительно из биологически активных веществ и наполнителя (размолотая расторопша) приготовили премикс, который затем ступенчато смешивали с основной массой кормовой добавки.

Качественная характеристика кормовой добавки на основе зерна расторопши и биологически активных веществ следующая: содержание в 1кг обменной энергии 12,5 МДж, сырого протеина 16,69%, сырой клетчатки 17,10 %, сырого жира 24,43%, кальция 0,70%, фосфора 0,64%, витамина Е 217 мг.

Разработан технологический регламент приготовления кормовых добавок и комбикормов с их использованием на имеющемся отечественном оборудовании кормоцеха (рисунок 4).

Схема технологического процесса приготовления различных кормовых добавок и комбикормов представлена ниже на рисунке 4.



Модуль дозирования и смешивания компонентов | Модуль экструдирования | Модуль приготовления премиксов

1 – пневмозабор; 2 – дробилка; 3 – тензовесы с индикатором; 4 – смеситель; 5 – канал разгрузочный; 6 – канал загрузочный; 7 – экструдер; 8 - транспортер мобильный; 9 – смеситель премиксов; 10 – тензовесы.

Рисунок 4 – Модульное производство кормовых добавок и комбикормов

Приготовление кормовой добавки на основе зерна расторопши простое, так как зерно не содержит антипитательных веществ, не требует затратной баротермической обработки, достаточно только его размола.

Порядок проведения работ в технологии приготовления кормовой добавки следующий: размол зерна и подача его пневмотранспортером из дробилки в кормосмесительный комбикормовый агрегат «Доза». Индикатор тензовесов кормосмесителя позволяет оператору кормоцеха контролировать подачу нужного количества по массе компонентов.

Затем на малом смесителе приготовляют премикс из биологически активных веществ для обогащения кормовой добавки. Работа проводится в ручном режиме. Согласно рецепту,

взвешивают компоненты биологически активных веществ. Наполнителем для премикса служат семена молотой расторопши, или пшеничные отруби.

В расчете на 10 кг наполнителя вводят: витамин Е (50%9) 0,4 кг и бетаин гидрохлорид (97%) 12 кг. После смешивания премикс в количестве 2,2% или 22 кг на 1 т размолотого зерна расторопши вводят в смеситель «Доза». Потом загружают пробиотик «Профорт» 6,0% к массе или 60 кг на 1 т размолотого зерна расторопши.

После смешивания всех компонентов в комбикормовом агрегате «Доза» готовая кормовая добавка выгружается в мешкотару на хранение и дальнейшее использование.

По такой же схеме при циклично периодическом использовании имеющего в кормоцехе оборудования может быть организовано производство других кормовых добавок и различных комбикормов. Для этого необходимо иметь их рецептуру. В тех случаях, когда требуется экструдирование некоторых компонентов, эту работу следует проводить заранее.

Представленная технология производства кормовых добавок и комбикормов на базе отечественного оборудования проста, практична и доступна для многих ферм и молочных комплексов, имеющих высокопродуктивное поголовье скота. За счет этого, может быть кардинально решен вопрос улучшения процесса управления качеством кормления животных и более полной реализации их продуктивного потенциала, укрепления экономического благополучия хозяйств.

Добавка была апробирована в производственных условиях. Она использовалась в кормлении сухостойных коров. При этом контролировали потребление кормов, систематически визуально оценивали ход процесса пищеварения у коров по состоянию внешнего вида фекалий. У всего подопытного поголовья не установлено наличия в их составе грубых волокон и дробленого зерна в непереваренном виде. Фекалии имели однородную структуру без наличия непереваренных остатков и слизи. Консистенция фекалий была полугустая, сформированная, нерастекающаяся при падении, случаев диареи не отмечено. Эти факты свидетельствовали о нормальном процессе пищеварения как у контрольных, так и у опытных животных [3]. Бактериологическими исследованиями установлено преобладание в микробиоме кишечника коров полезной микрофлоры: бифидобактерий в количестве 10^8 – 10^{10} и лактобатерий – 10^5 КОЕ/г. О хорошей переваримости добавок, содержащих расторопшу и продукты ее переработки, сообщают и другие исследователи [2, 4].

Коровы из опытной группы характеризовались лучшей воспроизводительной способностью. Эти животные были осеменены через 44 дня после отела, а из контрольной – 79 дней, или на 35 дней позднее. Эти результаты согласуются с таковыми, полученными в работах других исследователей [2, 19].

При исследовании крови сухостойных коров у них были выявлены различия в показателях обмена веществ. Скармливание с кормом добавки животным, привело к микросдвигам в нем. Выявленные повышенные количества общего билирубина, гемоглобина, эритроцитов, меньшее содержание в крови прямого билирубина, высокий показатель гематокрита и пониженное количество тромбоцитов в крови у опытных коров свидетельствовали о интенсивных окислительно-восстановительных процессах в их организме. Видимо комплекс биологически активных веществ, содержавшийся в рационе с добавкой, благоприятно воздействовал на обмен веществ у коров из опытной группы. На этой основе в последующем полнее реализовывался их генетический потенциал продуктивности. Контрольное доение подтвердило более высокую продуктивность у этих животных (24 кг молока против 23). О таком эффекте от использования кормовых средств, содержащих в своем составе компоненты из расторопши, сообщается и в других исследованиях [2, 3, 4, 19, 23].

Использование кормовой добавки на основе расторопши и биологически активных веществ в рационах сухостойных коров было экономически целесообразно. Такой прием позволил получить дополнительно на корову доход в размере 520 рублей за счет улучшения качества приплода: более высокой живой массы телят при рождении и энергии их роста в последующем, а также от увеличения молочной продуктивности коров после отела.

Выводы. Установлены характеристики зерна расторопши, необходимые при изготовлении кормовых добавок. Обоснован состав кормовой добавки на основе семян расторопши пятнистой и

биологически активных веществ, разработан технологический регламент ее приготовления на отечественном оборудовании, определены качественные характеристики добавки.

Производственная апробация показала, что использование кормовой добавки в рационах сухостойных коров за месяц до отела не оказало отрицательного влияния на пищеварение. У животных улучшается обмен веществ в организме и воспроизводительная способность. Повышает удой у коров на 4,3%. По прямым затратам дополнительный доход от использования добавки составил в расчете на одну корову 520 рублей.

Список источников

1. Корыляк М. З. Фитотерапевтические свойства расторопши пятнистой и ее использование в кормлении животных// Рыбохозяйственная наука Украины.- 2013. - №4. – С. 97 -108.

2. Калугина Л. Расторопша в Коелге: сезон третий // Комбикорма.- 2019.- № 6.-С.6-8. 3. Продуктивность и обмен веществ у лактирующих коров при скармливании шрота из расторопши / М.Г. Чабаев И.В. Рыжков Н.В. Николайченко В.А. Хабибуллина // Зоотехния. – 2011. - №6. – С. 8-10.

4. Кравайнис Ю. Я., Танифа В. В., Кравайне Р. С. Применение жмыха расторопши в скотоводстве // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2014. - №4. – С. 44 - 46.

5. Мацнева В.В., Доева Е.Г., Кочиева И.В. Характеристика шрота расторопши как источника ценных компонентов в питании с/х животных // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 7-2. – С. 90-91.

6. Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Злобина Е. Ю. Новые биологически активные вещества для обеспечения экологической безопасности и повышения качества молока // Пищевая промышленность. – 2012. - №12. – С. 32-34.

7. Шемуранова Н. А., Гарифуллина Н. А. Растения как основа для создания экологически безопасных высокофункциональных биодобавок для животных // Аграрная наука Евро-Северо-Востока.- 2020. - №21(5. – С.483-502.

8. Алехин Ю. Н. Болезни печени у высокопродуктивных коров (диагностика, профилактика и терапия). Ветеринария. – 2011. - №6. – С. 3-7.

9. The use of silymarin in the treatment of liver diseases / R. Saller, R. Meier, R. Brignoli // Drugs.- 2001. - №61(14). – P.2035-2063. DOI: doi.org/10.2165/00003495-200161140-00003

10. The potential of silymarin for the treatment of hepatic disorders / C. Hellerbrand, J.M. Schattenberg, P. Peterburs, A. L. R. Brignoli // Clinical Phytoscience. – 2016. - №2(7). – P.1-14.

11. Hepatoprotective effect of oral application of a silymarin extract in carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats / A. Mahli, A. Koch, B.Czech, P. Peterurs, A. Lechner, J. Haunschild, M. Müller, C. Hellerbrand // Clinical Phytoscience.- 2015. - №1. – P.5.

12. Wellington K., Jarvis B. Silymarin: a review of it's clinical properties in the management of hepatic disorders // BioDrugs.- 2001. - №15. – P.465 - 489. DOI: 10.2165/00063030-200115070-00005

13. Пат.2283594 Российская Федерация, МПК A23K1/16. Способ откорма бычков / И.Ф. Горлов, Т.Г. Серебрякова, М.И. Сложенкина, А.В. Ранделин, Н.А. Лупачева, В.Н. Струк, Н.Г. Чамурлиев; патентообладатель Государственное учреждение Волгоградский научно-исследовательский технологический институт мясо-молочного скотоводства и переработки продукции животноводства Россельхозакадемии. - № 2005117085/13; заявл. 03.06.2005; опубл. 20.09.2006, Бюл. № 26.

14. Пат. 2405376 Российская Федерация, A23K1/16. Премикс для лактирующих коров / И.Ф. Горлов, С.Е. Божкова, Г.В, Волколупов, А.И. Струк, Д. А. Ранделин, А.С. Мохов; патентообладатель Государственное учреждение Волгоградский научно-исследовательский технологический институт мясо-молочного скотоводства и переработки продукции животноводства Россельхозакадемии. - № 2009103529/13; заявл. 03.02.2009; опубл.10.12.2010, Бюл. № 34.

15. Пат. 2306717 Российская Федерация, A 23 K 1/00, A 23 K 1/16. Наполнитель премиксов / И.Ф, Горлов, И.М. Осадченко, Д.А. Скачков, М.И. Сложенкина, А.Ф. Злепкин, В.Н. Храмова, Н.Г. Чамурлиев, А.А. Ряднов; патентообладатель Государственное учреждение Волгоградский научно-исследовательский технологический институт мясо-молочного скотоводства и переработки

продукции животноводства Россельхозакадемии. - № 2005136257/13; заявл. 22.11.2005; опубл. 27.09.2007, Бюл.№ 27.

16. Пат. 2477614 Российская Федерация, A23K1/16 A23K1/14. Способ получения комплексной биологически активной кормовой добавки для сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы с пробиотиками и лекарственными травами / В.Г. Правдин, Л. З. Кравцова, Н.А. Ушакова; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-технический центр биологических технологий в сельском хозяйстве" . - № 2011128157/13; заявл. 11.07.2011; опубл. 20.03.2013 Бюл. № 8.

17. Day C.R., Kempson S.A. Betaine chemistry, roles, and potential use in liver disease // Biochim. Biophys. Acta. – 2016. – vol. 1860(6). – P.1098. doi:10.1016/j.bbagen. 2016.02.001

18.Разумовский Н. П. Витамин Е в питании коров // Наше сельское хозяйство. – 2022. – № 2(274). – С.10 - 13.

19. Волкова Г.А., Гордеева А.К. Влияние витаминно-минеральной добавки «Буренка» на рост и развитие нетелей казахской белоголовой породы // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. – п.Молодежный, 2020. – С.19 – 25.

20. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах / Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева и др. – Москва, 2018. – 290 с.

21. Васильева С. В., Конопатов Ю. В. Клиническая биохимия крупного рогатого скота.— СПб.: Издательство «Лань», 2017.— 188 с.

22. Гусев И.А., Рыков Р.А. Референтные интервалы биохимических показателей крови для контроля полноценности кормления молочного скота .- Молочное и мясное скотоводство. - 2018. - №6. - С. 22 - 25.

23. Комплексный препарат силимарина увеличивает удой, содержание жира и белка в молоке коров в период раздоя / Д.Ю. Григорьев, Е.А. Жмаев, А.А. Лебедев, Д.А. Пирогов // Молочное и мясное скотоводство. - 2019. - №6. – С. 47 - 50.

References

1. Korylyak M. Z. Phytotherapeutic properties of milk thistle and its use in animal feeding // Fishery science of Ukraine. - 2013. - No. 4. - S. 97 -108.

2. Kalugina L. Milk thistle in Koelga: third season // Compound feed.- 2019.- No. 6.-C.6-8.

3. Productivity and metabolism in lactating cows fed milk thistle meal / M.G. Chabaev I.V. Ryzhkov N.V. Nikolaychenko V.A. Khabibullina // Zootechnics. - 2011. - No. 6. - S. 8-10.

4. Kravainis Yu. Ya., Tanifa VV, Kravaine RS The use of milk thistle cake in cattle breeding // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2014. - No. 4. - P. 44 -46.

5. Matsneva V.V., Doeva E.G., Kochieva I.V. Characterization of milk thistle meal as a source of valuable components in the nutrition of agricultural animals // Modern high technologies. - 2014. - No. 7-2. - S. 90-91.

6. Gorlov I. F., Mosolova N. I., Zlobina E. Yu. New biologically active substances to ensure environmental safety and improve the quality of milk // Food industry. - 2012. - No. 12. - S. 32-34.

7. Shemuranova N. A., Garifullina N. A. Plants as a basis for creating environmentally friendly highly functional dietary supplements for animals // Agrarian science of the Euro-North-East. - 2020. - No. 21 (5. - P. 483-502.

8. Alekhin Yu. N. Liver diseases in highly productive cows (diagnosis, prevention and therapy). Veterinary. - 2011. - No. 6. - P. 3-7.

9. The use of silymarin in the treatment of liver diseases / R. Saller, R. Meier, R. Brignoli // Drugs. - 2001. - No. 61(14). - R.2035-2063. DOI: doi.org/10.2165/00003495-200161140-00003

10. The potential of silymarin for the treatment of hepatic disorders / C. Hellerbrand, J.M. Schattenberg, P. Peterburs, A. L. R. Brignoli // Clinical Phytoscience. - 2016. - No. 2 (7). - R.1-14.

11. Hepatoprotective effect of oral application of a silymarin extract in carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats / A. Mahli, A. Koch, B. Czech, P. Peterurs, A. Lechner, J. Haunschild, M. Müller, C. Hellerbrand // Clinical Phytoscience.- 2015. - №1. - R.5.

12. Wellington K., Jarvis B. Silymarin: a review of it's clinical properties in the management of hepatic disorders // BioDrugs. - 2001. - No. 15. – P.465 - 489. DOI: 10.2165/00063030-200115070-00005

13. Pat. 2283594 Russian Federation, IPC A23K1/16. The method of fattening gobies / I.F. Gorlov, T.G. Serebryakova, M.I. Slozhenkina, A.V. Randelin, N.A. Lupacheva, V.N. Struk, N.G. Chamurliev; Patent holder State Institution Volgograd Research Technological Institute of Meat and Dairy Cattle Breeding and Processing of Livestock Products of the Russian Agricultural Academy. - No. 2005117085/13; dec. 06/03/2005; publ. 20.09.2006, Bull. No. 26.

14. Pat. 2405376 Russian Federation, A23K1/16. Premix for lactating cows / I.F. Gorlov, S.E. Bozhkova, G.V., Volkolupov, A.I. Struk, D.A. Randelin, A.S. Mokhov; Patent holder State Institution Volgograd Research Technological Institute of Meat and Dairy Cattle Breeding and Processing of Livestock Products of the Russian Agricultural Academy. - No. 2009103529/13; dec. 02/03/2009; publ. 10.12.2010, Bull. No. 34.

15. Pat. 2306717 Russian Federation, A 23 K 1/00, A 23 K 1/16. Premix filler / I.F., Gorlov, I.M. Osadchenko, D.A. Skachkov, M.I. Slozhenkina, A.F. Zlepkin, V.N. Khramova, N.G. Chamurliev, A.A. Ryadnov; Patent holder State Institution Volgograd Research Technological Institute of Meat and Dairy Cattle Breeding and Processing of Livestock Products of the Russian Agricultural Academy. - No. 2005136257/13; dec. 11/22/2005; publ. 09/27/2007, Bull. No. 27.

16. Pat. 2477614 Russian Federation, A23K1/16 A23K1/14. The method of obtaining a complex biologically active feed additive for agricultural animals, poultry and fish with probiotics and medicinal herbs / V.G. Pravdin, L. Z. Kravtsova, N.A. Ushakov; patent holder Limited Liability Company "Scientific and Technical Center for Biological Technologies in Agriculture" . - No. 2011128157/13; dec. 07/11/2011; publ. 03/20/2013 Bull. No. 8.

17. Day C.R., Kempson S.A. Betaine chemistry, roles, and potential use in liver disease // Biochim. Biophys. acta. – 2016. – vol. 1860(6). – P.1098. DOI:10.1016/j.bbagen. 2016.02.001

18. Razumovsky N. P. Vitamin E in cow nutrition // Our agriculture. - 2022. - No. 2 (274). - P.10 - 13.

19. Volkova G.A., Gordeeva A.K. Influence of the vitamin-mineral additive "Burenka" on the growth and development of heifers of the Kazakh white-headed breed // Scientific research of students in solving urgent problems of the agro-industrial complex. - p.Molodezhny, 2020. - P.19 - 25.

20. Norms of nutritional needs of dairy cattle and pigs / Ed. R.V. Nekrasov, A.V. Golovina, E.A. Makhaeva and others. - Moscow, 2018. - 290 p.

21. Vasilyeva S. V., Konopatov Yu. V. Clinical biochemistry of cattle. - St. Petersburg: Lan publishing house, 2017. - 188 p.

22. Gusev I.A., Rykov R.A. Reference intervals of biochemical parameters of blood to control the usefulness of feeding dairy cattle .- Dairy and beef cattle breeders.

Информация об авторах

Г.М. Шулаев – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; Р.К. Милушев – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; В.И. Доровских – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; В.С. Жариков – младший научный сотрудник.

Information about the authors

G. Shulaev – Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher; R. Milushev – Doctor of Agricultural Sciences general researcher; V. Dorovskih – Candidate of Technical Sciences, leading researcher; V. Zharikov – 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): 13.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 16.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-17-26

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКОВ МОТОРНОГО ТОПЛИВА В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАМЕРЕ АКТИВАТОРА

Юлия Владимировна Мещерякова [1], Станислав Александрович Нагорнов[2], Екатерина Богдановна Ложкина [3]
[1,2,3]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]yulya-belova@yandex.ru, [2]snagornov@yandex.ru, [3]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com

Автор, ответственный за переписку: Юлия Владимировна Мещерякова, yulya-belova@yandex.ru
Corresponding author: Yulia Meshcheryakova, yulya-belova@yandex.ru

Реферат. *Для улучшения качества моторного топлива используются активаторы топлива с наложением полей различной физической природой. Рассмотрен активатор топлива с ультразвуковой обработкой. Работа камеры осуществляется по принципу жидкостного свистка. Основным рабочим элементом ультразвуковой является пластина, изготовленная из коррозионностойкой стали с отполированной поверхностью и сопло. Сопло располагается так, чтобы вытекающая струя моторного топлива симметрично рассекалась пластиной. При пересечении потока моторного топлива пластина возбуждается и колеблется на одной из собственных частот. Она играет роль механического резонатора, управляет работой системы и излучает звук. При введении ультразвуковых колебаний возникает вторичное явление – кавитация, которая влияет на ход процесса обработки и качество конечного продукта. Представлено численное моделирование течения потоков моторного топлива с целью установления параметров излучающей поверхности и рабочего давления, при котором будет происходить кавитация. Установлено, наличие областей с местным понижением давления, увеличением скорости в потоке топлива и усиление акустической мощности, что является признаком акустической гидродинамической кавитации. Для создания кавитации установлены параметры пластины: толщина пластины 1-3 мм, угол заточки 30-40°, отношение ширины пластины к ее длине 1 к 2, расстояние до сопла 0-0,1 мм, подаваемое давление не менее 2 атм. Для создания ультразвуковой гидродинамической акустической развитой кавитации необходимо увеличивать разницу подаваемого давления, например, для стационарного активатора, либо увеличивать количество излучающих поверхностей (пластин) или ставить отражатели (для встроенного активатора).*

Ключевые слова: *моторное топливо, дизельное топливо, активатор, ультразвук, кавитация, моделирование.*

NUMERICAL SIMULATION OF THE FLOW OF MOTOR FUEL FLOWS IN AN ULTRASONIC ACTIVATOR CHAMBER

Yulia Meshcheryakova[1], Stanislav Nagornov [2], Ekaterina Lozhkina [3]
[1,2,3]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]yulya-belova@yandex.ru, [2]snagornov@yandex.ru, [3]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com

Abstract. *To improve the quality of motor fuel, fuel activators with overlapping fields of different physical nature are used. The fuel activator with ultrasonic treatment is considered. The operation of the camera is carried out on the principle of a liquid whistle. The main working element of the ultrasonic is a plate made of corrosion-resistant steel and with a polished surface and a nozzle. The nozzle is positioned so that the flowing jet of motor fuel is symmetrically dissected by the plate. At the intersection of the*

motor fuel flow, the plate is excited and oscillates at one of the natural frequencies. It plays the role of a mechanical resonator, controls the operation of the system and emits sound. When ultrasonic vibrations are introduced, a secondary phenomenon occurs – cavitation, which affects the course of the processing process and the quality of the final product. Numerical simulation of the flow of motor fuel flows is presented in order to determine the parameters of the radiating surface and the operating pressure at which cavitation will occur. It is established that there are areas with a local decrease in pressure in the fluid flow and an increase in acoustic power, which is a sign of acoustic hydrodynamic cavitation. To create cavitation, the parameters of the plate are set: the thickness of the plate is 1-3 mm, the sharpening angle is 30-40 °, the ratio of the width of the plate to its length is 1 to 2, the distance to the nozzle is 0-0.1 mm, the applied pressure is at least 2 atm. To create an ultrasonic hydrodynamic acoustic developed cavitation, it is necessary to increase the difference in the applied pressure, for example, for a stationary activator, or increase the number of radiating surfaces (plates) or install reflectors (for a built-in activator).

Keywords: *motor fuel, diesel fuel, activator, ultrasound, cavitation, modeling*.

Для цитирования: Мещерякова Ю.В., Нагорнов С.А., Ложкина Е.Б. Численное моделирование течения потоков моторного топлива в ультразвуковой камере активатора// Наука в Центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 17-26. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-17-26.

For citation: Mesheryakova Y, Nagornov S., Lozhkina E. Numerical simulation of the flow of motor fuel flows in an ultrasonic activator chamber. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 17-26. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-17-26.

Введение. Физико-химическая обработка с наложением ультразвуковых колебаний оказывает положительное влияние на качество моторного топлива: биодизельного топлива, товарного дизельного топлива и дизельного смесевого топлива, ультразвук способствует ускорению процесса синтеза биодизельного топлива [1, 2].

Проведенные исследования показали, что при введении ультразвуковых колебаний в обрабатываемые среды возникают вторичные явления, влияющие на ход процесса и качество конечного продукта. При небольшом значении амплитуды ультразвука возникает явление – акустическое истечение, которое перемещает и перемешивает обрабатываемую жидкость. По мере увеличения амплитуды все более явно прослеживается кавитация. Возникновение схлопывающихся пузырьков внутри, которых высокие температура и давления являются признаком кавитации.

Известно, что наряду с процессом [3,4] кавитации возникает ряд физических процессов, перечисленных на рисунке 1. Все эти физические явления и процессы способны изменять структуру и свойства, обрабатываемого топлива.

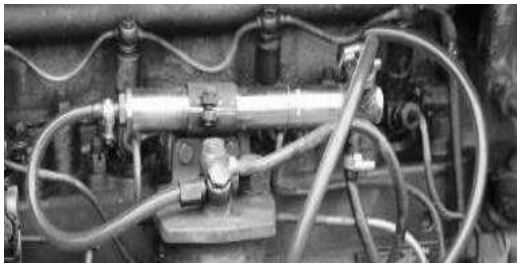
Рисунок 1 – Физические процессы, возникающие при кавитации

Авторами представлено [5,6] объяснение физико-химических кавитационных процессов, происходящих в динамическом активаторе моторного топлива. Утверждается, что, при обработке моторного топлива за счет происходящих кавитационных процессов повышается степень дисперсности частиц остаточных фракций, разрушаются конгломераты продуктов полимеризации. Под воздействием процесса кавитации в вязких топливах углеводородные молекулы расщепляются на более легкие, активные радикалы, обусловливающие улучшение основных качественных характеристик углеводородного топлива. При этом энергия, выделяющаяся при схлопывании кавитационных пузырьков, используется для разрыва химических связей между атомами больших молекул углеводородных соединений.

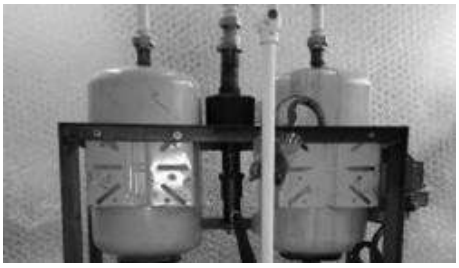
Таким образом, при обработке моторного топлива следует учесть такое явление как кавитация, которая способна вызвать деструкцию молекул. В результате протекания кавитации и сопутствующих ее явлений в моторном топливе накапливаются «обработанные» частицы: радикалы, ионы, ионно-радикальные образования, которые активно атакуют как другие радикалы, так и нейтральные частицы.

В связи с этим целью данного исследования является установление параметров излучающей поверхности и рабочего давления, при котором будет происходить кавитация в активаторе топлива с использованием численного моделирования течения потоков моторного топлива.

Материалы и методы. Моделирование течения потоков дизельного топлива в ультразвуковой камере комбинированного смесителя осуществляли в прикладной графической программе SolidWorks Flow Simulation. В качестве исследуемой модели выступает ультразвуковая камера комбинированного активатора, которая может быть встроена в топливную аппаратуру трактора или использоваться стационарно (рисунок 2).



а) активатор встроенный

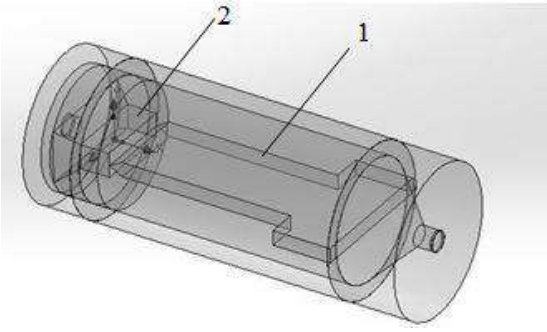


б) активатор стационарный

Рисунок 2 – Комбинированный активатор топлива

Основные этапы моделирования включают: разработка 3d модели (рисунок 3), создание сетки расчетной области, определение граничных условий, визуализация давления, скорости и т.д.

Текучей средой является моторное топливо: дизельное, биодизельное и смесевое топливо. Создана база данных со свойствами исследуемого моторного топлива (плотности, кинематической вязкости, теплопроводности в зависимости от температуры). Под биодизельным топливом в данном примере подразумевается метиловый эфир рыжикового масла, полученный реакцией переэтерифиацией рыжикового масла в присутствии гомогенного катализатора. Под смесевым дизельным топливом – топливо, полученное смешением дизельного и биодизельного топлив в различном процентном соотношении. Граничными условиями выбрано давление, создаваемое и давление на выходе из активатора. Инженерная цель в данном расчете – является усредненное давление в исследуемой камере. Инженерная цель используется для параметров контроля, для получения дополнительной информации, о том какие процессы происходят в исследуемой модели и не оказывают влияния на другие результаты и время расчета.



1 - пластина; 2 - сопло.

Рисунок 3 – Внешний вид 3d модели ультразвуковой камеры

В качестве стартовой и конечной точек выбраны штуцера для ввода и вывода топлива. Расчет течения исследуемой жидкости в исследуемой модели осуществляется решением известных дифференциальных уравнений движения, неразрывности, энергии.

На рисунке 4 представлен внешний вид диалогового окна наблюдения за расчетом. На верхних рисунках представлено предварительное распределение давления (вид сбоку, вид сверху) по всей камере в определенный промежуток времени. Ниже на кривой отображается изменение выбранной инженерной цели во времени, а также сходимости цели, выраженная в процентах. Значение сходимости цели является приблизительным и со временем, как правило, увеличивается.

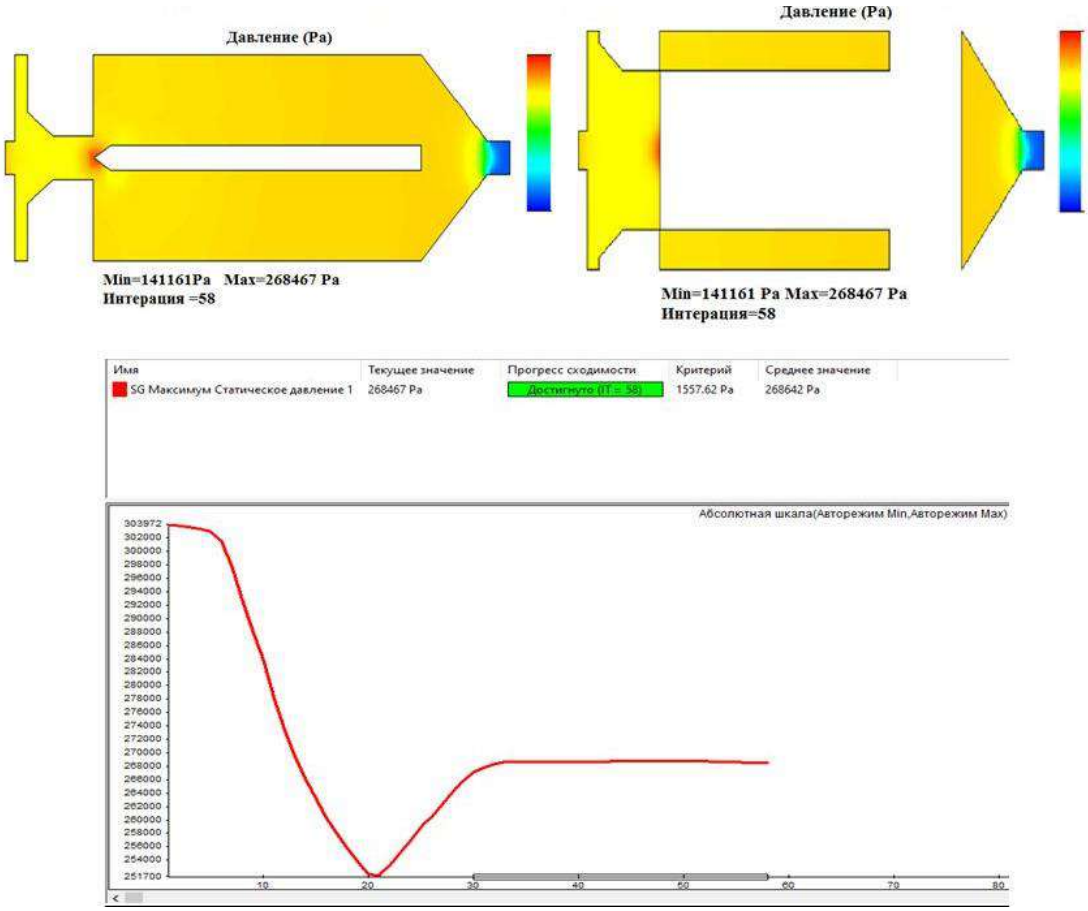


Рисунок 4 – Внешний вид диалогового окна наблюдения за расчетом

Результаты и их обсуждение. Кавитационную ультразвуковую гидродинамическую обработку дизельного топлива осуществляли в активаторе топлива (рисунок 2,3), которая приводит к изменению структуры топлива и дает возможность контролировать его состав. Устройство может использоваться как стационарно, так и быть встроено в сельскохозяйственную технику.

Гидродинамические излучатели с пластинчатым колебательным элементом используются с еще 60 –х годов прошлого столетия в различных технологических процессах. Однако изучение и развитие процесса кавитации в них еще мало изучены.

Основным рабочим элементом ультразвуковой камеры (рисунок 3) является пластина, изготовленная из коррозионностойкой стали и с отполированной поверхностью и сопло. Сопло располагается так, чтобы вытекающая струя топлива симметрично рассекалась пластиной. При пересечении потока дизельного топлива пластина возбуждается и колеблется на одной из собственных частот. Она играет роль механического резонатора, управляет работой системы и излучает звук. Используются пластины разной конфигурации и различными способами крепления. В нашем случае пластина имеет заостренный край, колеблющаяся часть пластины имеет одинаковую ширину.

Основная часть расчета пластин это определение частот их собственных колебаний по известным формулам в зависимости от конфигурации. Параметры пластины играют основную роль в образовании ультразвуковых акустических колебаний. С помощью программы смоделирован частотный анализ колебания ультразвуковой пластины с разными параметрами с наложением внешней нагрузки давления исследуемого топлива.

На рисунке 5 -7 показана модель и зависимость собственных колебаний исследуемой пластины разной длины с различным типом крепления

Рисунок 5 – Скриншоты расчета частотного анализа колебания ультразвуковой пластины

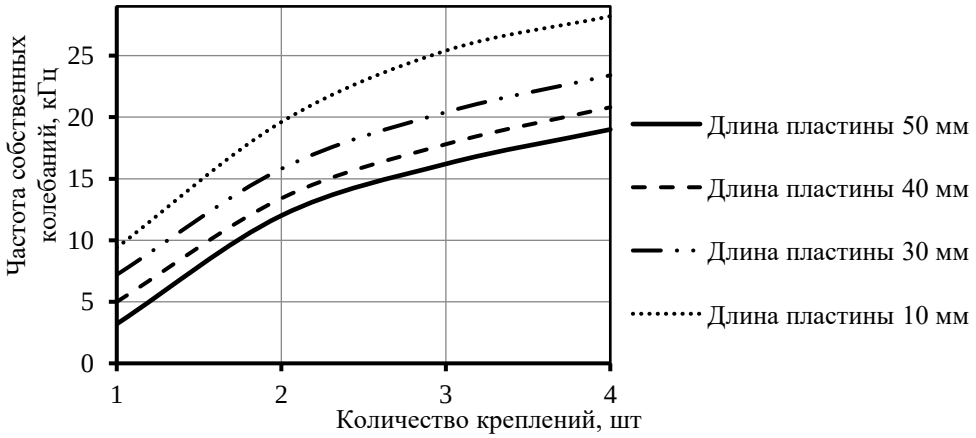


Рисунок 6 – Динамика изменения частоты колебаний пластины

При увеличении длины колебательной части пластины уменьшается частота ее колебаний. В резонанс вступает короткая пластинка при большей частоте, а длинная пластинка при меньшей. Для создания колебаний более высокой частоты необходимо максимально укорачивать пластину. Чем жёстче закреплена пластина, тем выше частота ее колебаний.

В то же время на частоту колебаний пластины оказывает ее ширина. На рисунке 7 представлено влияние параметров (длины и ширины) на частоту колебаний пластины.

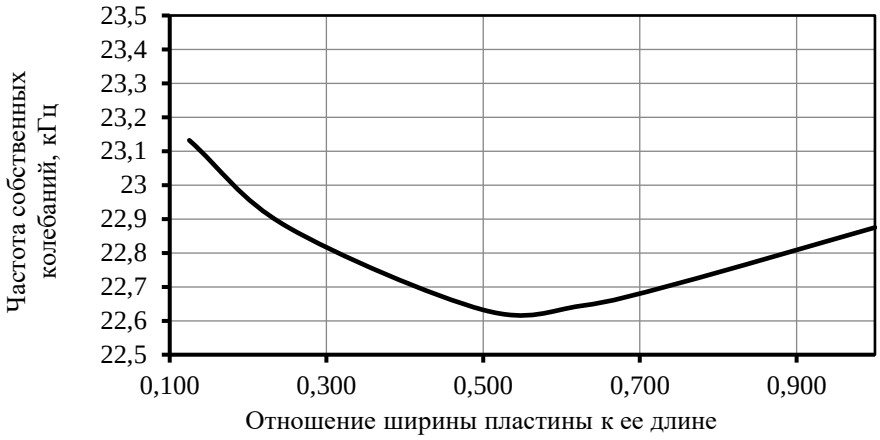


Рисунок 7 – Динамика изменения частоты колебаний от параметров пластины

По оси *x* отмечено отношение ширины к длине пластины. Использовать пластину с шириной больше половины ее длины представляется затруднительным. Более выгодно использовать пластину узкую и длинную, однако в этом случае велика вероятность быстрого выхода ее из строя. Установлено, что ширина пластины должна быть меньше или равна половине ее длины.

На рисунках 8 - 9 показано изменение перепада давления в зависимости от толщины пластины, от расстояния между соплом и пластиной соответственно. При увеличении толщины пластины уменьшается расстояние между пластиной и соплом и как следствие увеличивается скорость и уменьшается давление, тем самым разность давлений увеличивается.

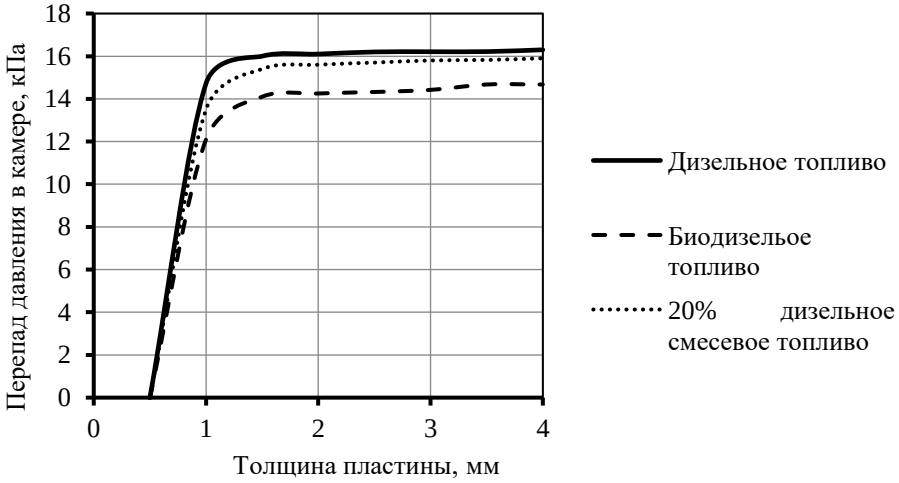


Рисунок 8 – Динамика перепада давления в зависимости от толщины пластины

Установлено, что толщина пластины должна изменяться от 1 до 3 мм. Если толщина менее 1 мм, то пластина очень тонкая, и она сломается и выйдет из строя. Если толщина более 3 мм, то подкачивающему насосу тракторного двигателя возбудить колебания для дизельного топлива

будет не возможно, а использовать насос с более высоким напором в этом случае не представляется возможным.

Угол заточки пластины должен варьировать в пределах 30° - 40°. При меньших значениях угла заточки развивается малая подъемная сила, а при больших увеличивается торможение потока.

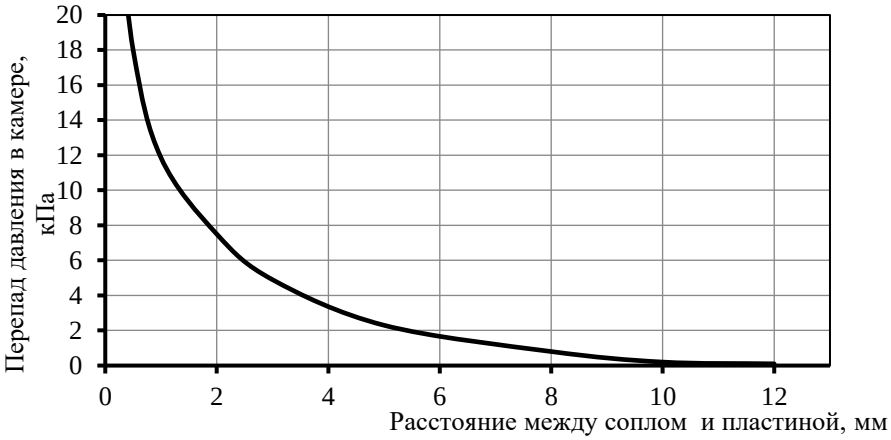


Рисунок 9 – Динамика перепада давления в зависимости от расстояния между соплом и пластиной

В зависимости от выбранной пластины, выбираем параметры сопла, ширина сопла должна быть меньше или равна толщине пластины. Площадь сечения сопла ограничена подаваемым давлением подкачивающего насоса. Одним из важных параметров в распределении потоков является расстояние между соплом и пластиной.

Установлено, что чем ближе расположена пластина к соплу, тем больше увеличивается зона с перепадом давления. В связи с этим пластину необходимо максимально расположить к соплу. Перепад давления уменьшается по мере удаления пластины от сопла и на расстоянии в половину длины пластины совсем прекращается.

Проведено численное моделирование течения потоков топлива в ультразвуковой камере при выбранной геометрии ультразвуковой пластины и сопла, а также подаваемом давлении. На рисунке 10-11 при заданных параметрах визуально показано распределение давления, скорости, уровня акустической мощности в ультразвуковой камере активатора при оптимальных подобранных параметрах, а на рисунке 12 с произвольно выбранными параметрами. На рисунке 12 нет перепада в давлении и скорости потока.

При протекании через суживающийся участок канала скорость потока возрастает, при этом давление снижается (рисунок 10-11).

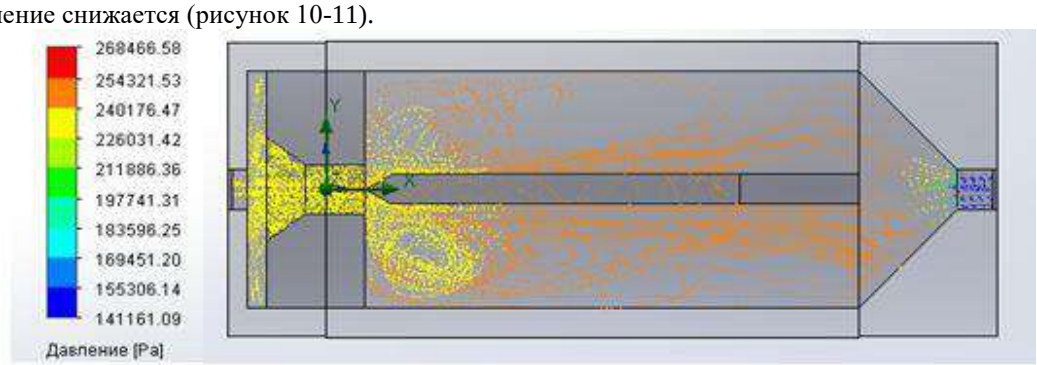


Рисунок 10 – Скриншот расчета распределения давления с оптимальными параметрами

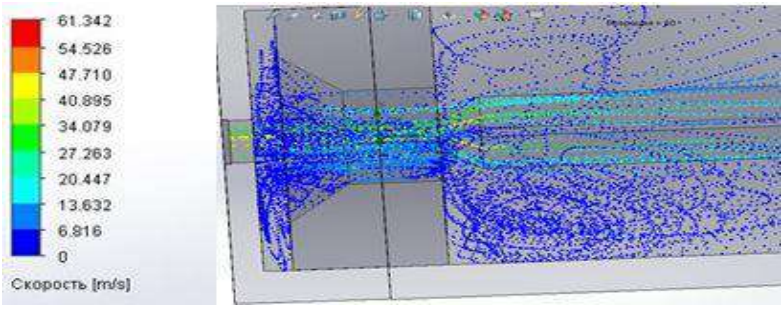


Рисунок 11 – Скриншот расчета распределения скорости потока

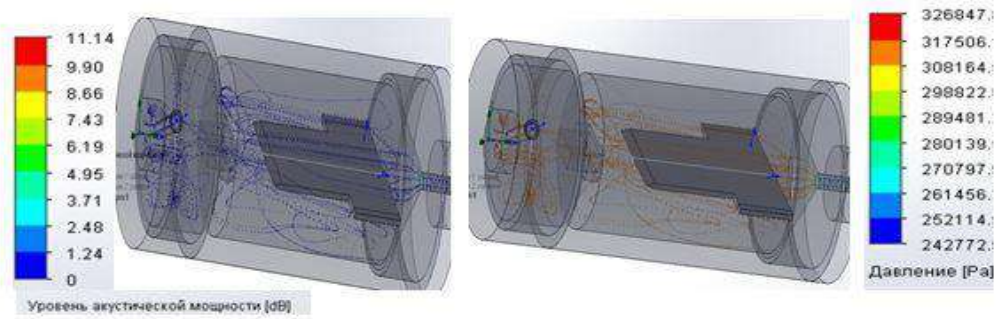


Рисунок 12 – Скриншоты расчета распределения давления и уровня акустической мощности с произвольно выбранными параметрами

На расширяющемся участке происходят обратные процессы уменьшения скорости течения, возрастания давления, что может свидетельствовать о возникновении явления кавитации (образование газовоздушных пузырьков), которая и способствует интенсификации и активации исследуемого топлива.

Другим подтверждением наличия явления кавитации в гидродинамических акустических исследованиях является образование гидравлического шума. Предположительно возникновение шума является результатом процесса схлопывания каверн. Анализ рисунка 13 показывает возникновение шума порядка 44 - 65 Дб при заданных условиях, а на 12 рисунке гидравлический шум отсутствует.

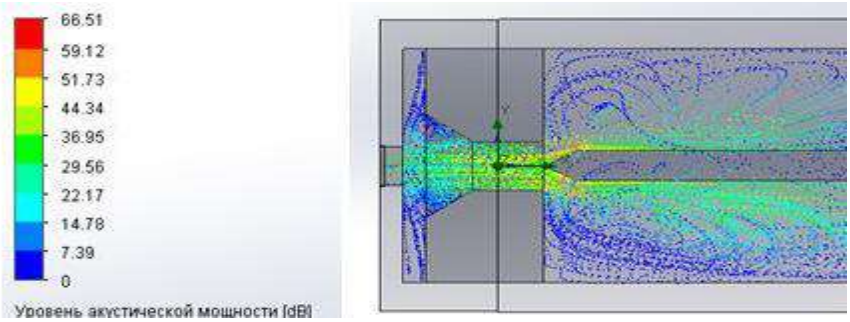


Рисунок 13 – Скриншот программы распределения акустической мощности

Замечено, что характер распределения акустики и давления неравномерный. Акустическая мощность возникает в основном в области заостренной части пластины. В исследуемом объеме можно выделить зоны с разной акустической мощностью: 1 (51-66 дБ) – красная зона, зона развитой акустической мощности, происходит местное повышение скорости течения и значительное усиление шума, зона расположена вблизи заостренной части пластины; 2 (36-51 дБ) – желто-зеленая зона, зона зарождающейся акустической мощности, слабое усиление шума; 3 (14-

36дБ) – бирюзовая зона, зона вырождающейся акустической мощности, шум еле слышен; 4 (14-0дБ) – синяя зона, зона отсутствия акустической мощности, шум стихает.

Зона развитой кавитации при заданных параметрах не значительна. При увеличении перепада подаваемого давления зона развитой кавитации увеличивается. Однако реализация более выраженной зоны развитой кавитации за счет увеличения разницы давления во встроенном активаторе в топливную аппаратуру не представляется возможным.

Заключение. Таким образом, проведено численное моделирование течения потоков моторного топлива в ультразвуковой камере активатора топлива. Установлено, наличие областей с местным понижением давления в потоке жидкости и усиление акустической мощности, что является признаком акустической гидродинамической кавитации. Для создания кавитации установлены параметры пластины: толщина пластины 1-3 мм, угол заточки 30-40°, отношение ширины пластины к ее длине 1 к 2, расстояние до сопла 0-0,1 мм, подаваемое давление не менее 2 атм. Для создания ультразвуковой гидродинамической акустической развитой кавитации необходимо увеличивать разницу подаваемого давления, например, для стационарного активатора, либо увеличивать количество излучающих поверхностей (пластин) или ставить отражатели (для встроенного активатора).

Список источников

1. Мещеряков, А. Г. Исследование работы топливной аппаратуры на смесевом топливе / А. Г. Мещеряков // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 сентября 2021 года. – Тамбов: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве", 2021. – С. 139-144.

2. Воробьев Ю.В., Дунаев А.В. Активация моторных топлив // Автомобильная промышленность. – 2018. – № 9. – С. 28-32.

3. Русалин С.М. Содержательное и математическое представление событий в гидравлической системе с кавитатором и резонатором / С.М. Русалин, В.Л. Юшко, В.В. Кузьмина // Вестник ХПИ. Сборник научных трудов. 2010. № 020. С. 37-45.

4. Фридман, В.М. Ультразвуковая химическая аппаратура / В.М. Фридман - М.: Машиностроение, 1967. - 234 с.

5. Руденко, М.Г. Кавитация и фазовые превращения в условиях термодинамической неравновесности жидкости: специальность 01.04.14 "Теплофизика и теоретическая теплотехника" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Руденко Михаил Георгиевич. – Улан-Удэ, 2011. – 36 с.

Ломовских, А. Е. Физико-химическое представление кавитационных процессов, происходящих в динамическом активаторе моторного топлива / А. Е. Ломовских, А. А. Шаповалов, О. Н. Морозова // – 2017. – № 6(14). – С. 132-136.

References

1. Meshcheryakov, A. G. Investigation of the operation of fuel equipment on mixed fuel / A. G. Meshcheryakov // Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products - new technologies and equipment of a new generation for crop production and animal husbandry: Collection of scientific reports of the XXI International Scientific and Practical Conference, Tambov, September 28-29, 2021. – Tambov: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", 2021. – pp. 139-144.

2. Vorobyev Yu.V., Dunaev A.V. Activation of motor fuels // Automotive industry. - 2018. – No. 9. – pp. 28-32.

3. Rusalin S.M. Meaningful and mathematical representation of events in a hydraulic system with cavitator and resonator / S.M. Rusalin, V.L. Yushko, V.V. Kuzmina // Bulletin of the KhPI. Collection of scientific papers. 2010. No. 020. pp. 37-45.

4. Friedman, V.M. Ultrasonic chemical equipment / V.M. Friedman - M.: Mechanical Engineering, 1967. - 234 p.

5. Rudenko, M. G. Cavitation and phase transformations under conditions of thermodynamic disequilibrium of a liquid: specialty 01.04.14 "Thermophysics and theoretical heat engineering" : abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Rudenko Mikhail Georgievich. – Ulan-Ude, 2011. – 36 p.

6. Lomovskikh, A. E. Physico-chemical representation of cavitation processes occurring in a dynamic motor fuel activator / A. E. Lomovskikh, A. A. Shapovalov, O. N. Morozova // – 2017. – № 6(14). – Pp. 132-136.

Информация об авторах

С.А. Нагорнов - доктор технических наук, профессор; Ю.В. Мещерякова - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Ложкина Е.Б. – аспирант, младший научный сотрудник.

Information about the authors

S. Nagornov - Doctor of Technical Sciences, Professor; Yu. Meshcheryakova - Candidate of Technical Sciences, Senior Lozhkina E. - postgraduate student, 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): 28.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.362
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-27-37

ОБОСНОВАНИЕ АЛГОРИТМА СОРТИРОВАНИЯ ПЛОДОВ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

***Петр Петрович Казакевич*[1], *Дмитрий Иванович Комлач*[2], *Антон Николаевич Юрин*[3]**
[1]*Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
[1]oan2011@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-9102-2816
[2,3]*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, Минск, Республика Беларусь*
[2]komlach.d@mail.ru, http://orcid.org/0009-0009-2099-8975
[3]anton-jurin@rambler.ru, http://orcid.org/0000-0001-9348-8110

Автор, ответственный за переписку: Петр Петрович Казакевич, oan2011@mail.ru
Corresponding author: Petr Kazakevich, vitin-10.pet@mail.ru

Реферат. *В Республике Беларусь для яблок, поступающих в розничную торговлю стандарт предусматривает разделение на три сорта: высший, первый и второй. В статье рассмотрена общая схема автоматизированной сортировки плодов как процесса состоящего из их подачи, классификации и механического разделения. Подача плодов призвана решать вопросы формирования потока и транспортирования плодов, классификация – обнаружения и распознавания структуры плода, принятие решения, а механическое разделение потока – удар и смену направления движения плодов. Для исследований использовались яблоки урожая 2021 года сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер». Анализ физических параметров показал, что их размеры подчиняются закону нормального распределения, при этом минимальный размер плода составляет 45 мм, а наибольший – 95 мм, что неизбежно приводит к образованию «двоек» плодов, при формировании потока. Анализ вероятности появления возможных «двоек» плодов с учетом агротехнических требований, позволил обосновать модель автоматизированного процесса, при котором «двойки» плодов относятся к более высокому сорту. Предложена модель сортирования яблок по качеству на 4 класса. Результаты исследований применены при разработке технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 в НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. Анализ приемочных испытаний показал точность сортирования плодов по размеру 75,4 %, по размеру и наличию дефектов – 73,1 %.*

Ключевые слова: *подача, формирование потока, транспортирование, классификация плодов, обнаружение признаков, распознавание структуры, принятие решений, механическое разделение, «двойки» плодов, модель сортирования, исходное состояние, качественный плод, некачественный плод, сорт яблок.*

SUBSTANTIATION OF THE ALGORITHM FOR PERFORMING THE PROCESS OF FRUIT SORTING BY A VISION SYSTEM

***Petr Kazakevich* [1], *Dmitry Komlach* [2], *Anton Yurin* [3]**
[1]*Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*
[1]oan2011@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-9102-2816
[2,3] *Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, Minsk, Republic of Belarus*
[2]komlach.d@mail.ru, http://orcid.org/0009-0009-2099-8975
[3]anton-jurin@rambler.ru, http://orcid.org/0000-0001-9348-8110

Abstract. *The standard for apples entering the retail trade in the Republic of Belarus provides for the division into three grades: the highest, the first and the second. The general scheme of automated sorting of fruits as a process consisting of their supply, classification and mechanical separation is considered in the article. Feeding of fruits is designed to solve the issues of flow formation and transportation of fruits, classification - detection and recognition of the structure of the fruit, decision making, and mechanical separation of the flow - impact and change of direction of fruit movement. Apples from the 2021 harvest of the Imant, Verbnoye, and Gloucester varieties were used for the study. The analysis of physical parameters showed that their sizes obey the law of normal distribution, while the minimum size of the fetus is 45 mm, and the largest is 95 mm, which inevitably leads to the formation of "twos" of fruits during the formation of the flow. An analysis of the probability of the appearance of possible "twos" of fruits, taking into account agrotechnical requirements, made it possible to substantiate a model of an automated process in which "twos" of fruits belong to a higher grade. A model for sorting apples by quality into 4 classes was proposed. The results of the research were applied in the development of a technological line for sorting and packing apples LSP-4 at the Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for agricultural mechanization. The analysis of acceptance tests showed the accuracy of sorting fruits by size 75.4%, by size and the presence of defects - 73.1%.*

Keywords: *feeding, flow formation, transportation, fruit classification, feature detection, structure recognition, decision making, mechanical separation, fruit "twos", sorting model, initial state, quality fruit, poor quality fruit, apple variety.*

Для цитирования: Казакевич П.П., Комлач Д.И., Юрин А.Н. Обоснование алгоритма сортирования плодов системой технического зрения // Наука в центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 27-37. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-27-37.

For citation: Kazakevich P., Komlach D., Yurin A. Substantiation of the algorithm for perfoming the process of fruit sorting by a vision system. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 27-37. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-27-37.

Благодарности: Работа выполнялась в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021-2025 гг.

Acknowledgments: The work was carried out as part of task 5 "Develop and master the production of a technological line for sorting and packing apples" of the subprogram "Belselkhozmekhanizatsiya-2025" of the state scientific and technical program "Innovative agro-industrial and food technologies" 2021-2025.

Введение. Потери плодов от уборки и до момента поступления к конечному потребителю составляют до 30 %. Это вызывает потребность их сортирования. В настоящее время контроль качества плодов – мало механизированный процесс и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат товарной их обработки [1-4].

В процессе сортировки учитывается размер плодов, их цвет, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

Качественно данную работу при ручном сортировании может выполнить опытный специалист-сортировщик. Однако производительность работ при ручной сортировке на три товарных сорта составляет 40-70 кг/ч, хотя плоды и подвергаются минимальному механическому травмированию [1].

В 2020 г. в общественном секторе Республики Беларусь произведено более 150 тыс. т яблок. Для осуществления их сортировки требуются трудозатраты в количестве 24 тыс. чел-дней [2]. Учитывая складывающийся дефицит рабочих в сельском хозяйстве, актуально внедрение в производство средств механизации и автоматизации, облегчающих или полностью исключающих ручной труд при сортировке плодов.

Из всех известных средств автоматизации, предназначенных для такой цели, наиболее качественно этот процесс может быть выполнен только оптическими средствами контроля на основе системы технического зрения (в дальнейшем – СТЗ).

В этой связи создание технического средства с СТЗ, позволяющего определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии как это делает человек [4-8], является важной агроинженерной задачей.

Материалы и методы.

При проведении исследований использовались плоды урожая 2021 г производства ОАО «Остромечево» сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер», а также СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия».

Результаты и их обсуждение.

Обоснование модели сортирования плодов. Первым этапом при создании СТЗ является определение модели функционирования, формирующей в дальнейшем алгоритм её работы и технические возможности.

Так любое устройство для автоматической сортировки плодоовощной продукции должно выполнять процессы подачи плодов, их классификации и разделения. В зависимости от целей сортировки, вида продукции и требований к её выходной части, каждый из этих процессов может иметь свои особенности. Поэтому при анализе разделим их на подпроцессы.

Так подачу плодов рассмотрим, как формирование потока и транспортирование, классификацию – как обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений на основе заложенных в «память» предписаний, а процесс механизированного разделения – как подпроцессы взвода исполнительного механизма, удара и движения объекта после него (рисунок 1).

Тогда сортировка может быть представлена в виде случайных процессов [1].

Рисунок 1 – Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству

Процессы, представленные на рисунке 1 могут быть описаны следующим образом с пятью состояниями: S_1 – исходное, S_2 – классификация объекта как качественного, S_3 – классификация объекта как некачественного, S_4 – перемещение объекта к группе качественных плодов, S_5 – перемещение объекта к группе некачественных плодов (рисунок 2).

В то же время при формировании потока из-за большой вариации размерных характеристик плодов в зону контроля могут одновременно попадать два объекта («двойки») в различных сочетаниях: «качественный-некачественный», «качественный-качественный», «некачественный-некачественный».

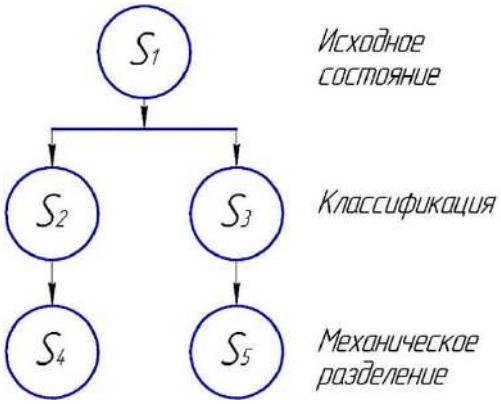


Рисунок 2 – Упрощенная модель процесса сортировки плодов

Тогда модель процесса автоматической сортировки плодов будет включать 18 состояний и может быть представлена следующим образом (рисунок 3).

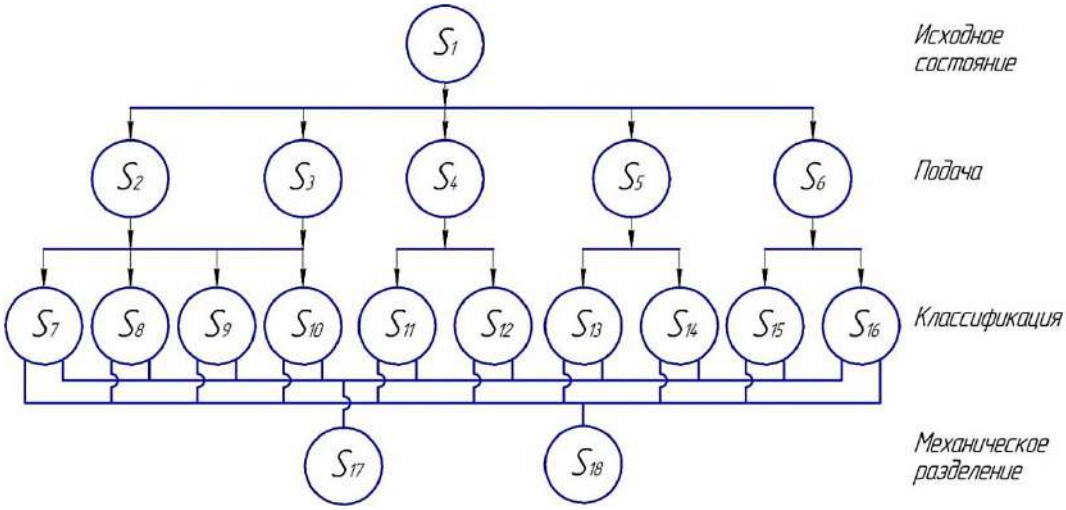


Рисунок 3 – Модель процесса сортировки плодов с учетом появления «двоек»

S_1 – исходное состояние; S_2 – одиночный качественный плод; S_3 – одиночный некачественный плод; S_4 – два качественных плода; S_5 – два некачественных плода; S_6 – качественный-некачественный плод; $S_7 - S_{16}$ – классификация плодов на классы, где четные – некачественные плоды, а нечетные – качественные; S_{17} – перемещение плода в качественные; S_{18} – перемещение плода в некачественные.

В связи с тем, что состояния классификации «качественные плоды» совпадают, их можно объединить. Тогда модель процесса сортировки примет вид (рисунок 4).

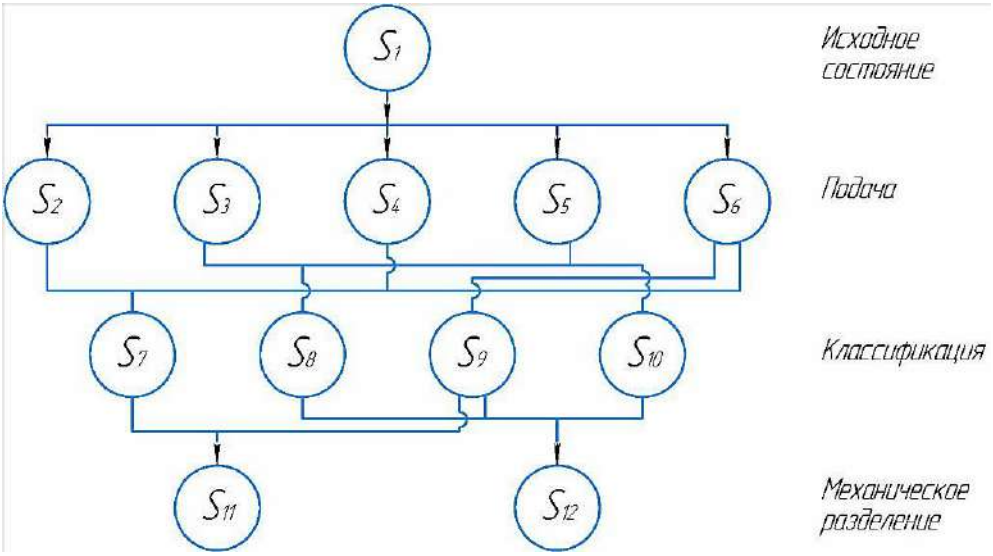


Рисунок 4 – Модель сортирования плодов по качеству на два класса

На рисунках 3 и 4 состояния $S_1 \dots S_6$ одинаковы. Состояние S_7 обозначает «качественные плоды» для одиночных и сдвоенных плодов, S_8 – «некачественные плоды» для одиночных плодов, S_9 – «некачественные» плоды для двоек качественный-некачественный плод, S_{10} – «некачественные плоды» для двоек некачественных плодов. Состояния S_{11} и S_{12} соответствуют разделению плодов на «качественные» и «некачественные».

В Республике Беларусь плоды, поступающие в розничную торговлю должны соответствовать СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие, поздних сроков созревания. Технические условия» [8]. Данный стандарт предусматривает разделение плодов на три сорта: высший, первый и второй. В процессе сортировки же плодов необходимо выделение ещё одного сорта, к которому относятся яблоки, не соответствующие ни одному из ранее указанных сортов – безсортовые (в дальнейшем – б/с).

Тогда модель сортирования яблок по качеству на 4 класса будет выглядеть следующим образом (рисунок 5).

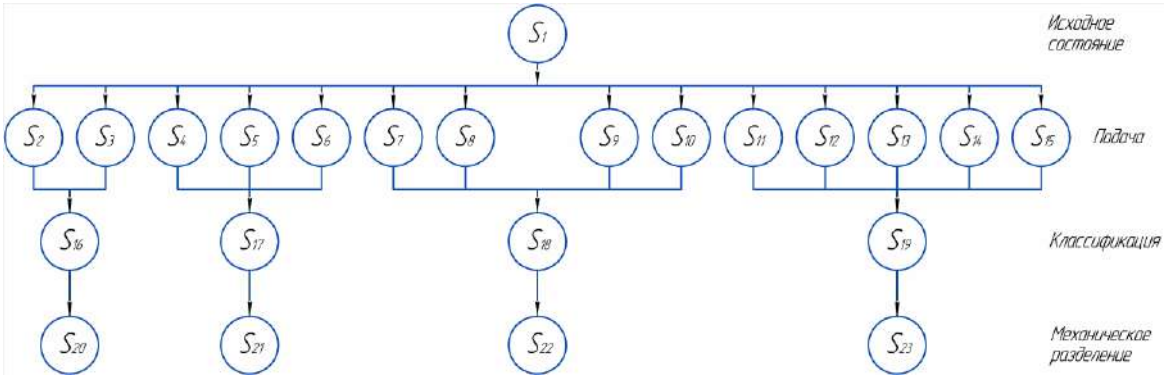


Рисунок 5 – Модель сортирования яблок по качеству на четыре класса с отнесением «двоек» к более низкому сорту

В данной модели S_1 – исходное состояние; S_2 и S_3 – одиночный плод высшего сорта и «двойка» плодов высшего сорта; S_4 и S_5 – одиночный плод первого сорта и «двойка» плодов первого сорта; S_6 – «двойка» плодов первого и второго сортов; S_7 и S_8 – одиночный плод второго сорта и «двойка» плодов второго сорта; S_9 и S_{10} – «двойки» плодов из первого-второго и высшего-второго

сортов; S_{11} и S_{12} – одиночный и парные б/с плоды; S_{13}, S_{14}, S_{15} – «двойки» из пар первый-б/с, второй-б/с и высший-б/с плоды; $S_{16} - S_{19}$ – классификация одиночных и «двоек» плодов на высший, первый, второй сорта и б/с; $S_{20} - S_{23}$ – механическое разделение плодов на высший, первый, второй сорта и б/с.

При внедрении данной модели все «двойки» плодов будут относится к сорту соответствующему более низкому сорту плода из рассматриваемой «двойки». То есть пара «высший- первый» будет отнесена к первому сорту, пара «первый-второй» - ко второму сорту и так далее.

Такой подход позволит получать плоды высшего и первого сорта без «примесей», т.е. более высокого качества. Однако, потери плодов высокого качества при определенных условиях могут быть значительными.

В то же время в СТБ 2288 допускается некоторое количество примесей плодов, не относящихся к данному сорту. Так в яблоках высшего сорта не допускается присутствие яблок второго сорта и без сортовых, а в яблоках первого сорта – только без сортовых. При этом в высшем сорте допускается присутствие яблок первого сорта не более 10% по размеру и не более 5% по остальным показателям качества. Для яблок первого сорта допустимое количество плодов второго сорта – не более 10% по все показателям качества. Для плодов второго сорта количество без сортовых яблок должна быть не более 10% по все показателям качества.

Очевидно, что при соблюдении указанных условий «двойки» плодов могут быть отнесены к более высокому сорту плодов.

С учетом этого модель сортирования яблок по качеству может быть представлена в следующем виде (рисунок 6).

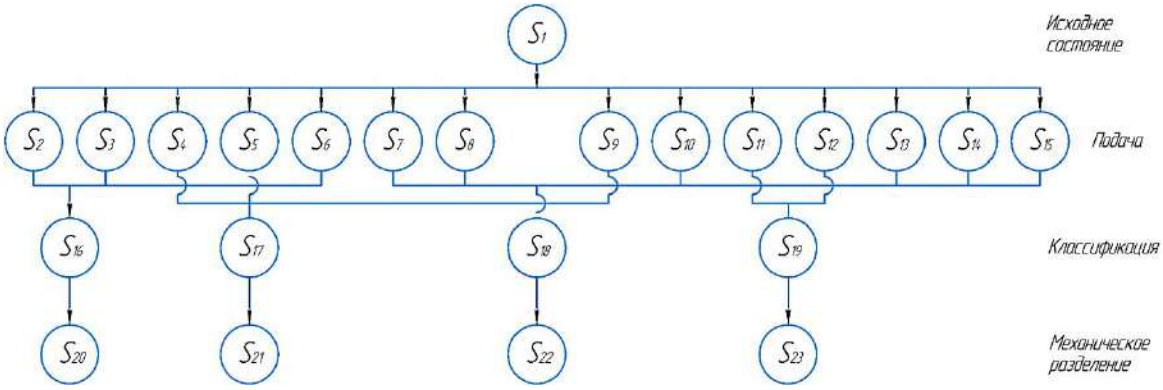


Рисунок 6 – Модель сортирования яблок по качеству на четыре класса с отнесением «двоек» к более высокому сорту

Для определения возможности использования данной модели был выполнен анализ размерных характеристик плодов и определена вероятность появления различных вариантов их «двоек».

Анализ размеров яблок сортов «Имант», «Глостер» и «Вербное» показал (таблица 1), что их величины подчиняются нормальному закону распределения Гаусса, для которого плотность вероятности распределения размеров:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(X-m_x)^2}{2\sigma^2}},$$

где X, m_x, σ – размер, математическое ожидание и разброс размеров плодов.

Таблица 1 – Физические характеристики плодов

Наименование показателей	Значение показателей		
Сорт яблок	«Имант»	«Глостер»	«Вербное»
Содержание плодов в исходном материале (по размеру), %			
– 0–65 мм	22,9	17,5	0
– 65–78 мм	69,5	60,7	27,1
– 78-100 мм	7,6	21,8	72,9
– более 100 мм	0	0	0
Характеристика плодов:			
– средний диаметр, мм	70	75	82
– средняя высота, мм	62	67	71
– средняя масса, г	152	188	227
– максимальный диаметр, мм	85	92	95
– минимальный диаметр, мм	45	45	45

При этом размер плодов изменяется в широких пределах. Так их минимальный размер составляет 45мм, а максимальный – 95 мм.

Для обеспечения автоматической сортировки необходимо решение задачи поштучной подачи плода, которая сводится к прохождению его через заданную ячейку. При этом через нее должен пройти любой плод, два плода одновременно пройти не должны. Такая ячейка может быть описана постоянной плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{h_{\text{в}} - h_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $f(x)$ – плотность распределения вероятности пропускной способности ячейки;

$h_{\text{в}}, h_{\text{н}}$ – верхняя и нижняя границы пропускной способности ячейки.

Плотность распределения вероятности выстраивания плодов по одному в общем случае может быть определена как плотность распределения системы независимых случайных величин $p(x)$ и $f(x)$. Вероятность выстраивания по одному в общем случае может быть определена по формуле:

$$P_{\text{ед}} = \int_{h_{\text{н}}}^{h_{\text{в}}} p(x)\ f(x)dx, \quad (2)$$

Для нормального закона распределения плотности вероятности выстраивания плодов $p(x)$ с учетом выражения 1 вероятность выстраивания плодов имеет вид:

$$P_{\text{ед}} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{h_{\text{в}} - m_x}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{m_x - h_{\text{н}}}{\sigma}\right)\right],$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$

Из выражения 2 следует, что наложение функции $p(x)$ и $f(x)$ позволяет выявить три области: от 0 до $h_{\text{н}}$ – вероятность выстраивания плодов по два и более, от $h_{\text{н}}$ до $h_{\text{в}}$ – поштучно, от $h_{\text{в}}$ до ∞ – вероятность, что плод не пройдет через ячейку из за большого размера, то есть возможен затор. Плоды небольших размеров, оказываясь одновременно в зоне поштучного формирования, могут образовывать «двойки», то есть проходить по два сразу. Считая, что одновременно можно наблюдать в зоне контроля не более двух плодов, вероятность появления «двоек» можно определить по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \left[k_{\text{дв}} \int_0^{h_{\text{н}}} p(x)\, dx\right]^2, \quad (3)$$

где $k_{\text{дв}}$ – коэффициент появления «двойки».

В расчетах принимаем $k_{\text{дв}} = 1$.

В связи с тем, что плоды размерами, близкими к $h_в$, с трудом проходят через формирующее устройство, получается много «пропусков», то есть интервал между плодами дискретно меняется от Δ до $n\Delta$ (где $n = 2,3, \ldots$). Это снижает плотность потока и производительность. Поэтому целесообразно соблюдать условие:

$$h_в \approx (1,1 \ldots 1,2)x_{max}. \quad (4)$$

Исходя из выражения 4 можно $h_в$ определить с учетом дисперсии:

$$h_в = m + \acute{\varepsilon}\sigma,$$

где $\acute{\varepsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Соответственно

$$h_н = \frac{h_в}{2} = \frac{m + \acute{\varepsilon}\sigma}{2}$$

С другой стороны, для систем поштучной подачи по одному признаку

$$h_н \leq x_{min} = m - \ddot{\varepsilon}\sigma$$

где $\ddot{\varepsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Исходя из изложенного принимаем размер ячейки устройства для формирования потока $h_в = 10,5$ см.

При таком размере ячейки возможно формирование следующих «двоек» плодов (таблица 2), вероятность возникновения которых определялась по зависимости 3:

Таблица 2 – Вероятность возникновения «двоек» плодов

Номер	Диаметры плодов из «двойки», мм	Вероятность возникновения «двоек» для яблок сортов		
		«Имант»	«Глостер»	«Вербное»
1	45 и 60	0,01	0,009	0,009
2	45 и 55	0,003	0,0032	0,0034
3	45 и 50	0,001	0,0085	0,0088
4	45 и 45	0,001	0,0009	0,0009
5	50 и 55	0,003	0,0037	0,0038
6	50 и 50	0,001	0,009	0,009

В соответствии с СТБ 2288 к высшему сорту могут быть отнесены яблоки диаметром более 60 мм, чему удовлетворяет пара №1 с вероятностью появления не более 1%. К первому сорту относятся плоды диаметром 50-60 мм, что соответствует парам №2, 3, 5, 6, что дает суммарную вероятность возникновения данных «двоек» не более 2,5 %.

Таким образом, количество примесей в плодах высшего сорта не превысит 1%, в плодах первого сорта – не более 2,5%, а в плодах второго сорта – не более 1%.

Это подтверждает, что наиболее рациональной для автоматической сортировки является модель с делением плодов на четыре сорта и отнесением «двоек» к более высокому сорту.

Реализация результатов исследований. На основе выполненных исследований в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 [10-11].

Приемочные испытания линии проходили в ОАО «Остромечево» Брестского района в 2020–2021 годах. По результатам приёмочных испытаний технологической линии получен положительный протокол от 25 февраля 2022 года № 004-1/3-2022 [9].

Анализ результатов испытаний показал, что технологическая линия в целом, соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортирования плодов по размеру составила 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – 73,1 %. Это подтверждает эффективность выбора модели функционирования автоматизированной системы сортирования яблок.

Выводы:

1. Размерные характеристики яблок сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер» подчиняются нормальному закону распределения Гаусса.
2. Вследствие большой вариации размерных характеристик плодов при автоматизированной сортировке яблок неизбежно образование «двоек», при которых в зону контроля одновременно попадают два объекта в различных сочетаниях сортовых качеств.

Анализ вероятности возникновения «двоек» и сортовых требований к качеству плодов позволил обосновать модель процесса автоматической сортировки яблок на четыре класса (высший, первый, второй и безсортовой) с отнесением «двоек» к более высокому сорту.

Список источников

1. Старовойтов, В.И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В.И. Старовойтов, А.М. Башилов, А.Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
2. А.Н. Юрин, Д.А. Жданко. Механизация трудоемких процессов в садоводстве. Механизация трудоемких процессов в садоводстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protsessov-v-sadovodstve/. – Дата доступа: 30.04.2018.
3. Юрин, А. Н. Актуальность проблемы дефицита плодов и ягод в Республике Беларусь и пути ее решения / А. Н. Юрин, А. А. Игнатчик, В. В. Викторович. // Научно–технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.–тех. конф., Минск, 17–18 октября 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; ред.: П. П. Казакевич, Е. В. Корзун ; рец.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2019. – С .89–95.
4. Лобачевский Я.П. [и др.]. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belagromech.by/articles/razvitie-tehnicheskih-sredstv-dlya-vozdelyvaniya-mnogoletnih-nasazhdenij-v-sadovodstve-rossii-i-belarusi/ – Дата доступа: 30.04.2018.
5. Балабанов, П.В. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П.В. Балабанов П.В. [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020. / Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов, 2020. – Т.1 – С. 44-47.
6. Кирина, М.В. Применение методов люминесцентного анализа в системах технического зрения при сортировании плодов / М.В. Кирина [и др.] // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Мичуринск, 10–12 ноя. 2014. / Мичуринский государственный аграрный университет. – Мичуринск, 2014. – С. 188-191.
7. Использование систем технического зрения для качественной сортировки плодов персика по окраске. (Иран) / Esehaghbeygi A., Ardforoushan M., Monajemi S.A.H., Masoumi A.A. Digital image processing for quality ranking of saffron peach // Intern. Agrophysics. – 2010. – Vol.24. – N 2. – P. 115-120.
8. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012. – 11 с.
9. Протокол приемочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 : №004 1/3-2022 : введ. 25.02.2022. – п. Привольный : ГУ «Белорусская МИС», 2022. – 99 с.
10. Юрин, А.Н. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при

сортировке яблок /А.Н. Юрин, В.В. Викторович, А.А. Игнатчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; ред.: П. П. Казакевич [и др.] ; рец.: В. В. Азаренко [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2022. – В ып. 55 – С.88–95.

Казакевич, П.П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488-500.

References

1. Starovoitov, V.I. Automation of quality control of potatoes, vegetables and fruits / V.I. Starovoitov, A.M. Bashilov, A.L. Anderzhanov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 197 p.

2. A.N. Yurin, D.A. Zhdanko. Mechanization of labor-intensive processes in horticulture. Mechanization of labor-intensive processes in horticulture [Electronic resource]. – Access mode: https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protsessov-v-sadovodstve/. – Access date: 04/30/2018.

3. Yurin, A. A. The relevance of the problem of the shortage of fruits and berries in the Republic of Belarus and ways to solve it / A. N. Yurin, A. A. Ignatchik, V. V. Viktorovich. // Scientific and technical progress in agricultural production: materials of the international. scientific-tech. conf., Minsk, October 17–18, 2019 / Nat. acad. Sciences of Belarus, Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization"; editors: P. P. Kazakevich, E. V. Korzun; rec.: P. P. Kazakevich [and others]. - Minsk: Belarusian Science, 2019. - P. 89–95.

4. Lobachevsky Ya.P. [and etc.]. Development of technical means for the cultivation of perennial plantations in horticulture in Russia and Belarus. Development of technical means for the cultivation of perennial plantings in horticulture in Russia and Belarus [Electronic resource]. – Access mode: https://belagromech.by/articles/razvitie-tehnicheskih-sredstv-dlya-vozdelyvaniya-mnogoletnih-nasazhdenij-v-sadovodstve-rossii-i-belarusi/ – Access date: 04/30/2018.

5. Balabanov, P.V. Robotic complex for sorting apples / P.V. Balabanov P.V. [et al.] // Digitalization of the agro-industrial complex: materials of the Intern. scientific-practical. Conf., Tambov, 21–23 Oct. 2020. / Tambov State Technical University. - Tambov, 2020. - V.1 - S. 44-47.

6. Kirina, M.V. Application of methods of luminescent analysis in technical vision systems when sorting fruits / M.V. Kirina [et al.] // Robotics in agricultural technologies: materials of the Intern. scientific-practical. Conf., Michurinsk, Nov. 10–12. 2014. / Michurinsk State Agrarian University. - Michurinsk, 2014. - S. 188-191.

7. The use of vision systems for high-quality sorting of peach fruits by color. (Iran) / Esehaghbeygi A., Ardforoushan M., Monajemi S.A.H., Masoumi A.A. Digital image processing for quality ranking of saffron peach // Intern. Agrophysics. - 2010. - Vol.24. - N 2. - P. 115-120.

8. Fresh apples of late ripening. Specifications: STB 2288-2012. - Input. 08.11.12. - Minsk: State Standard Belarus. state in-t of standardization and certification, 2012. - 11 p.

9. Acceptance test protocol for the technological line for sorting and packaging apples LSP-4: No. 004 1/3-2022: input. 02/25/2022. - Privolny village: State Institution "Belarusian MIS", 2022. - 99 p.

10. Yurin, A.N. Reducing labor costs by using a vision system when sorting apples / A.N. Yurin, V.V. Viktorovich, A.A. Ignatchik // Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection / National Academy of Sciences of Belarus, Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization"; editor: P. P. Kazakevich [and others]; rec.: V. V. Azarenko [and others]. - Minsk: Belarusian Science, 2022. - In issue. 55 - P.88-95.

Kazakevich, P.P. Kazakevich P.P., Yurin A.N., Prokopovich G.A. Vision system for apple defects recognition: substantiation, development, testing // Ves. National acad. Sciences of Belarus. Ser. agrarian navuk. - 2021. - T. 59, No. 4. - S. 488-500.

Информация об авторах

П.П. Казакевич - член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси; Д.И. Комлач - кандидат технических наук, доцент, генеральный директор РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; А.Н. Юрин - кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Information about the authors

P. Kazakevich - Corresponding Member, Ph. D. (Engineering), professor. Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus; D. Komlach - Ph.D. (Engineerig), Associate Professor. General Director Scientific and Production Center of the NAS of Belarus for Agricultural Mechanization; A. Yurin - Ph. D. (Engineerig), Associate Professor, Scientific and Production Center of the NAS of Belarus for Agricultural Mechanization.

Вклад авторов: П.П. Казакевич – научное руководство; концепция исследования; доработка текста, итоговые выводы; Д.И. Комлач – научное руководство; концепция исследования, итоговые выводы; А.Н. Юрин - реализация исследований; написание исходного текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: P. Kazakevich – scientific leadership; research concept; revision of the text, final conclusions ; D. Komlach – scientific guidance; conceptual studies, final results; A. Yurin - research implementation; writing the original text; final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 28.02.2023 Принята к публикации (Accepted): 04.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.354
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-38-45

МОДЕРНИЗАЦИЯ АППАРАТА ДЛЯ ОБМОЛОТА И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ХЛЕБНОЙ МАССЫ

Анна Радионовна Сухаева [1], Василий Николевич Хабардин [2], Станислав Николаевич Шуханов [3], Николай Васильевич Степанов [4]
[1,2,3,4] *Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, г. Иркутск, Россия*
[1]*suhaewa@yandex.ru*, [2]*habardinv@mail.ru*, [3] *Shuhanov56@mail.ru*, [4] *stepanov@igsha.ru*

Автор, ответственный за переписку: Станислав Николаевич Шуханов, Shuhanov56@mail.ru
Corresponding author: Stanislav Shukhanov, Shuhanov56@mail.ru

Реферат. *Одними из наиболее трудоёмких операций при уборке сельскохозяйственных культур являются обмолот и измельчение хлебной массы, выполняемых с помощью фуражира ФН – 1,4. Этот аппарат широко используется для перемещения силосной массы, находящейся в буртах в прицепную ёмкость. Применяемые в настоящее время технические средства не отвечают предъявляемым к ним требованиям, поэтому возникла необходимость в создании более совершенных - модернизации фуражира Модернизация фуражира ФН – 1,4 предложена для устранения основного недостатка: сложности технического устройства, являющегося причиной частых поломок. Пневмоканал спроектирован с возможностью перемещения высеваемого материала из полости донышка в полость трубопровода за счёт его силы тяжести. Собственно донышко в его нижней части изготовлено с формированием скатной доски по форме прямоугольника, которая закреплена под таким углом к горизонтальной плоскости, который дает возможность свободного пропуска обрабатываемого материала по ее поверхности за чет силы тяжести. Окно, коммутирующее полости пневмоканала, а также трубопровода, состыковано своей нижней поверхностью с нижним концом скатной доски. Значение размера высоты окна в передней стороне трубопровода не превышает двух-трех кратного максимального размера гранул высеваемого материала. Пневмоканал включает в себя скатную доску, а также кожух. Скатная доска с верхней части затворена кожухом. Поперечное сечение кожуха представляет собой П-образную форму, изменяющуюся по высоте в сторону увеличения от его переднего края к заднему, при этом форма его переднего конца по срезу совмещается с П-образным элементом окна в передней части стенки трубопровода, а форма заднего конца по срезу совмещается с П-образным элементом донышка в поперечном его сечении. Передний край кожуха состыкован с окном, а его задний край - с полостью донышка.*

Ключевые слова: *сельскохозяйственное производство, технические средства, хлебная масса, фуражир.*

MODERNIZATION OF THE APPARATUS FOR THRESHING AND GRINDING MASS

Anna Sukhaeva [1], Vasily Khabardin [2], Stanislav Shukhanov [3], Nikolai Stepanov [4]
[1,2,3,4] *Irkutsk State Agrarian University, A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia*
[1]*suhaewa@yandex.ru*, [2]*habardinv@mail.ru*, [3]*Shuhanov56@mail.ru*, [4]*stepanov@igsha.ru*

Abstract. *One of the most time-consuming operations when harvesting agricultural crops is threshing and grinding of the grain mass, performed with the help of forager FN-1.4. This machine is widely used to move the silage mass in piles to the trailer tank. The currently used technical means do not meet the requirements for them, therefore, it became necessary to create more advanced ones - the modernization of the forager. The modernization of the forager FN - 1.4 is proposed to eliminate the main drawback: the complexity of the technical device, which is the cause of frequent breakdowns. The pneumatic channel is*

designed with the possibility of moving the seeded material from the cavity of the bottom to the cavity of the pipeline due to its gravity. The actual bottom in its lower part is made with the formation of a pitched board in the form of a rectangle, which is fixed at such an angle to the horizontal plane, which makes it possible to freely pass the processed material over its surface due to gravity. The window switching the cavities of the pneumatic channel, as well as the pipeline, is docked by its lower surface with the lower end of the pitched board. The value of the height of the window in the front side of the pipeline does not exceed two to three times the maximum grain size of the seeded material. The pneumatic channel includes a pitched board, as well as a casing. The pitched board is closed with a casing from the top. The cross section of the casing is a U-shaped shape, changing in height upwards from its front edge to the rear, while the shape of its front end along the cut is combined with the U-shaped element of the window in the front part of the pipeline wall, and the shape of the rear end along the cut is combined with the U-shaped element of the bottom in its cross section. The front edge of the casing is docked with the window, and its rear edge - with the cavity of the bottom.

Keywords: *agricultural production, technical means, grain mass, fodder.*

Для цитирования: Сухаева А.Р., Хабардин В.Н., Шуханов С.Н., Степанов В.С. Модернизация аппарата для обмолота и измельчения хлебной массы // Наука в центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 38-45. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-38-45.

For citation: Sukhaeva A., Khabardin V., Shukhanov S., Stepanov N. Modernization of the apparatus for threshing and grinding mass. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 38-45. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-38-45.

Введение. Создание современных средств механизации технологических процессов сельскохозяйственного производства обеспечивается научными разработками со стороны аграрной науки [1-4]. При этом особое внимание уделяется техническим средствам, используемым в животноводческой отрасли [5-8]. Ключевое направление развития аграрного сектора – это возделывание зерновых как для продовольственных и семеноводческих, так и для кормовых целей. Существенное значение при возделывании которых имеет применяемая технология уборки. Адаптированная к региону технология позволяет значительно повысить эффективность производственного процесса [12]. Одними из наиболее трудоёмких операций при уборке сельскохозяйственных культур являются обмолот и измельчение хлебной массы, выполняемых с помощью фуражира ФН – 1,4. Этот аппарат широко используется для перемещения силосной массы, находящейся в буртах в прицепную ёмкость [9-12]. Применяемые в настоящее время технические средства не отвечают предъявляемым к ним требованиям, поэтому возникла необходимость в создании более совершенных.

Цель исследования – модернизация фуражира.

Материалы и методы. Материалом для исследования служили фуражиры, используемые при уборке сельскохозяйственных культур для обмолота и измельчения хлебной массы, а также для разгрузки кормов. Методами исследований служили обзор и анализ источников литературы, патентный поиск, обобщение изученного материала и, на этой основе решение технической задачи по модернизации фуражира на уровне патентоспособности.

Результаты и обсуждение. Анализ практики эксплуатации фуражиров выявил ряд недостатков. Существуют высевающие аппараты, которыми оснащены сеялки, а также сажалки и культиваторы. В частности, к ним относится катушечно-штифтовой аппарат, включающий в себя бункер с задвижкой, в том числе донышко и катушки [13]. Главная отрицательная сторона известного аппарата - это сложность технического устройства.

Другая конструкция усовершенствованного фуражира описана в работе [14]. На рисунке 1 приведен фуражир, а именно, проиллюстрирован трубопровод - вид сбоку. Трубопровод 1, который является составной частью фуражира, изготовлен с возможностью перемещения обработанного продукта путем его измельчения в транспортное средство. Это обеспечивается соединением трубопровода 1 с измельчающим барабаном с помощью эксгаустера, образующего воздушный поток в интеграции «измельчающий барабан - трубопровод 1». Для осуществления включения в состав измельченного продукта дополнительных инградиентов в виде кормовых

добавок конструкция фуражира оснащена высевающим аппаратом, установленным на передней стенке трубопровода. Составными элементами аппарата являются бункер 2 под высеваемый сыпучий материал, в том числе задвижка 3, а также донышко 4, спроектированного с формированием полости под задвижкой 3. Собственно полость донышка 4 соединена с полостью трубопровода 1 с помощью пневмоканала 5, изготовленного с возможностью подачи обрабатываемого материала из полости донышка 4 в полость трубопровода 1 под напором на этот материал воздушного потока, формируемого эксгаустером.

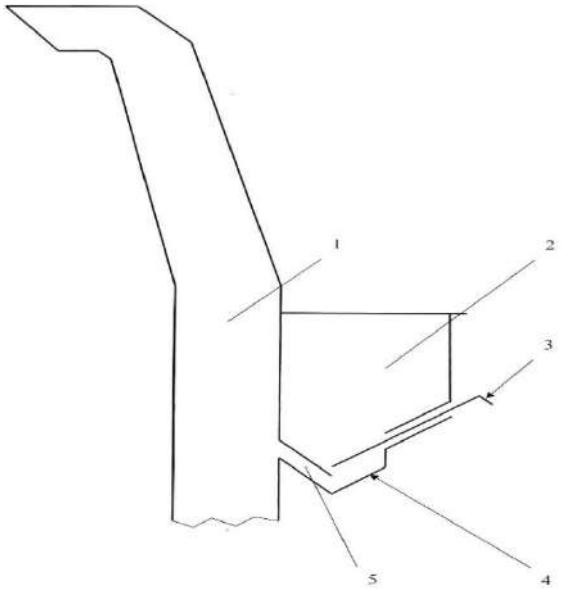


Рисунок 1 - Фуражир
1 – трубопровод; 2 – бункер; 3 – задвижка; 4 – донышко; 5 – пневмоканал

Отрицательной стороной представленной конструкции фуражира заключается в том, что пневмоканал высевающего аппарата сориентирован вверх, то есть в направлении перемещения высевающего материала по трубопроводу. По этой причине при отключении подачи, а иногда при экстренной (аварийной) остановке работы фуражира измельченный продукт за счёт силы тяжести движется вниз по трубопроводу, а затем посредством окна попадает в пневмоканал - заполняет его, что является причиной выхода из строя высевающего аппарата. В том числе, подача материала из полости донышка в полость трубопровода за счёт нагнетания воздушного потока непостоянна, так как коррелирует с параметрами технологического процесса измельчения.

С целью улучшения эксплуатационных свойств фуражира, оборудованного высевающим аппаратом с возможностью осуществления включения в измельченный продукт дополнительных инградиентов в виде кормовых добавок разработано новое техническое решение. Пневмоканал спроектирован с возможностью перемещения высеваемого материала из полости донышка в полость трубопровода за счёт его силы тяжести. Собственно донышко в его нижней части изготовлено с формированием скатной доски по форме прямоугольника, которая закреплена под таким углом к горизонтальной плоскости, который дает возможность свободного пропуска обрабатываемого материала по ее поверхности с помощью его силы тяжести. Окно, коммутирующее полости пневмоканала, а также трубопровода, состыковано своей нижней поверхностью с нижним концом скатной доски. Значение размера высоты окна в передней стороне трубопровода не превышает двух-трехкратного максимального размера гранул высеваемого материала.

Пневмоканал включает в себя скатную доску, а также кожух. Собственно скатная доска с верхней части затворена кожухом. Поперечное сечение кожуха представляет собой П-образную форму, изменяющуюся по высоте в сторону увеличения от его переднего края к заднему. При этом

форма его переднего конца по срезу совмещается с П-образным элементом окна в передней части стенки трубопровода, а форма заднего конца по срезу совмещается с П-образным элементом донышка в поперечном его сечении. Передний край кожуха состыкован с окном, а его задний край - с полостью донышка.

В итоге обрабатываемый материал за счёт собственной силы тяжести поступает из полости донышка по пневмоканалу в полость конструкции трубопровода, где происходит смешивание его с измельченным продуктом. Из-за того, что окно имеет заданный размер по высоте, а устройство пневмоканала от полости донышка сориентировано вниз, вероятность забивания полости высевающего аппарата продуктами измельчения сводится к минимуму. Подача обрабатываемого материала в полость трубопровода носит устойчивый характер, так как она выполняется, главным образом, за счет силы тяжести. В результате это повышает эксплуатационные свойства фуражира, оборудованного высевающим аппаратом, позволяющим включать в измельченный продукт кормовые добавки.

На рисунке 2 проиллюстрирован модернизированный фуражир.

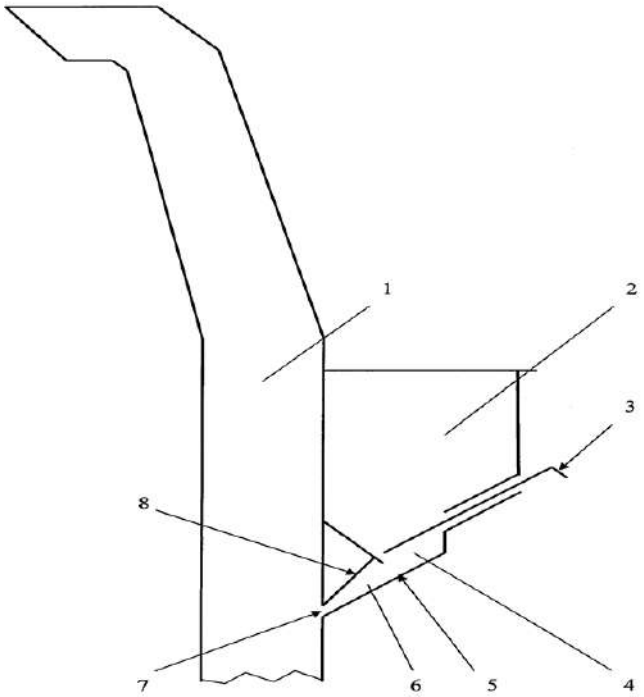


Рисунок 2 - Модернизированный фуражир
1 – трубопровод; 2 – бункер; 3 – задвижка; 4 – донышко; 5 – скатная доска; 6 – пневмоканал; 7 – окно; 8 – кожух

Приведен вид сбоку на трубопровод. Фуражир состоит из следующих составных частей: трубопровода 1, спроектированного с возможностью подачи измельченного продукта в транспортное средство. По этой причине трубопровод 1 соединен с измельчающим барабаном с помощью эксгаустера, создающего воздушный поток по направлению «измельчающий барабан - трубопровод 1». Для осуществления возможности включения в состав измельченного продукта дополнительных инградиентов в виде кормовых добавок фуражир включает в себя высевающий аппарат, установленный на передней стенке трубопровода 1. Устройство аппарата состоит из следующих элементов конструкции: бункера 2 под высеваемый сыпучий материал, а также задвижки 3 и донышка 4, изготовленного с формированием полости под задвижкой 3, которая соединена с полостью трубопровода 1 с помощью пневмоканала 6 - посредством окно 7 прямоугольной формы в передней стенке трубопровода**.** Для осуществления возможности подачи обрабатываемого материала в полость трубопровода 1 донышко 4 в его нижней части изготовлено

с формированием скатной доски 5 по форме прямоугольника, которая закреплена под таким углом к горизонтальной плоскости, что способствует свободному пропуску подаваемого материала по ее рабочей поверхности посредством действия его силы тяжести. Окно 7, посредством которого имеют сообщение полости пневмоканала 6, а также конструкции трубопровода 1, состыковано своей нижней частью с нижним концом скатной доски 5. Значение размера высоты окна 7 в передней части стенки трубопровода двух-трех кратно превышает максимальный размер гранул высеваемого материала. Пневмоканал 6 образован посредством скатной доски 5, а также кожуха 8 - скатная доска 5 сверху закрыта кожухом 8. Кожух в поперечном сечении имеет П-образный вид, изменяющийся по высоте в сторону увеличения от его переднего края к заднему. Форма его переднего края по срезу соответствует с П-образному элементу окна 7 в передней части стенки трубопровода 1, а форма заднего края по срезу соответствует с П-образному элементу донышка 4 в поперечном его сечении. Передний край кожуха 8 состыкован с окном 7, а его задний край - с собственно полостью донышка 4.

Фуражир функционирует в такой последовательности. Загружают бункер 2 кормовой добавкой. Регулируют дозу поступления добавки, варьируя площадь сечения питающего окна изменением положения задвижки 3. Осуществляют процесс измельчения, к примеру, сена. С этой целью после начала работы вала отбора мощности (включения в действие эксгаустера) конструкцию измельчающего барабана фуражира плавно совмещают со скирдой. За счёт силы тяжести, а также действия вибрации сыпучий материал добавки из устройства полости бункера 2 посредством питающего окна (задвижка 3 находится в положении: открыто или приоткрыто) подается в полость донышка 4, затем посредством действия собственной силы тяжести он перемещается по поверхности скатной доски 5, минуя пневмоканал 6, и далее - проходя через окно 7 - в полость конструкции трубопровода 1, где происходит его смешивание с измельченным продуктом.

Разработанное устройство применяется в технологиях уборки зерновых культур Приангарья [15]. Основанием для использования модернизированного аппарата стали качественные показатели его работы [16]. Одним из которых является корреляция производительности фуражира Q и удельной мощности Nуд со значением угловой скорости вращения барабанного рабочего органа.

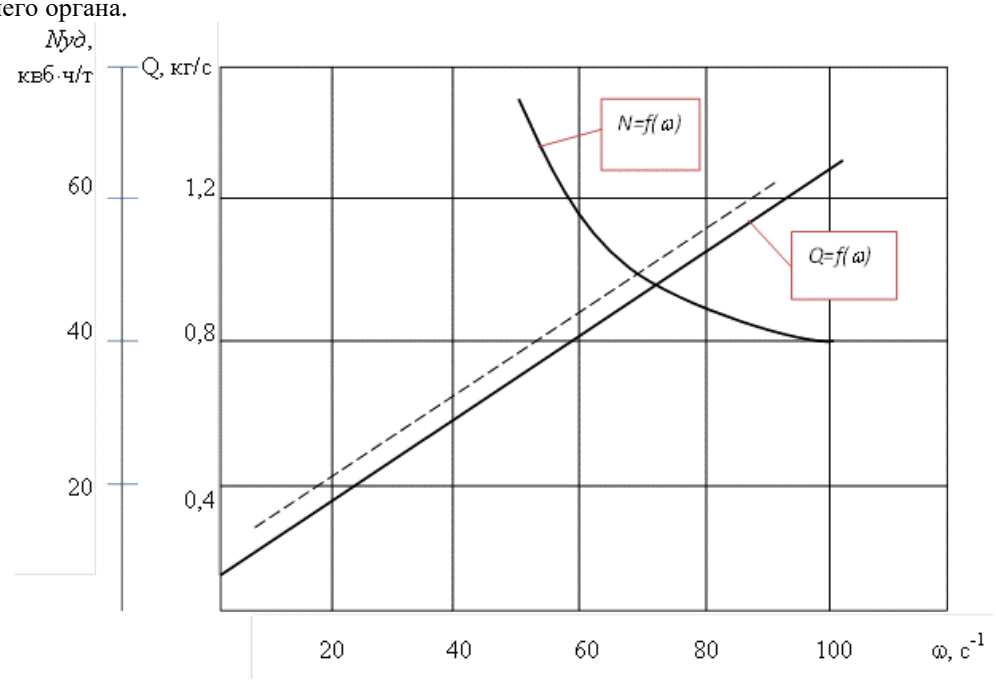


Рисунок 3 - График корреляции производительности фуражира Q и удельной мощности $N_{уд}$ со значением угловой скорости вращения барабанного рабочего органа: - - - - - экспериментальный; — - теоретический

Анализ графика демонстрирует, что с увеличением пропускной способности модернизированного аппарата снижается величина удельной мощности и значении производительности Q = 1,1 кг/с удельная мощность тождественна 55 кВт ч/т. Дальнейшее увеличение подачи измельчаемого материала (более оптимальных значений) ведет к увеличению необходимой мощности на выполнение процесса обмолота-измельчения.

Заключение. Выполненный обзор литературных источников позволил выявить недостатки современных аппаратов для обмолота и измельчения хлебной массы. Анализ конструктивных особенностей и принципа их функционирования позволил решить актуальную практическую задачу по модернизации фуражира, отличающегося улучшенными эксплуатационными свойствами, оборудованного высевающим аппаратом для включения в измельченный продукт дополнительных инградиентов в виде кормовых добавок. Фуражир позволяет повысить эффективность выполняемых трудоемких технологических процессов.

Список источников

1. Шуханов С.Н., Болоев П.А., Коваливнич В.Д., Гармаев Ж.В. Опытный измельчитель корнеклубнеплодов // Вестник АПК Верхневолжья. - 2014. - № 2 (26). - С. 86-87.

2. Раднаев Д.Н., Калашников С.С., Шуханов С.Н. Оптимизация технологического комплекса машин в растениеводстве // Аграрная наука. - 2015. - № 8. - С. 28-30.

3. Болоев П.А., Поляков, С.Н. Шуханов Оценка глубины заделки семян зерновых культур посевными комплексами // Пермский аграрный вестник. - 2016. - № 1 (13). - С. 45-50.

4. Хабардин С.В., Поляков Г.Н., Шуханов С.Н. Новое техническое устройство для тяговых испытаний автотракторной техники // Тракторы и сельхозмашины. - 2021. - № 3. - С. 37-41.

5. Татарникова П.А., Харлампьев А.А., Друзьянова В.П. Факторы, определяющие устойчивое кормообеспечение крупного рогатого скота в республике Саха (Якутия) / В сборнике: Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года. Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М. Е. Николаева (Николаевские чтения). -2022. - С. 308-313.

6. Татарникова П.А., Друзьянова В.П. Проблематика традиционных отраслей сельского хозяйства в районах арктической зоны республики Саха (Якутия) (на примере скотоводства и коневодства) / В сборнике: Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. Материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х томах. Благовещенск - 2022. - С. 338-344.

7. Кокиева Г.Е. Исследование кормоцехов для животноводческих ферм / В сборнике: ЛАРИОНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ-2022. сборник научно-исследовательских работ по итогам научно-практической конференции. - 2022. - С. 54-64.

8. Семенов К.Д., Медяков А.А., Сидыганов Ю.Н., Онучин Е.М. Моделирование работы системы обогрева производственных помещений животноводческого комплекса // АгроЭкоИнженерия. - 2022.- № 3 (112). - С. 129-141.

9. Пенкин М.Г., Касабеков Р.И., Глотов В.И. и др. Сушка хлебной массы в стогах // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1982. - № 10. – С. 40-42.

10. Пенкин М.Г., Касабеков Р.И., Глотов В.И. и др. Технология и комплекс машин для уборки зерновых культур с обмолотом из стогов // Механизация и электрификация сельского хозяйства - 1983. - № 8. – С. 8 -11.

11. Пенкин М.Г., Глотов Р.И, Чирков Н.Е. и др. Энергосберегающие технологии уборки зерновых культур повышенной влажности / Механизация и электрификация сельского хозяйства - 1986. - № 8. – С. 13-15.

12. Упкунов Ю.Н., Хараев А.Б., Филиппов А.С. Варианты обмолота на стационаре // Земля Сибирская, Дальневосточная - 1988. - № 8. – С. 48-49.

13. Халанский, В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. - М.: КолосС, 2004. - 624 с. - С. 142, 143.

14. Патент на изобретение 2748994 С1, 02.06.2021. Фуражир. Хабардин В.Н., Сухаева А.Р., Мирзоян Н.Г., Кожевникова Н.И. Заявка № 2020107816 от 20.02.2020, Бюл. № 16.

15. Сухаева А.Р., Шуханов С.Н., Коваливнич В.Д. Технологии уборки зерновых культур Приангарья // Известия Международной академии аграрного образования – 2019. - № 46. – С. 66-69.

16. Сухаева А.Р. Совершенствование технологии уборки зерновых культур и обоснование параметров скоплений хлебной массы для крестьянских (фермерских) хозяйств в условиях Восточной Сибири. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук - Улан-Удэ. – 2006. – 131 с.

Reference

1. Shukhanov S.N., Boloev P.A., Kovalivnich V.D., Garmaev Zh.V. Experienced grinder of root crops // Bulletin of the APK of the Upper Volga. - 2014. - No. 2 (26). - S. 86-87.

2. Radnaev D.N., Kalashnikov S.S., Shukhanov S.N. Optimization of the technological complex of machines in crop production // Agrarian science. - 2015. - No. 8. - S. 28-30.

3. Boloev P.A., Polyakov, S.N. Shukhanov Evaluation of the depth of sowing seeds of grain crops with sowing complexes // Perm agrarian bulletin. - 2016. - No. 1 (13). - S. 45-50.

4. Khabardin S.V., Polyakov G.N., Shukhanov S.N. New technical device for traction tests of automotive equipment // Tractors and agricultural machines. - 2021. - No. 3. - S. 37-41.

5. P.A. Tatarnikova, A.A. Factors determining the sustainable supply of cattle in the Republic of Sakha (Yakutia) / In the collection: Strategy and prospects for the development of agricultural technologies and the forest complex of Yakutia until 2050. Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Yakut ASSR and the 85th anniversary of the First President of the RS (Y) M. E. Nikolaev (Nikolaev Readings). -2022. - S. 308-313.

6. Tatarnikova, P.A. The problems of traditional branches of agriculture in the regions of the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia) (on the example of cattle breeding and horse breeding) / In the collection: Agro-industrial complex: problems and development prospects. Materials of the All-Russian scientific-practical conference. In 4 volumes. Blagoveshchensk - 2022. - P. 338-344.

7. Kokieva G.E. Study of feed shops for livestock farms / In the collection: LARIONOV READING-2022. collection of research papers based on the results of the scientific-practical conference. - 2022. - S. 54-64.

8. Semenov K.D., Medyakov A.A., Sidiganov Yu.N., Onuchin E.M. Modeling the operation of the heating system for industrial premises of the livestock complex // AgroEcoEngineering. - 2022.- No. 3 (112). - S. 129-141.

9. Penkin M.G., Kasabekov R.I., Glotov V.I. Drying of grain mass in stacks // Mechanization and electrification of agriculture. - 1982. - No. 10. - S. 40-42.

10. Penkin M.G., Kasabekov R.I., Glotov V.I. and others. Technology and complex of machines for harvesting grain crops with threshing from haystacks // Mechanization and electrification of agriculture - 1983. - No. 8. - P. 8 -11.

11. Penkin M.G., Glotov R.I., Chirkov N.E. and others. Energy-saving technologies for harvesting high-moisture grain crops / Mechanization and electrification of agriculture - 1986. - No. 8. - P. 13-15.

12. Upkunov Yu.N., Kharaev A.B., Filippov A.S. Threshing options at the station // Siberian Land, Far East - 1988. - No. 8. - P. 48-49.

13. Khalansky, V.M., Gorbachev, I.V. Agreecultural machines. Agreecultural equipment. - M.: KolosS, 2004. - 624 p. - S. 142, 143.

14. Patent for invention 2748994 C1, 06/02/2021. Forager. Khabardin V.N., Sukhaeva A.R., Mirzoyan N.G., Kozhevnikova N.I. Application No. 2020107816 dated February 20, 2020, Bull. No. 16.

15. Sukhaeva A.R., Shukhanov S.N., Kovalivnich V.D. Technologies for harvesting grain crops in the Angara region // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education - 2019. - No. 46. - P. 66-69.

16. Sukhaeva A.R. Improving the technology of harvesting grain crops and substantiating the parameters of accumulations of grain mass for peasant (farm) farms in Eastern Siberia. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences - Ulan-Ude. - 2006. - 131 p.

Информация об авторах

А.Р. Сухаева - кандидат технических наук, доцент; В. Н. Хабардин - доктор технических наук, профессор; С.Н. Шуханов – доктор технических наук, профессор; Н.В. Степанов – какндидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. Sukhaeva - candidate of technical sciences, associate professor; V. Khabardin - Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Shukhanov - doctor of technical sciences, professor; N. Stepanov - 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): 13.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.312.02.31.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-46-53

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СКОРОСТНОГО ПЛУГА ПСКУ

Александр Михайлович Михальченков [1], Юрий Игоревич Филин [2], Наталья Васильевна Петракова [3]
[1,2,3] *Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия*
[1] mihalchenkov.alexandr@yandex.ru, [2] rock2032@rambler.ru, [3] feskovwork@gmail.com

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

Реферат. *В последние годы широко применяются скоростные плуги отечественного производства. Ресурс деталей рабочих органов и их долговечность нельзя считать достаточными, хотя эти показатели сравнимы с аналогичными для ввозимых в страну плугов. Целью исследований стала разработка технологий упрочнения и восстановления деталей рабочих органов скоростных плугов серии ПСКу, основанных на геометрической форме износов. Опытными образцами при создании технологий восстановления и упрочнения стали конструктивные элементы рабочих органов как в состоянии поставки, так и снятые с эксплуатации. В качестве материалов применялись электроды различного назначения, а также композиционный абразивостойкий материал, разработанный в Брянском ГАУ. Опытные детали испытывались в натурных условиях при вспашке суглинистых почв. Контролировалось 24 изделия каждого наименования. Наработка составляла 25 га на корпус. В результате проведенной работы показано, что лучевидный износ устраняется заплавкой электродами, обеспечивающими абразивостойкое покрытие. Если остаточная толщина износа составляет 2 мм и присутствует сквозное протирание, их устранение производится наплавкой по предварительно уложенным электродам или нанесением абразивостойкого эпоксидно-песчаного композита. Для упрочнения следует проводить наплавочное армирование поверхностей наиболее вероятного появления износа и участков, подвергшихся технологическим воздействиями при восстановлении, а также осуществлять упрочняющую наплавку тыльной стороны левых и вертикальных ножей.*

Ключевые слова: *скоростная вспашка, плуг ПСКу, технологии упрочнения, технологии восстановления, левый нож, правый нож, вертикальный нож, отвал, ресурс, долговечность.*

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGIES FOR STRENGTHENING AND RESTORING PARTS OF THE WORKING BODIES OF THE HIGH-SPEED PLOW OF THE PSKU

Alexander Mikhalchenkov [1], Yuri Filin [2], Petrakova Natalia [3]
[1,2,3] *Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia*
[1] mihalchenkov.alexandr@yandex.ru, [2] rock2032@rambler.ru, [3] feskovwork@gmail.com

Abstract. *High-speed plows of domestic production have been widely used in recent years. The resource of parts of the working bodies and their durability cannot be considered sufficient, although these indicators are comparable with those for plows imported into the country. The aim of the research was the development of technologies for strengthening and restoring parts of the working bodies of high-speed plows of the PSKu series, based on the geometric shape of wear. Structural elements of the working bodies, both in the state of delivery and decommissioned, became prototypes for the creation of restoration and hardening technologies. Electrodes for various purposes, as well as a composite abrasive-resistant material developed at the Bryansk State Agrarian University, were used as materials. The experimental parts were tested in full-scale conditions when plowing loamy soils. 24 products of each*

name were monitored. The operating time was 25 hectares per case. As a result of the work performed, it is shown that radial wear is eliminated by welding with electrodes that provide an abrasion-resistant coating. If the residual wear thickness is 2 mm and through-wiping is present, their elimination is carried out by surfacing on pre-installed electrodes or by applying an abrasive-resistant epoxy-sand composite. For hardening, it is necessary to carry out surfacing reinforcement of the surfaces of the most likely occurrence of wear and areas that have been subjected to technological influences during restoration, as well as to carry out a strengthening surfacing of the back of the left and vertical knives.

Key words: *high-speed plowing, PSKu plow, hardening technologies, recovery technologies, left knife, right knife, vertical knife, blade, resource, durability.*

Для цитирования: Михальченков А.М., Филин Ю.И., Петракова Н.В. Обоснование технологий упрочнения и восстановления деталей рабочих органов скоростного плуга ПСКу // Наука в Центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 46-53. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-46-53.

For citation: Mikhalchenkov A., Filin Yu., Petrakova N. Substantiation of technologies for strengthening and restoring parts of the working bodies of the high-speed plow of the PSKu. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 46-53. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-46-53.

Введение. Широкое применение плугов импортного исполнения в определенный период потеснило отечественных производителей [1,2] в силу их более высоких качественных, эксплуатационных и агротехнических показателей [3,4]. В настоящее время в связи со сложившейся экономической ситуацией российские предприятия приступили к выпуску скоростных плугов серии ПСКу, ни в чем не уступающих зарубежным аналогам. Более того, производство и эксплуатация этих почвообрабатывающих орудий показали лучшие технологичность и экономичность в сравнении с импортируемыми. В частности, расход топлива при пахоте плугами ПСКу ниже, чем у изделий зарубежных производителей при прочих равных условиях. Нужно отметить, что конструктивно рабочие органы отечественных скоростных плугов значительно отличаются от широко применяемых оборотных. Рабочий орган ПСКу состоит из левого ножа, правого ножа, вертикального ножа и отвала, которые выполняют функциональное назначение оборотного плуга с соблюдением агротехнических условий. Ресурс рабочего органа достаточно высок и определяется наработкой до предельного состояния верхнего ножа и составляет около 25 га на рабочий орган при вспашке легких суглинков [5]. Ряд исследователей [6,7] указывает на возможность и необходимость проведения упрочнения и восстановления выше названных конструктивных элементов. Однако работы, направленные на разработку технологий реновации деталей плуга ПСКу после эксплуатации малочисленны и не всегда отвечают современным требованиям [8,9].

Поэтому целью исследований стала разработка технологий упрочнения и восстановления деталей рабочих органов скоростных плугов серии ПСКу, основанных на геометрической форме износов и их расположении на конструктивном элементе.

Материалы и методы. Исходными образцами при разработке технологий восстановления и упрочнения явились изношенные конструктивные элементы, снятые по причине предельного состояния корпуса. Для упрочнения использовались детали в состоянии поставки. Причем левый и вертикальный ножи относятся к оборотным. При проведении технологических операций применялись следующие материалы: 1. Электроды для сварки углеродистых сталей марок УОНИ 13/55; 2. Электроды, обеспечивающие высокую твердость (около 60 HRC) наплавленного слоя с присутствием в нем карбоборидов и карбидов железа (электроды для противоабразивной наплавки – Т-590); 3. Электроды, обеспечивающие твердость валиков не менее 40HRC, например ОЗН-400М; 4. Абразивостойкий композиционный материал, состоящий из дисперсного наполнителя в виде кварцевого песка (60 мас.ч.) и эпоксидного состава (эпоксидная смола 100 мас.ч., отвердитель (полиэтиленполиамин) 10 мас.ч.) – 40 мас.ч.

Параметры режимов наплавки и наплавочного армирования: электроды УОНИ 13/55 – диаметр (d)=4 мм, сила сварочного тока ($I_{св}$) = 170А; электроды Т-590 – d=4мм, $I_{св}$=200-220А; электроды ОЗН-400М - d=4мм, $I_{св}$=140-160А.

Композит наносится вручную на подготовленную поверхность, обработанную растворителем, и отверждается в течении 24 часов при температуре 20-25·˚С.

Испытания проводились в полевых условиях при вспашке суглинистых почв. Контролировалось 24 изделия, согласно изучаемой номенклатуре.

Разработка технологий базировалась на работах, проведенных учеными Брянского ГАУ, посвященных исследованиям специфики изнашивания и геометрии износа деталей рабочего органа плуга ПСКу [10,11].

Наработка до предельного состояния корпуса, определяемая наличием предельного износа вертикального ножа, составляла 25 га.

Результаты и их обсуждение. Учитывая специфичность геометрии изнашивания, каждая деталь корпуса будет рассматриваться отдельно.

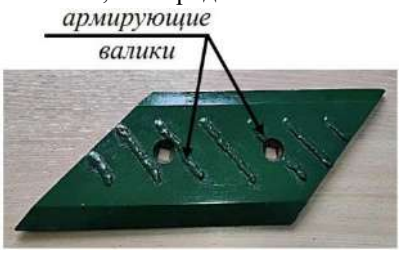
Нож левый. Все ножи имели лучевидный износ рабочей поверхности (рисунок 1), который наиболее заметно выражен в заглубляющей области (обведено овалом). Он находится в зоне между подрезающими частями, что обусловлено их термоупрочнением на твердость 40HRC и наплавкой тыльной стороны лезвия сормайтом. К характерным дефектам левых ножей относится износ лезвийной области.

Рисунок 1 – Износы эксплуатируемой поверхности левого ножа: лучевидный; лезвия

Снижение темпа изнашивания рабочей поверхности изделия в состоянии поставки (упрочнение) достигается применением наплавочного армирования, когда на поверхности контактирования формируются валики с твердостью 38 – 40HRC (электроды ОЗН-400М) (рисунок 2 а). При этом соблюдается правила Шарпи [12]. Валики располагаются перпендикулярно полевому обрезу и наплавляются с шагом 30-35 мм.

Лучевидный износ (точнее область его наибольшей величины) осуществляется заплавкой электродами УОНИ-13/55 до достижения толщины 5 - 6 мм, оговоренной техническими условиями (рисунок 2 б). Восстановление сопровождается проведением наплавочного армирования всей рабочей поверхности по примеру процесса, описанному выше.

Кроме того, следует наплавить упрочняющее покрытие на тыльную область лезвийной части шириной 8-10 мм, электродами Т-590.



а)

б)

а – упрочненный наплавочным армированием в состоянии поставки; б – восстановленный с упрочнением наплавочным армированием

Рисунок 2 – Технологические операции по увеличению ресурса и долговечности левого ножа:

Лучевидный износ необходимо устранять строго обязательно, из-за того, что при обороте изделия его не рабочее состояние будет достигаться за сравнительно короткое время эксплуатации.

Нож правый. Правые ножи имеют лучевидный износ в области полевого обреза (рисунок 3) в двух сечениях. Нередко ее развитие приводит к излому заглубляющей части.

Наряду с этим в процессе эксплуатации изнашивается режуще – лезвийная часть. Тем не менее контролируемые детали сохраняли заточку и наплавленный с тыльной стороны слой материала твердостью около 70HRC шириной 8-10 мм. Это делает возможным их детальнейшее использование, так как ширина абразивостойкого слоя у деталей заводского исполнения составляет 20 мм.

Рисунок 3 – Нож правый с лучевидным износом

Устранение лучевидного износа осуществляется заплавкой электродами, обеспечивающими твердость не менее 60HRC с присутствием в структуре карбоборидов (например, Т-590) (рисунок 4).

Рисунок 4 – Восстановленный нож

Нож вертикальный. Такие детали конструктивно сложны, так как имеют изогнутый геометрический профиль (рисунок 5), который оказывает влияние на выбор технологического приема упрочнения и восстановления. Данные детали в состоянии поставки упрочняются с тыльной стороны лезвийной области. Вертикальный нож подвергается значительным силовым нагрузкам со стороны почвы (по сравнению с другими элементами корпуса) и снижает влияние абразивной массы на степень изнашивания отвала. Утрата им работоспособности приводит к прекращению эксплуатации всего корпуса, так как интенсивность изнашивания данной детали значительно превышает этот показатель у других конструктивных элементов.

Рисунок 5 - Вертикальный нож с лучевидным износом и локальным полным истиранием полевого обреза

Характерными дефектами вертикального ножа являются: а- лучевидный износ; б – износ полевого обреза; в – износ полевого обреза с локальным сквозным протиранием

Лучевидный износ (по примеру левых ножей) заплавляется электродными материалами, обеспечивающими твердость сформированного материала не менее 40HRC (ОЗН-400М). Для

увеличения межремонтного ресурса применяется способ упрочнения наплавочным армированием восстановленной зоны теми же электродами, которые применяются для устранения лучевидного износа (рисунок 6 а). Техника нанесения валиков остается такой же, как и у левых ножей. После восстановления следует провести наплавку полевого обреза с тыльной стороны электродом, обеспечивающим абразивостойкий слой (Т-590) (рисунок 6 б).

а) б)

Рисунок 6 – Вертикальный нож: а – после заплавки износа и наплавочного армирования рабочей поверхности; б – наплавленный валик с тыльной стороны полевого обреза

Зона вероятного износа рабочей поверхности вертикальных ножей в состоянии поставки перед эксплуатацией рекомендуется армировать аналогично восстанавливаемым деталям. Также следует провести упрочняющую наплавку тыльной стороны полевого обреза с твердостью валика около 60HRC.

Нередко остаточная толщина области полевого обреза ножа может достигать значений около 1мм, что исключает применение наплавочных методов устранения износа из-за «прожигания» области наплавки. Кроме этого, установлено, что около 20% обследованных деталей имеют сквозные протирания. В этом случае рекомендуется применять абразивостойкие дисперснонаполненные клеевые композиты. (Технология использования которых дана выше). При наличии сквозных протираний их заделка производится с использованием пластиковой строительной сетки с размером ячеек 0,1-0,2 мм [13].

Износ лезвийной области ножа отсутствует вследствие наплавленного на тыльной поверхности слоя твердостью около 70 HRC.

Отвал. Наблюдения за отвалами в период их эксплуатации позволили установить, что характерным дефектом является специфический по форме износ рабочей поверхности (рисунок 7).

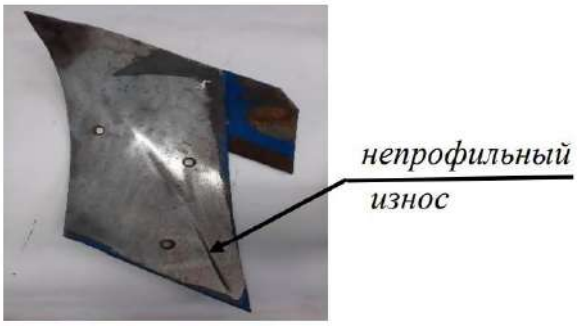
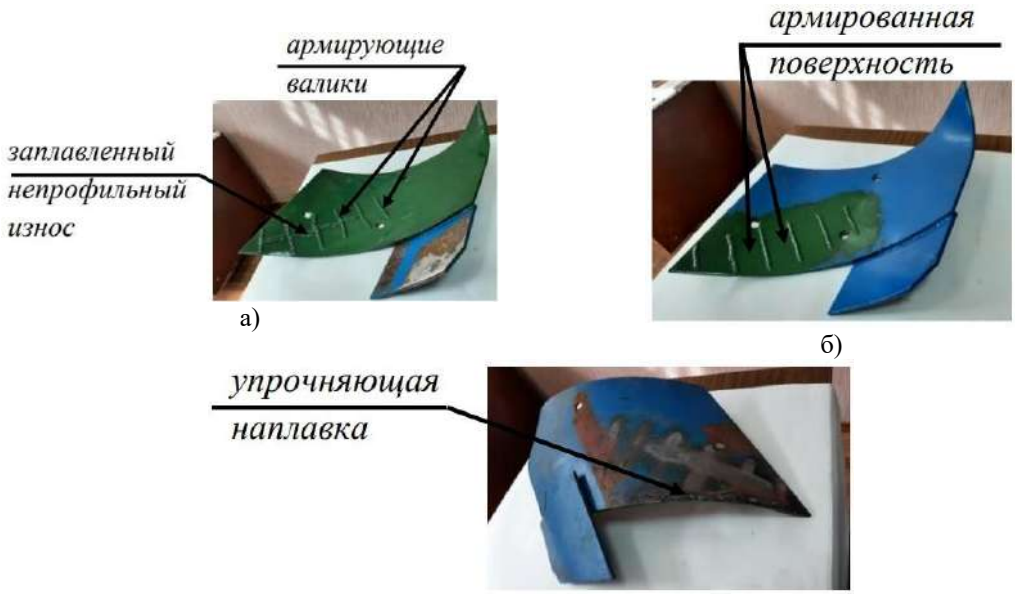


Рисунок 7 – Отвалы плуга ПСКу с дефектом рабочей поверхности в виде непрофильного износа

Наличие максимального износа по толщине в 8 мм позволяет проводить его заплавку без риска «прожигания» металла отвала электродом, обеспечивающим 38-40HRC наплавленного металла (ОЗН-400М) (рисунок 8 а). В случае, когда остаточная толщина менее 2 мм для устранения износа нужно использовать метод заплавки по предварительно уложенным электродам [14] или применять эпоксидные абразивостойкие композиты [13].

В качестве дополнительной меры и исходя из опыта практического использования данных деталей для повышения послеремонтного ресурса после их восстановления следует дополнительно провести наплавочное армирование участка, подвергшегося технологическим

воздействиям путем формирования валиков перпендикулярно перемещению почвы с шагом 35-40 мм. Реализация технологии осуществляется электродом ОЗН-400М.



а) б) в)

Рисунок 8 – Отвалы: а – в состоянии поставки упрочненный наплавочным армированием; б – восстановленный заплавкой лучевидного износа и упрочненный наплавочным армированием; в – восстановленный и упрочненный наплавочным армированием с наплавкой упрочняющего валика с тыльной стороны.

Для снижения интенсивности изнашивания отвалов в состоянии поставки целесообразно предварительное наплавочное армирование на рабочей поверхности вероятной области расположения непрофильного износа электродом ОЗН-400М (рисунок 8 б).

Кроме того, следует проводить упрочняющую наплавку на тыльной стороне полевого обреза использованием электрода Т-590 (рисунок 8 в), что позволит повысить стойкость этого участка к абразивному изнашиванию.

Применение описанных выше технологий упрочнения и восстановления деталей рабочих органов скоростных плугов серии ПСКу позволило увеличить их ресурс в 1,5 раза и повысить долговечность в 1,8-2 раза.

Выводы:

1. Устранение лучевидного износа производится его заплавкой электродами, обеспечивающими твердость нанесенного слоя 40HRC и 60HRC в зависимости от специфики изнашивания и нагруженности восстанавливаемого участка детали.
2. Для увеличения ресурса конструктивных элементов заводского исполнения следует проводить наплавочное армирование поверхностей наиболее вероятного появления износа. Также необходимо армировать области, подвергающиеся технологическим воздействиями при восстановлении изделий.
3. Следует проводить наплавку тыльной стороны левых и вертикальных ножей электродами, предназначенными для получения абразивостойкого слоя шириной до 20 мм.
4. В случае наличия лучевидного износа с остаточной толщиной менее 2 мм и наличием сквозного протирания для их устранения используются наплавка по предварительно уложенным электродам или применяется абразивостойкий дисперснонаполненный эпоксидно-песчаный композит.

Список источников

1. Ерохин М.Н., Новиков В.С., Валежникова Е.В., Парамонов Д.П. Об оценке эффективности рабочих органов почвообрабатывающих машин // Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. - 2013. - № 4. - С. 99-106.

2. Ерохин М.Н., Новиков В.С., Петровский Д.И. Прогнозирование ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин // Сельский механизатор. - 2015. - № 11. - С. 6-9.

3. Козарез И.В., Михальченкова М.А., Гуцан А.А., Михальченко И.А., Шишкина И.В. Характеристика лемехов импортного производства и приобретенные дефекты // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. - 2021. - № 1. - С. 70-84.

4. Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Результаты исследований эксплуатационных показателей импортных тракторов с прицепным лемешно-отвальным плугом // Аграрный научный журнал. - 2022. - № 8. - С. 72-75.

5. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Багринцев О.О. Исследование износостойкости рабочих органов скоростных плугов модели ПСКу // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. - 2021. - № 4 (32). - С. 52-60.

6. Орехова Г.В., Шаев А.В., Астапеченко А.М., Ковалев А.С. Заводская технологичность левых ножей скоростных плугов серии ПСКу, их износы, методы торможения и устранения // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. - 2022. - № 1. - С. 46-53.

7. Титов В.Н., Бочкарева Ю.В. Конструктивные особенности усовершенствованного корпуса плуга "ПСКу" // АгроЭкоИнфо. - 2018. - № 3 (33). - С. 59.

8. Ульянова Н.Д., Михальченко И.А., Обыденников Д.Ю., Шаев А.В. Анализ износов правого и вертикального ножей скоростного плуга ПСКу и методы по увеличению их долговечности // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. - 2022. - № 1. - С. 54-65.

9. Михальченков А.М., Феськов С.А., Зорин А.А., Аниканов А.А., Чуев А.С. Дефекты деталей рабочего органа скоростных плугов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 3 (85). - С. 41-46.

10. Михальченков А.М., Синяя Н.В., Случевский А.М., Кожухова Н.Ю. Износы правого ножа скоростного плуга ПСКу и технологические мероприятия по увеличению его долговечности // Технический сервис машин. - 2021. - № 3 (144). - С. 122-129.

11. Михальченков А.М., Феськов С.А., Дьяченко А.В., Гринь А.М. Техническое состояние и износы левых ножей скоростных плугов серии ПСКу, методы их торможения и устранения // Агроинженерия. 2021. - № 6 (106). - С. 56-61.

12. Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Кулевич В.П., Артемьев А.А., Харламов В.О., Чукова О.М. Исследование износостойкости слоистых металлоинтерметаллидных композитов системы CU-AL // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2021. - № 6 (253). - С. 18-26.

13. Бирюлина Я.Ю. Устранение сквозных износов лап культиваторов "моррис" клееполимерными композитами // Труды ГОСНИТИ. - 2015. - Т. 119. - С. 264-268.

References

1. Erokhin M.N., Novikov V.S., Valezhnikova E.V., Paramonov D.P. On the assessment of the effectiveness of the working bodies of soil-cultivating machines // Izvestiya of the Academy of Engineering Sciences. A.M. Prokhorov. - 2013. - No. 4. - S. 99-106.

2. Erokhin M.N., Novikov V.S., Petrovsky D.I. Forecasting the resource of working bodies of soil-cultivating machines // Sel'skii mekhanizator. - 2015. - No. 11. - S. 6-9.

3. Kozarez I.V., Mikhalchenkova M.A., Gutsan A.A., Mikhalchenko I.A., Shishkina I.V. Characteristics of imported shares and acquired defects // Proceedings of the Faculty of Engineering and Technology of the Bryansk State Agrarian University. - 2021. - No. 1. - S. 70-84.

4. Boikov V.M., Startsev S.V., Pavlov A.V., Nesterov E.S. Results of studies of the performance indicators of imported tractors with a trailed share-moldboard plow // Agrarian scientific journal. - 2022. - No. 8. - S. 72-75.

5. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Bagrintsev O.O. Investigation of the wear resistance of the working bodies of high-speed plows of the PSKu model // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. - 2021. - No. 4 (32). - S. 52-60.

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

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

8. Ulyanova N.D., Mikhalchenko I.A., Obydennikov D.Yu., Shaev A.V. Analysis of the wear of the right and vertical knives of the high-speed plow PSKu and methods to increase their durability // Proceedings of the Faculty of Engineering and Technology of the Bryansk State Agrarian University. - 2022. - No. 1. - S. 54-65.

9. Mikhalchenkov A.M., Feskov S.A., Zorin A.A., Anikanov A.A., Chuev A.S. Defects in parts of the working body of high-speed plows // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. - 2021. - No. 3 (85). - S. 41-46.

10. Mikhalchenkov A.M., Sinya N.V., Sluchevsky A.M., Kozhukhova N.Yu. Wear of the right knife of the high-speed plow PSKu and technological measures to increase its durability // Technical service of machines. - 2021. - No. 3 (144). - S. 122-129.

11. Mikhalchenkov A.M., Feskov S.A., Dyachenko A.V., Grin A.M. Technical condition and wear of the left knives of high-speed plows of the PSKu series, methods of their braking and elimination // Agroengineering. 2021. - No. 6 (106). - S. 56-61.

12. Shmorgun V.G., Slautin O.V., Kulevich V.P., Artemiev A.A., Kharlamov V.O., Chukova O.M. Investigation of the wear resistance of layered metal-intermetallic composites of the CU-AL system. Bulletin of the Volgograd State Technical University. - 2021. - No. 6 (253). - S. 18-26.

13. Biryulina Ya.Yu. Elimination of through wear of paws of "Morris" cultivators with adhesive-polymer composites // Proceedings of GOSNITI. - 2015. - T. 119. - S. 264-268.Сведения об авторах

Информация об авторах

А.М. Михальченков – доктор технических наук, профессор; Ю.И. Филин - кандидат технических наук, старший преподаватель; Н.В. Петракова - кандидат педагогических наук, доцент.

Information about the authors

A. Mikhalchenkov - Doctor of Technical Sciences, Professor; Yu. Filin - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer; N. Petrakova - Candidate of Pedagogical 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): 17.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 19.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-54-64

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРИЕРА С АВТОРЕГУЛИРУЕМЫМ СКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

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. *Представлены методика исследований процесса триерной очистки зерносмеси в авторегулируемом режиме и результаты поисковых опытов. По базовым критериям качества технологического процесса подтверждены благоприятные условия его протекания – полная загрузка ячеистой поверхности зерносмесью по длине и минимум схода зерна основной культуры. Средний уровень остаточной засоренности составил 0,0019%, а средний уровень технологических потерь − 0,042%. Установлено, что продолжительность опытов в 3,5 мин недостаточна для объективной оценки производительности триера (W) и степени выделения примесного компонента ($C_в$). За это время W составила только 91,4 % подачи ($W_п$) зерносмеси в триер, а $C_в$ не превысила 70% из-за незавершенности этапа стабилизации технологического процесса. Коэффициент вариации схода составил 18 %. Предложено увеличить продолжительность опытов до 20 мин за счет многократной циркуляции рабочей среды по замкнутому контуру при включении в состав экспериментального оборудования скребкового транспортера. Расчетами подтверждена максимальная кратность циркуляции рабочей среды, равная 4,3, при распределенной массе зерна в замкнутом технологическом контуре 332 кг. Исходя из допущения об увеличении нарастающим итогом остаточной засоренности ($З_о$) при циркуляции рабочей среды, погрешность воспроизведения условий опытов по величине $З_о$ составит 0,0027 – 0,008% во всем диапазоне исходной засоренности $З_и$ = 1-3%. Отбор проб по оценке $З_о$ должен производиться через каждые 120 с, а расчетная продолжительность отбора проб возрастает со снижением $W_п$ и $З_и$ в диапазоне 6-54 с. При этом гарантируется наличие 2-3-х примесных частиц в навеске, когда триер работает на оптимальном скоростном режиме (n_{opt}). При больших скоростях число примесных частиц в навесках возрастет. Для снижения трудоемкости разбора проб примесные частицы предложено окрашивать в контрастные цвета (синий, черный).*

Ключевые слова: *триер, зерносмесь, качество очистки, примесь, режимы работы, автоуправление.*

RESULTS OF EXPLORATION STUDIES OF THE TRIERE WITH AUTO-REGULATING SPEED MODE

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 research methodology for the process of screen cleaning of grain mixtures in an autoregulated mode and the results of exploratory experiments are presented. Favorable conditions for its flow - full loading of the cellular surface with a grain mixture along the length and a minimum of*

grain yield of the main crop are confirmed by the basic criteria for the quality of the technological process. The average level of residual weediness was 0.0019%, and the average level of technological losses was 0.042%. It has been established that the duration of the experiments of 3.5 minutes is insufficient for an objective assessment of the productivity of the trier (W) and the degree of separation of the impurity component (C). During this time, W amounted to only 91.4% of the supply (Wp) of the grain mixture to the trier, and Sv did not exceed 70% due to the incompleteness of the stage of stabilization of the technological process. The descent variation coefficient was 18%. It is proposed to increase the duration of the experiments up to 20 min due to the multiple circulation of the working medium in a closed circuit when the scraper conveyor is included in the experimental equipment. Calculations confirmed the maximum multiplicity of circulation of the working medium, equal to 4.3, with a distributed mass of grain in a closed technological circuit of 332 kg. Based on the assumption of an increase in the cumulative total of residual contamination (R0) with the circulation of the working medium, the error in reproducing the conditions of experiments in terms of R0 will be 0.0027–0.008% over the entire range of initial contamination Rm = 1–3%. Sampling, according to the estimation of Zo, should be carried out every 120 s, and the estimated duration of sampling increases with a decrease in Wp and Zi in the range of 6-54 s. At the same time, the presence of 2-3 impurity particles in the sample is guaranteed when the trier operates at the optimal speed mode (n_{opt}). The number of impurity particles in samples will increase at high speeds. It is proposed to paint impurity particles in contrasting colors (blue, black) to reduce the complexity of sampling.

Keywords: *trier, grain mixture, cleaning quality, admixture, operating modes, automatic control.*

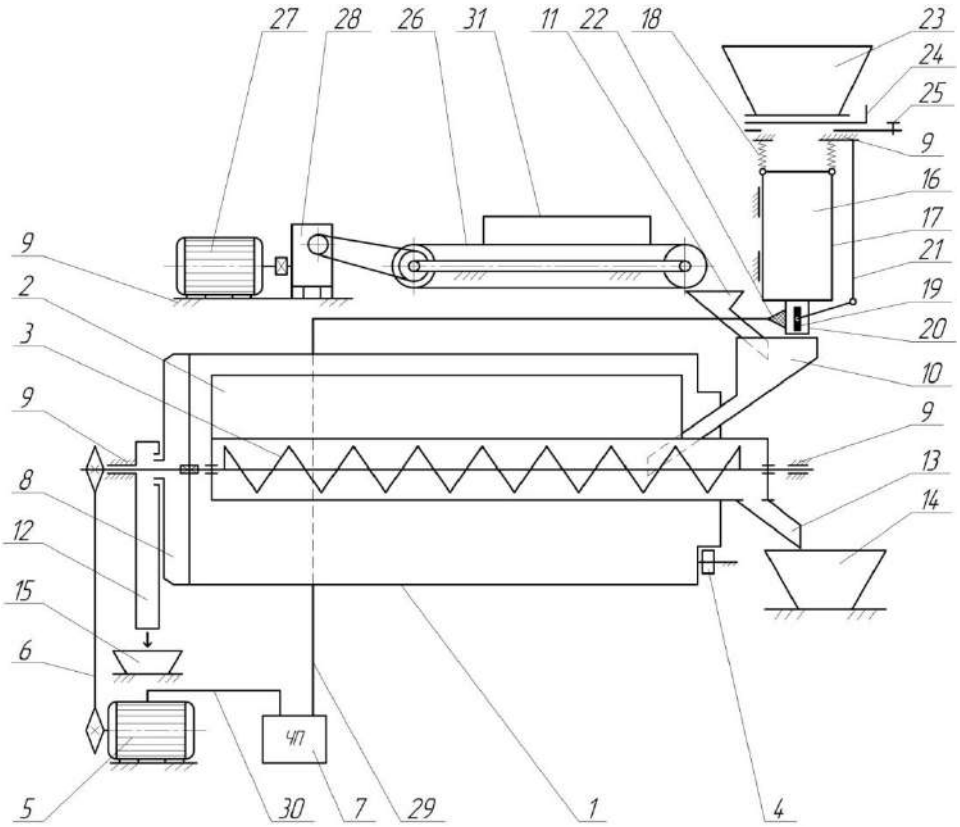
Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Результаты поисковых исследований триера с авторегулируемым скоростным режимом работы // Наука в Центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 54-64. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-54-64.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A., Emelyanovisch S. Results of exploration studies of the triere with auto-regulating speed mode. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 54-64. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-54-64.

Введение. Проблема эффективного использования триерных технологий заключается в том, что за длительный период их использования (≈ 120 лет) не были созданы научные основы для решения задач управления технологическим процессом [1-8]. По этой причине у нас в стране и за рубежом нет даже полноценных инструкций по эксплуатации, которые регламентировали бы подготовку триеров к работе [9]. Как следствие – до 90% триерных установок в существующих зерноочистительных комплексах выведены из эксплуатации. Возможности получить объективные причинно-следственные связи режимов работы и настроечных параметров триеров с критериями эффективности появились только после того, как в ФГБНУ ВНИИТиН была создана необходимая экспериментальная база [10-11], изменен метод исследований – пространственная физическая модель заменена на временную, выявлены новые физические эффекты в технологическом процессе [12]. Однако, задача автоматизированного управления технологическим процессом стала реальной после преодоления физического противоречия в управлении подачей сыпучих материалов в технологические машины. В результате в ФГБНУ ВНИИТиН был создан регулятор, который позволяет установить 100%-ную корреляцию между режимом работы триеров по подаче зерносмеси и управляющими воздействиями [13]. На базе новых технических решений [14] разработана экспериментальная установка и проведены первые исследования по автоматизированному управлению скоростными режимами работы триеров [15]. Оптимальные скоростные режимы были выбраны из условий, когда ячеистая поверхность по длине загружена зерносмесью полностью, а технологические потери сходом являются минимальными. Эти условия исходят из результатов исследований ученых ФГБНУ ВНИИТиН и других авторов. Неполная загрузка ячеистой поверхности зерносмесью по длине цилиндра согласно тем же исследованиям является причиной рисков увеличения остаточной засоренности зерна из-за захвата связанных между собой примесных частиц и забрасывания их в выводной лоток с чистым зерном. Установленные взаимосвязи для выше сформулированных условий мы воспроизвели посредством созданной автоматизированной системы управления [14]. Однако, подтверждение обоснованности

принятых условий оптимального управления технологическим процессом и уточнение зон авторегулирования по режимам работы, настроечным параметрам и составам зерносмесей при наличии в зерносмеси примесного компонента являются актуальными задачами исследований.

Материалы и методы. Для исследований процессов триерной очистки зерна от длинных примесей нами разработана экспериментальная установка с автоуправлением скоростным режимом работы и раздельной подачей компонентов зерносмесей. Конструктивно-технологическая схема установки представлена на рисунке 1, а общий вид − на рисунке 2.



1 – овсюжный ячеистый цилиндр; 2 – желоб; 3 – выводной шнек; 4 – опорные ролики; 5 – электропривод; 6 – цепная передача; 7 – частотный преобразователь; 8 – розетка; 9 – рама; 10 – питатель; 11, 12, 13 – лотки; 14 и 15 –- мерные емкости; 16 – регулятор; 17 – подвижная стабилизирующая емкость; 18 – пружинная грузовоспринимающая система; 19 – клапан; 20 – отвод; 21 – рычажный механизм; 22 – исполнительный механизм системы управления работой триера; 23 – питающий бункер; 24 – шиберный регулятор подачи; 25 – упор; 26 – ленточный питатель; 27 – электродвигатель; 28 – червячный редуктор; 29 и 30 – кабели; 31 – короб

Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследований процессов триерной очистки зерна от длинных примесей с авторегулированием скоростного режима

Экспериментальная установка обеспечивает раздельную подачу компонентов исследуемой зерносмеси в ячеистый цилиндр, что исключает погрешности опытов, связанные с сегрегацией зерносмеси при ее традиционном истечении из бункера.

Заданное соотношение компонентов зерносмеси достигается согласованностью подачи основной культуры, которая регулируется величиной открытия шиберного регулятора подачи 24, и подачи примесного компонента, которая регулируется скоростью движения ленты и плотностью размещения (погонной массой) на ней частиц примесного компонента.

Регламентированное размещение длинных примесей на ленте транспортера обеспечивается коробом 31.

Подготовка экспериментальной установки к работе заключается в следующем. Перед началом эксперимента в питающий бункер 23 загружают достаточное количество зерна основной культуры, а на ленте питателя 26 раскладывают соответствующее условиям опыта количество примесного компонента. Далее включают электропривод 5, который посредством цепной передачи 6 приводит во вращательное движение на минимальном скоростном режиме ячеистый цилиндр 1. Устойчивость положения ячеистого цилиндра 1 обеспечивается опорными роликами 4 с одной стороны и шарнирным соединением с рамой 9 с другой стороны. Далее открывают шиберный регулятор подачи 24 питающего бункера 23.

Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной установки для исследований процессов триерной очистки зерна

Для обеспечения требуемой подачи зерна основной культуры величина его открытия ограничивается упором 25. Одновременно с открытием шиберного регулятора подачи 24 начинают отсчет времени опыта − включают секундомер и электродвигатель 27, который посредством червячного редуктора 28 и клиноременной передачи приводит в движение ленту питателя 26. Из питающего бункера 23 зерно основной культуры поступает в подвижную стабилизирующую емкость 17 регулятора 16 потока сыпучих материалов. По мере наполнения зерна в стабилизирующей емкости 17, она начинает преодолевать усилие пружин 18 и двигаться вниз. При этом рычажный механизм 21, поворачивает клапан 19 внутри отвода 20, обеспечивая увеличение его живого сечения и подачи зерносмеси в питатель 10.

При работе ленточного питателя 26, расположенные на ленте частицы примесного компонента подаются в лоток 11, по которому они поступают в питатель 10, смешиваются в нем с зерном основной культуры, образуя зерносмесь с заданной исходной засоренностью. Из питателя 10 зерносмесь поступает в овсюжный ячеистый цилиндр 1, при вращении которого захваченные ячейками частицы основной культуры поступают в желоб 2 с выводным шнеком 3, который направляет их в лоток 13 и далее − в мерную емкость 14. Примесные частицы сходом поступают в розетку 8, после чего выгружаются через лоток 12 в мерную емкость 15.

Частоту вращения триера при изменении величины подачи зерна из питающего бункера 23 изменяют в авторегулируемом режиме. С увеличением подачи зерна в регулятор 16 стабилизирующая емкость 17 движется вниз, изменяется угловое положение вала клапана 19 в отводе 20. При этом посредством исполнительного механизма 22 увеличивается частота электрического тока в цепи питания электропривода 5 и скорость вращения ячеистого цилиндра 1. С уменьшением подачи зерна в стабилизирующую емкость 17 она поднимается вверх, поворачивая вал клапана 19 в обратном направлении, уменьшая с помощью исполнительного механизма частоту электрического тока и скорость вращения ячеистого цилиндра 1.

Исполнительный механизм (рисунке 3) обеспечивает воспроизведение установленной взаимосвязи оптимальной скорости вращения (n_{opt}) ячеистого цилиндра с величиной подачи зерна $W_п$ = 1,2 - 4,35 т/ч.

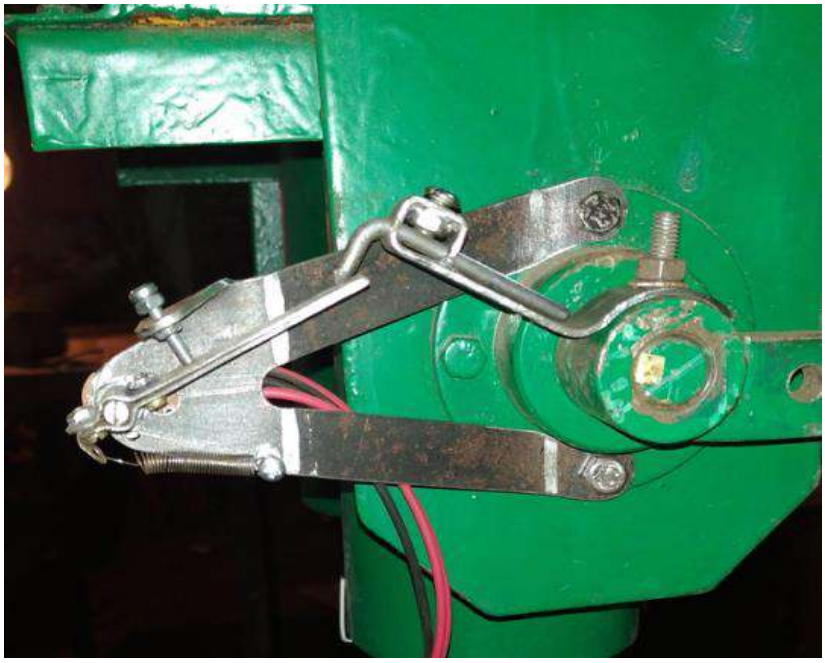


Рисунок 3 – Общий вид исполнительного механизма системы авторегулируемого управления работой триера

Оценку качества работы триера проводили по взаимосвязям остаточной засоренности зерносмеси ($З_о$), степени выделения примесного компонента ($С_в$) и технологических потерь ($П$) с настроечными параметрами и режимами работы триера − частотой вращения ячеистого цилиндра (n = 31 об/мин), угловым положением выводного лотка ($\gamma_п$ = 45°), исходной засоренностью зерносмеси ($З_и$ = 1%), величиной подачи зерносмеси в триер ($W_п$ = 1,83 т/ч).

Остаточную засоренность определяли по формуле:

$$З_о = \frac{m_{пи} - m_{вп}}{m_{зс} - m_{вп}} \times 100\%, \quad (1)$$

где $m_{пи}$ − масса (исходная) примесного компонента в зерносмеси, использованной за время опыта, кг; $m_{вп}$ − масса примесного компонента, выделенного за время опыта, кг; $m_{зс}$ – масса зерносмеси, использованной за время опыта, кг.

Исходную массу примеси ($m_{пи}$) в зерносмеси можно определить по формуле:

$$m_{пи} = \frac{З_и \cdot m_{зс}}{100\%}, \quad (2)$$

где $З_и$ – исходная засоренность, %.

Тогда:

$$З_о = \frac{З_и \cdot m_{зс} - 100 m_{вп}}{m_{зс} - m_{вп}}. \quad (3)$$

Степень выделения примесного компонента определяли по формуле:

$$C_в = \frac{m_{вп}}{m_{пи}} \times 100\% = \frac{10^4 \cdot m_{вп}}{З_и \cdot m_{зс}}. \quad (4)$$

Технологические потери зерна основной культуры (*П*) определяли по выражению:

$$П = \frac{m_{осх}}{m_{зс} - m_{пи}} \times 100\% = \frac{10^4 \cdot m_{осх}}{m_{зс}\left(100 - З_и\right)}, \quad (5)$$

где $m_{осх}$ – масса зерна основной культуры в сходовой фракции длинных примесей, кг.

Результаты и их обсуждение. В обобщенном виде результаты поисковых исследований предоставлены в таблице 1.

Таблица 1 – Интервальные оценки процесса выделения длинных примесей из пшеницы при $З_и$ = 1%; n = 31 об/мин; $\gamma_п$ = 45°

№ п/п	Интервалы времени контроля опытов ($t_{нi} - t_{кi}$)	Средняя производительность ($\overline{W}_П$), кг/ч	Средняя навеска в интервале ($\overline{m}$), кг	Суммарная навеска в интервале ($m_Σ$), кг	Остаточная засоренность ($З_о$), %	Сход примеси C ($C_в$), г (%)	Потери (сред.) по интервалам ($\overline{П}$), %
1	7-35	612	1,19	5,95	0,0012	0,26(0,02)	0,022
2	43-70	1351	2,63	10,51	0,0017	5,8(0,22)	0,040
3	78-105	1530	2,98	11,9	0,0015	14,7(0,49)	0,063
4	113-140	1661	3,23	12,92	0,0023	17,6(0,54)	0,055
5	148-175	1677	3,26	13,04	0,0011	14,8(0,45)	0,038
6	183-210	1673	3,25	13,0	0,0034	22,9(0,70)	0,033

Из таблицы 1 видно, что принятые условия для оптимизации взаимосвязи скоростного режима работы триера с подачей $n = f_1(\overline{W}_П)$ по критериям качества подтвердились. Остаточная засоренность зерна не превысила $З_о \leq 0{,}0034\%$, что соответствует требованиям по всем категориям качества семян пшеницы (ОС, ЭС, РС, РСт). Величина технологических потерь ($\overline{П}$ = 0,022-0,063%) многократно ниже допустимой величины. Согласно нормативным документам, которыми руководствуется в своей работе ООО «Воронежсельмаш», допускаются потери зерна основной культуры сходом до 5% при желательном протекании технологического процесса.

Графический анализ взаимосвязи $W=f_2(t)$ показывает, что производительность триера (W) при интервальной ее оценке за время опыта $t_{оп}$=210 с (рисунок 4) не достигает уровня подачи зерносмеси в триер $W_п$ = 1,83 т/ч. На стабилизированном участке их соотношение составляет W / $W_п$ ×100% = 91,4%. Период условной стабилизации W наступает через $t_{ст_у} \approx 125c$. Условным его следует считать из-за того, что $W < W_п$.

Кроме того анализ динамики схода примеси показывает, что процесс выделения примесного компонента является случайным. На условно стабильном участке протекания процесса коэффициент вариации схода составляет 18%. Величина схода на том же участке взаимосвязи $W = f_2(t)$ в среднем составляет 58,3% от подачи примеси ленточным питателем в триер ($\overline{C}_в = 0{,}583$).

Указанные выше два обстоятельства свидетельствуют о том, что величина $t_{оп}$ = 210 с является недостаточной. За этот отрезок времени внутри ячеистого цилиндра происходит формирование зернового клина, в котором непропорционально его массе размещаются частицы примесного компонента. Поэтому соотношение W / $W_п$ < 1 и $C_в$ < 1.

Необходимое увеличение $t_{оп}$ приводит к значительному росту трудоемкости экспериментов. Например, увеличение $t_{оп}$ до 20 мин (1200 с) при $W_{п\ max}$ = 4,35 т/ч (верхний уровень исследуемого диапазона $W_п$) и исходной засоренности при $З_{и\ max}$ = 3% при сплошном отборе проб из них придется выбрать примесные частицы в количестве ($n'_П$), определяемом по формулам:

$$\begin{cases} m_{П\max} = W_{П\max} \cdot З_{И\max} / (100 \times 3600) = 4,35 \cdot 1200 \cdot 3 / 360000 = 0,0435т = 43,5кг; \\ n'_{П\max} = \dfrac{m_{П\max}}{m'_{1000}} \times 1000 \dfrac{43,5}{0,0365} \times 1000 = 1,19 \ \textit{млн. шт,} \end{cases} \quad (6)$$

где $m_{П\max}$ – максимальное содержание примесных частиц в зерносмеси, пропущенной через триер за время опыта $t_{оп}$ = 1200 с, кг; m'_{1000} – масса 1000 примесных частиц, кг.

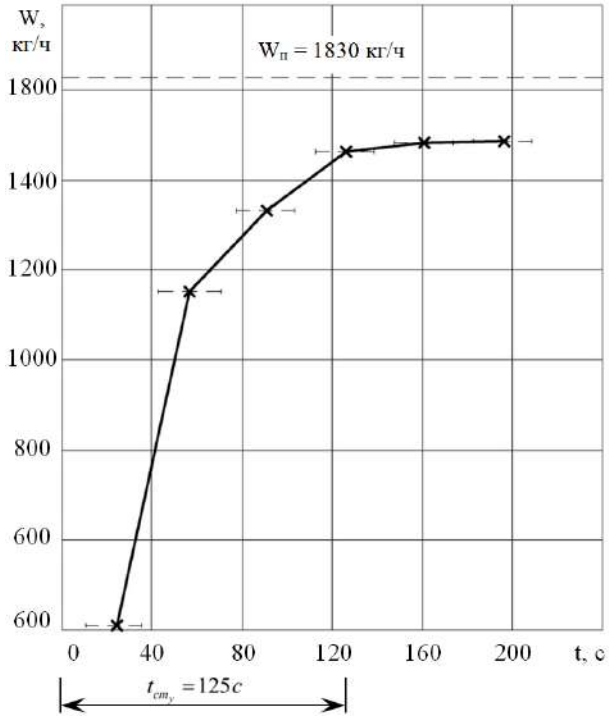


Рисунок 4 – Динамика $W = f_2(t)$ при продолжительности опыта $t_{оп}$ = 210 с

Выполненные расчеты показывают, что в продолжительных опытах по соображениям снижения их трудоемкости возможен лишь интервальный (не сплошной) отбор проб с ограниченной массой. Например, для объективной оценки взаимосвязи $C_в = f_3(t)$ с учетом периода стабилизации процесса достаточно 10-кратного отбора проб схода продолжительностью по $t_к$ = 6 с. Тогда потенциальное количество примесных частиц в 10-ти пробах будет:

$$n'_{П10} = n'_П \times \frac{10t_к}{t_{оп}} = 1,19 \times \frac{60}{1200} = 59,5 \textit{ тыс. шт.} \quad (7)$$

Рассчитанная по формуле (7) величина $n_{П10}$ будет справедлива только при $W_п = W_{п\ max}$ = 4,35 т/ч и $З_и = З_{и\ max}$ = 3%. Причем необходимость выбирать примесные частицы из схода будут возникать только в опытах, когда $W_п > W_{п\ opt}$ – при гарантированных технологических потерях, превышающих или соизмеримых со сходом примеси. В опытах с частично свободной (недогруженной) ячеистой поверхностью, когда $W_п < W_{п\ opt}$, из схода целесообразно выбрать случайно попавшие в него, частицы основной культуры, что позволит существенно сократить трудоемкость опытов.

Возможности сокращения трудоемкости опытов при оценке взаимосвязи $C_в = f_3(t)$ за счет сокращения $t_к$ ограничены ростом погрешностей отсчета времени отбора проб и от нестабильного протекания технологического процесса во времени.

При оценке взаимосвязи $З_о = f_4(t)$ отбор проб следует производить по вышеизложенным основаниям также дискретно и с соизмеримыми интервалами времени замеров. Поэтому каждая навеска очищенного зерна ($m_З$) будет определяться по формулам:

$$m_З = W_п \cdot t_к;$$

$$m_{З\,max} = W_{п\,max} \cdot t_к = 4{,}35 \cdot 6/3600 = 7{,}25 кг. \quad (8)$$

В расчетной величине навески ($m_{З\,max}$), ориентируясь на поисковые опыты, будет находиться $n''_{П\,max}$ примесных частиц:

$$n''_{П\,max} = 10^4 m_{З\,max} \cdot \overline{З}_o / m''_{1000} = 10^4 \cdot 7{,}25 \cdot 0{,}0019 / 52 = 2{,}64 \text{ шт.}, \quad (9)$$

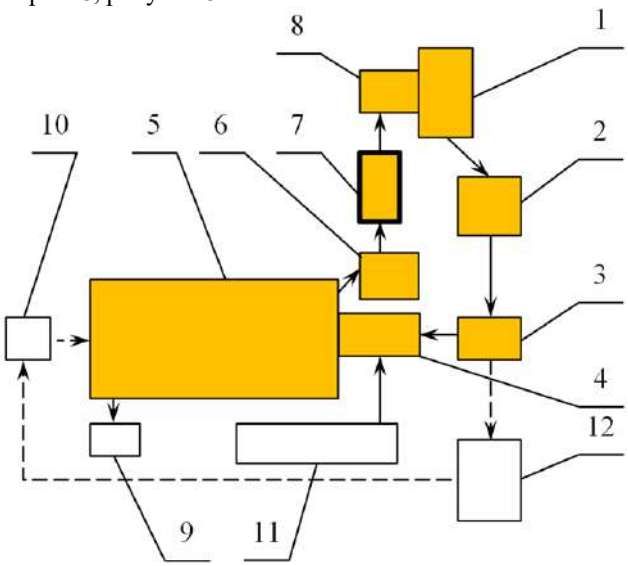
где m''_{1000} – масса 1000 зерновок основной культуры ($m''_{1000} = 52\ г$), г.

Из уравнения следует, что продолжительность отбора ($t_к$) проб даже при $W_{п\,max}$ и $З_{и\,max}$ не следует уменьшать, так как качество очистки зерносмеси на оптимальном скоростном режиме работы триера очень высокое (см. таблицу 1). Поэтому при i-ых условиях опытов величину $t_к$ следует увеличивать обратно пропорционально произведению величин $W_п$ и $З_и$:

$$t_{кi} = t_к W_{п\,max} \cdot З_{и\,max} / W_{пi} \cdot З_{иi}. \quad (10)$$

Нахождение примесных частиц в чистом зерне при скоростном режиме работы $n = n_{opt}$ следует считать маловероятным или незначительным. Поэтому перед проведением опытов примесный компонент необходимо окрашивать в контрастные цвета (черный, синий). Это позволит существенно снизить трудоемкость разбора проб.

Увеличение продолжительности опытов до $t_{оп}$ = 1200 с и более возможно за счет закольцовывания потока частиц основной культуры посредством скребкового транспортера 7 и нории 1 с приемным бункером 8, рисунок 5.



1 – нория; 2 – бункер-дозатор; 3 – регулятор; 4 – самотечный питатель; 5 – триер; 6 – приемник очищенного зерна; 7 – скребковый транспортер; 8 – приемный бункер нории; 9 – мерная емкость для схода; 10 – привод; 11 – ленточный питатель; 12 – автоматизированная система управления

Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки для исследований триеров с автоматизированным управлением скоростным режимом работы

Движение основной культуры по замкнутому контуру предлагает последовательное использование технических средств: 1→2→3→4→5→6→7→8. Регулятор 3 передает

управляющее воздействие на автоматизированную систему 12, которая корректирует скоростной режим работы триера 5 управляемым приводом 10. Ленточный питатель 11 подает примесный компонент в триер 5 через самотечный питатель 4.

Кратность оборота ($К_{об}$) рабочей среды при продолжительности опыта $t_{оп} = t_{опi}$ зависит от $W_{пi}$ и распределенной ее массы ($М_{\sum}$) по техническим средствам замкнутого контура (1-8) с включением массы зернового клина в ячеистом цилиндре. Ориентировочное распределение масс рабочей среды будет следующим по позициям: 1 – зерно в башмаке ≈ 20 кг; 2 – 135 кг; 3 – 17 кг; 4 – 0 кг; 5 – 40 кг; 6 – 15 кг; 7 – 15 кг; 8 – 90 кг. По существу технические средства замкнутого контура (1-8) в подготовленном к опытам (повторностям) виде являются накопителями рабочей среды, обеспечивающими ее неразрывность.

$$М_{\sum} = 20+135+17+40+15+15+90 = 332 \text{ кг} = 0{,}332 \text{ т}. \quad (11)$$

С учетом величины $М_{\sum}$, рассчитанной из допущения постоянства массы зернового клина в ячеистом цилиндре кратность оборота рабочей среды в *i*-ом опыте будет:

$$K_{об} = W_{пi}\, t_{опi} / М_{\sum}. \quad (12)$$

Для $W_{пi} = W_{п\,max} = 4{,}35$ т/ч и $t_{опi} = 1200$ с = 0,334 ч величина $K_{об}$ будет:

$$K_{об} = 4{,}35 \cdot 0{,}33 / 0{,}332 \approx 4{,}3 \text{ раза}. \quad (13)$$

Результаты расчетов и данные таблицы 1 не вызывают опасений по поводу воспроизводимости условий опытов по величине остаточной засоренности ($З_о$) при кратной циркуляции рабочей среды в опытах. Даже при $K_{об} = 4{,}3$ раза на максимальной подаче зерносмеси в триер ($W_{п\,max}$) увеличение остаточной засоренности нарастающим итогом составит:

$$З_{ок} = \overline{З}_o \cdot K_{об} \cdot = 0{,}0019 \times 4{,}3 \approx 0{,}008\%, \quad (14)$$

где $\overline{З}_o$ − средний уровеньостаточной засоренности зерна при его разовом пропуске через триер в поисковых опытах, %; $З_{ок}$ − остаточная засоренность зерна при его кратном пропуске через триер, %.

Это будет вносить погрешность в воспроизведение условий опытов на нижнем уровне исходной засоренности зерносмеси 0,008%, а на верхнем – 0,0027%. Этот уровень погрешности воспроизведения условий опытов пренебрежительно мал, хотя и для такой погрешности при циркуляции рабочей среды нет достаточных оснований, так как условия очистки зерносмеси остаются практически низменными.

Выводы. Условия оптимизации скоростного режима работы триера, состоящие в обеспечении полной загрузки ячеистой поверхности по длине при минимальных технологических потерях на каждой величине подачи зерносмеси, подтверждены высокими показателями качества процесса. Средний уровень остаточной засоренности составил 0,0019%, а средний уровень технологических потерь – 0,042%. Для расширения зон авторегулирования скоростного режима работы триера по подаче зерносмеси, настроечным параметрам и свойствам примесных компонентов необходимы исследования при гарантированных недогрузе ячеистой поверхности по длине и существенных технологических потерях с увеличением продолжительности опытов за счет многократной циркуляции рабочей среды по замкнутому контуру. Многократный оборот рабочей среды не нарушает воспроизводимость условий опытов по исходной засоренности.

Список источников

1. Трубилин, Е.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян / Е.И. Трубилин, Н.Ф. Федоренко, А.И. Тлишев. – Краснодар. – 2009. – 96 с.

2. Полетаев, С.В. Триеры / С.В. Полетаев. – М.: Л.: Госкомиздат, 1932. – 95 с.

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

4. Летошнев, М.Н. Теория триера / М.Н. Летошнев // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Л. – 1948. – Вып. IV. – С. 3-58.

5. Гладков, Н.Г. Зерноочистительные машины. (Конструкция, расчет, проектирование и эксплуатация) / Н.Г. Гладков. − М.: Машгиз., 1961. − 368 с.

6. Рассадин, А.А. Движение материальной точки и тела по вращающимся фрикционным и ячеистым поверхностям / А.А. Рассадин // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов / Тр. ВНИИЗ. − М., 1963, вып. 42. − С. 91-109.

7. Урханов, Н.А. Определение момента начала движения зерна из ячейки цилиндрического триера / Н.А. Урханов, В.Д. Анахин, А.М. Воробьев. − Улан-Удэ, 1978. − С.78-81.

8. Абидуев, А.А. Исследование процесса выпадения зерна из ячеек триерных цилиндров / А.А. Абидуев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 1989. – С. 107-108.

9. 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.

10. Тишанинов, Н.П. Обоснование оптимальных параметров и режимов работы прибора для разделения зерносмесей по длине частиц / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2017. – № 1 (25). – С. 10-19.

11. Тишанинов, Н.П. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 90-98.

12. Тишанинов, Н.П. Оценка взаимосвязи степени заполнения ячей триерного цилиндра с режимами работы и настроечными параметрами / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 24-33.

13. Патент РФ № 2341954 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Завражнов А.И., Тишанинов К.Н. – № 2006146774/12; заявл. 26.12.2006; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.

14. Тишанинов Н.П., Емельянович С.В. Триер с авторегулированием скоростного режима // Сельский механизатор. − 2022. − № 6. − С. 16-17.

15. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Обеспечение качества триерной очистки зерна за счёт авторегулирования режимов работы // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 4 (56). С. 67-75.

References

1. Trubilin, E.I. Mechanization of post-harvest processing of grain and seeds / E.I. Trubilin, N.F. Fedorenko, A.I. Tlishev. - Krasnodar. - 2009. - 96 p.

2. Poletaev, S.V. Trier / S.V. Poletaev. – M.: L.: Goskomizdat, 1932. – 95 p.

3. Letoshnev, M.N. Agricultural machines, theory, calculation, design and testing / M.N. Letoshnev. – M.: L.: Selkhozgiz, 1955. – 856 p.

4. Letoshnev, M.N. Trier theory / M.N. Letoshnev // Collection of scientific and technical works of the Leningrad Institute of Agricultural Mechanization. - L. - 1948. - Issue. IV. - P. 3-58.

5. Gladkov, N.G. Grain cleaning machines. (Design, calculation, design and operation) / N.G. Gladkov. - M.: Mashgiz., 1961. - 368 p.

6. Rassadin, A.A. Movement of a material point and a body on rotating frictional and cellular surfaces / A.A. Rassadin // Problems of separating grain and other bulk materials / Tr. VNIIZ. - M., 1963, issue. 42. - S. 91-109.

7. Urkhanov, H.A. Determination of the moment of the beginning of grain movement from a cell of a cylindrical trier / H.A. Urkhanov, V.D. Anahin, A.M. Vorobyov. - Ulan-Ude, 1978. - S.78-81.

8. Abiduev, A.A. Investigation of the process of grain precipitation from the cells of trier cylinders / A.A. Abiduev // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of the ESGTU). - 1989. - S. 107-108.

9. 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.

10. Tishaninov, N.P. Justification of the optimal parameters and modes of operation of the device for separating grain mixtures along the length of particles / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, Kh.D.D. Alshinayiin // Science in Central Russia. - 2017. - No. 1 (25). - P. 10-19.

11. Tishaninov, N.P. Substantiation of the parameters of the stand of cyclic action for the study of cellular surfaces / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, H.D.D. Alshinayiin // Science in Central Russia. - 2016. - No. 4 (22). - S. 90-98.

12. Tishaninov, N.P. Evaluation of the relationship between the degree of filling of the cells of the trier cylinder with operating modes and tuning parameters / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin // Science in Central Russia. - 2018. - No. 4 (34). - S. 24-33.

13. Patent of the Russian Federation No. 2341954 Device for separating the flow of bulk materials / Zavrazhnov A.I., Tishaninov K.N. - No. 2006146774/12; dec. December 26, 2006; publ. December 27, 2008, Bull. No. 36.

14. Tishaninov N.P., Emelyanovich S.V. Trier with automatic speed control // Rural mechanic. - 2022. - No. 6. - S. 16-17.

15. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Ensuring the quality of screener cleaning of grain due to auto-regulation of operating modes // Bulletin of the APK Verkhnevolzhya. 2021. No. 4 (56). pp. 67-75.

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): 13.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.862
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-65-73

РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОКОМПЛЕКСОВ НА ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЕ С ВЫРАБОТКОЙ БИОГАЗА

***Юрий Александрович Киров*[1], *Владимир Александрович Киров*[2], *Юлия Зиновьевна Кирова*[3], *Александр Владимирович Петушков*[4]**
[1,2,3,4]*Самарский государственный аграрный университет,*
Самарская область, г.Кинель, Россия
[1]kirov.62@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6736-1263
[2]kirovv@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-4824-2343
[3]kirovauz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3958-7617
[4]3945688@mail.ru

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

Реферат. *Проведен анализ способов и инженерно-технического обеспечения утилизации навозных стоков (НС) свинокомплексов. Наиболее эффективным при утилизации является метод разделения НС на твердую и жидкую фракции и использование каждой в отдельности в качестве ценных органических удобрений. В работе сделан акцент на утилизацию отделенной твердой фракции путем переработки ее в биогаз, который также может использоваться для нужд хозяйств. Обоснована общая система утилизации НС свинокомплексов, как побочных продуктов животноводства и представлена, как их фазовое превращение, от исходного сырья и до конечного продукта. Она содержит последовательность подсистем, определяющих получение дисперсной среды при усреднении навозных стоков, 3 этапа разделение на твердую и жидкую фазы с обеззараживанием, хранение продуктов разделения. получение органических удобрений и биогаза, внесение жидких и твердых органических удобрений в почву. Повышение эффективности процесса утилизации свиноводческих стоков на органические удобрения и биогаз, предусмотрено за счет добавления пивной дробины в обезвоженную массу навоза, что позволяет увеличить интенсивность процесса метаногенеза в метантенке биогазовой установки. Объем выделяемого биогаза при термофильном режиме увеличивается на 9-12%. Проведенные экспериментальные исследования позволили получить графические зависимости влияния времени обработки субстратов двух видов: «навоз» и «навоз+пивная дробина» на объем выхода биогаза.*

Ключевые слова: *навозные стоки, утилизация, разделение на фракции, органические удобрения, биогаз, пивная дробина.*

RATIONAL TECHNOLOGY OF UTILIZATION OF PIG FARM MANURE EFFLUENTS FOR ORGANIC FERTILIZER WITH BIOGAS PRODUCTION

***Yuri Kirov*[1], *Vladimir Kirov*[2], *Yulia Kirova*[3], *Alexander Petushkov*[4]**
[1,2,3,4] *Samara State Agrarian University, Samara region, Kinel, Russia*
[1]kirov.62@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6736-1263
[2]kirovv@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-4824-2343
[3]kirovauz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3958-7617
[4]3945688@mail.ru

Abstract. *An analysis of the methods and engineering and technical support for the disposal of manure waste (NW) of pig farms was carried out. The most effective for disposal is the method of separating NW into solid and liquid fractions and using each separately as valuable organic fertilizers. The emphasis on the utilization of the separated solid fraction by processing it into biogas, which can*

also be used for the needs of farms, is made in the work. The general system of utilization of the NW of pig complexes, as by-products of animal husbandry, is substantiated and presented as their phase transformation, from the feedstock to the final product.. It contains a sequence of subsystems that determine the production of a dispersed medium by averaging manure, 3 stages of separation into solid and liquid phases with disinfection, and storage of separation products. obtaining organic fertilizers and biogas, applying liquid and solid organic fertilizers to the soil. Improving the efficiency of the process of recycling pig waste into organic fertilizers and biogas is provided by adding brewer's grains to the dehydrated manure mass, which makes it possible to increase the intensity of the methanogenesis process in the digester of the biogas plant. The volume of released biogas in thermophilic mode increases by 9-12%. The conducted experimental studies made it possible to obtain graphic dependences of the influence of the processing time of two types of substrates: "manure" and "manure + brewer's grains" on the volume of biogas output.

Keywords: *manure waste, utilization, separation into fractions, organic fertilizers, biogas, beer shot.*

Для цитирования: Киров Ю.А., Киров В.А., Кирова Ю.З., Петушков А.В. Рациональная технология утилизации навозных стоков свинокомплексов на органические удобрения с выработкой биогаза // Наука в Центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 65-73. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-65-73.

For citation: Kirov Yu, Kirov V., Kirova Yu., Petushkov A. Results of exploration studies of the triere with auto-regulating speed mode. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 65-73. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-65-73.

Введение. Увеличение производства продукции животноводства, в частности свиного мяса, невозможно без крупных комплексов, предусматривающих промышленные методы выращивания свинины. Содержание животных в подобных свинокомплексах обычно бесподстилочное и предусматривает гидравлические системы навозоудаления. Бесподстилочный навоз с крупных свинокомплексов представляет собой навозные стоки высокой влажности (до 98%). Бесподстилочное содержание животных выгодно в технологическом плане, но навозные стоки (НС), получаемые на выходе со свинокомплекса представляют собой серьезную угрозу для заражения почвы, воды и воздуха. Объем навозных стоков со свинокомплексов промышленного типа велик и может достигать, например, до 2000 м^3/сут с типового свинокомплекса на 108 тыс. голов. Поэтому, утилизация НС свинокомплексов является важной проблемой для аграрного производства [1,2].

Существует большое количество способов утилизации навозных стоков свинокомплексов. Но наиболее эффективным, как показано в работах [3,4] является метод разделения НС на твердую и жидкую фракции и использование каждой в отдельности в качестве ценных органических удобрений. Разработка технологии утилизации навоза свинокомплексов, обладающей большой производительностью и высокой эффективностью, с соблюдением санитарно-гигиенических и зоотехнических требований, является приоритетной задачей для производства продукции животноводства [5]. Пофракционное использование НС включает их переработку и подготовку к утилизации в качестве органических удобрений, но поскольку отделенная твердая фракция обладает еще и хорошими свойствами к метаногенезу, важным при её переработке является выработка биогаза и использование его для нужд хозяйства [6].

Общую систему утилизации Нс свинокомплексов (рисунок 1), как побочных продуктов животноводства, можно представить, как их фазовое превращение, от исходного сырья и до конечного продукта, содержащую последовательность подсистем:

- подсистема №1 - удаление с помощью гидравлических систем, одновременное смешивание и усреднение навозных стоков, путем барботажа, получение дисперсной среды, состоящей из взвешенных твердых частиц навоза и жидкой фазы;
- подсистема №2 - первичное разделение дисперсной среды (навозных стоков влажностью 98%) на твердую и жидкую фракции, или предварительное сгущение исходной массы навозных стоков;

- подсистема №3 - вторичное разделение на твердую и жидкую фракции предварительно сгущенной массы НС, и получение твердой фракции пригодной для дальнейшего биотермического обеззараживания (для свиного навоза – 65…70% влажности);
- подсистема №4 - окончательное разделение на твердую и жидкую фракции отделенной жидкой фракции НС, с использованием процессов обеззараживания осветленной фазы;
- подсистема №5 - хранение полученных продуктов разделения;
- подсистема №6 - приготовление из полученных твердых фракций НС органического удобрения путем анаэробного сбраживания в метантенке с добавлением пивной дробины, как усиливающей интенсивность процесса метаногенеза, а также приготовление жидких органических удобрений, путем гомогенизации отделенной жидкой фракции навозных стоков в лагуне-новозохранилище;
- подсистема №7 - внесение твердых и жидких органических удобрений в почву.

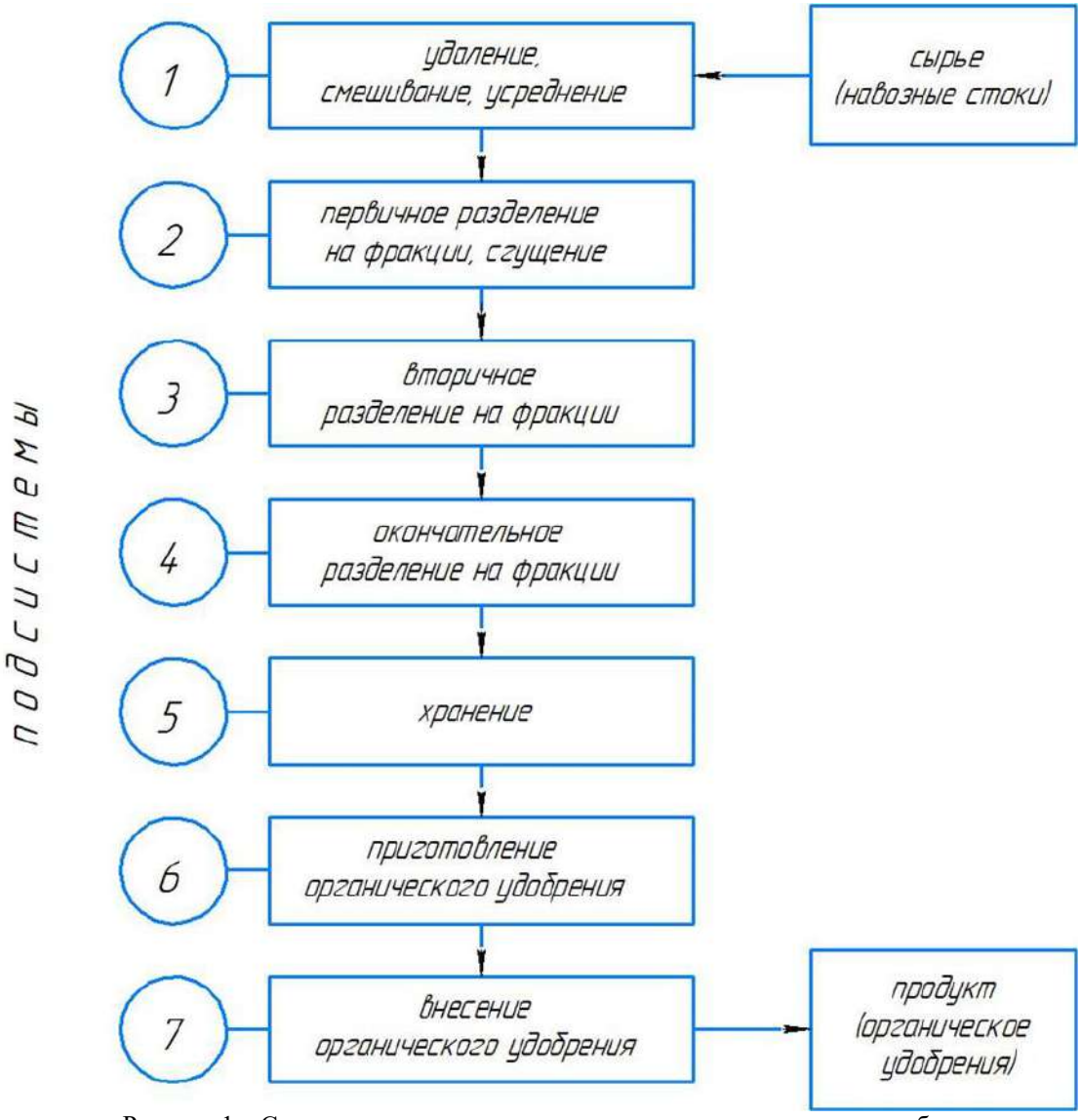


Рисунок 1 – Система утилизации навозных стоков на органические удобрения

Анализ научно-технической и специальной литературы, а также патентные исследования позволили выявить ряд способов утилизации НС животноводческих комплексов, которые обладают эффективностью, качеством получаемых твердых и жидких органических удобрений и небольшими трудовыми и эксплуатационными затратами [7].

Известные технологические схемы обработки сточных вод свиноводческих комплексов с бесподстилочным содержанием животных включают по крайней мере три стадии очистки [8,9]:

1. Механическая очистка;
2. Разделение на твердую и жидкую фракции;
3. Биологическая очистка.

Выбор оптимального технологического оборудования позволяет повысить эффективность процесса очистки животноводческих стоков, существенно снизить трудовые и эксплуатационные затраты на утилизацию стоков, а также улучшить экологическую обстановку вокруг свиноводческого комплекса.

Для первой стадии очистки животноводческих стоков рекомендуется применять решетки, сита, гидроциклоны, сгустители, которые имеют цель предварительного снижения влажности исходных навозных стоков.

Для второй стадии применяется большое многообразие технологического оборудования, причем разделение навозных стоков на фракции определяется двумя основными принципами – осаждением и фильтрованием. Наиболее эффективно показали себя в работе фильтрующие и осадительные центрифуги, гравитационные и динамические фильтры, сепараторы.

Биологическая очистка, в основном, заключается в обработке жидкой фракции НС путем насыщения воздухом в аэротенке с добавлением активного ила.

Недостатками способов и технологий для утилизации навозных стоков является несогласованность операций по этапам между различными требованиями (санитарно-гигиеническими, зоотехническими, экологическими) к процессу получения из них органических удобрений и существующими способами и техническими средствами для обеспечения этих требований.

Основным недостатком существующих способов является то, что отделенная на фильтрующей центрифуге твердая фаза навоза, осадок тонкослойного отстаивания и флотационный шлам, представляющие собой твердую биомассу не могут вноситься в почву в качестве органического удобрения, а требуют длительного выдерживания [10].

Результаты и их обсуждение. Проведенный анализ способов и инженерно-технического обеспечения утилизации НС свинокомплексов позволил определить научные предпосылки для повышения эффективности процесса обработки и утилизации навозных стоков, пути совершенствования инженерно-технических средств и, тем самым, разработать рациональную технологию приготовления органических удобрений с выработкой биогаза на свинокомплексе.

Рациональная технология утилизации НС на органические удобрения с выработкой биогаза свинокомплексов по новому способу отражена на рисунке 2.

Поступающие со свиноводческого комплекса НС собираются в приемном резервуаре 1 и подаются в сгуститель 2 для удаления избыточной влаги. Обезвоженные НС с влажностью 88-89% далее поступают на вторичное разделение в цилиндрическую горизонтальную непрерывно действующую фильтрующую центрифугу 3, где их влажность снижается до 65-70%. После сгустителя 2 жидкая фракция НС и жидкая фаза, полученная после фильтрования в центрифуге 3, пропускается через ферровихревой слой электромагнитного аппарата 4, и далее поступает в зону тонкослойного осаждения отстойника 5, где за счет седиментационных сил из жидкой навозной массы осаждаются взвешенные твердые частицы навоза, а осветленная фракция по напорному трубопроводу поступает во флотатор 6, в котором происходит электролиз тонкодисперсной фракции НС и, благодаря которому на поверхность электрофлотатора выделяются агрегатные комплексы «пузырек газа+твердая частица навоза», тем самым образуя пену с частицами навозных стоков - флотационный шлам [11].

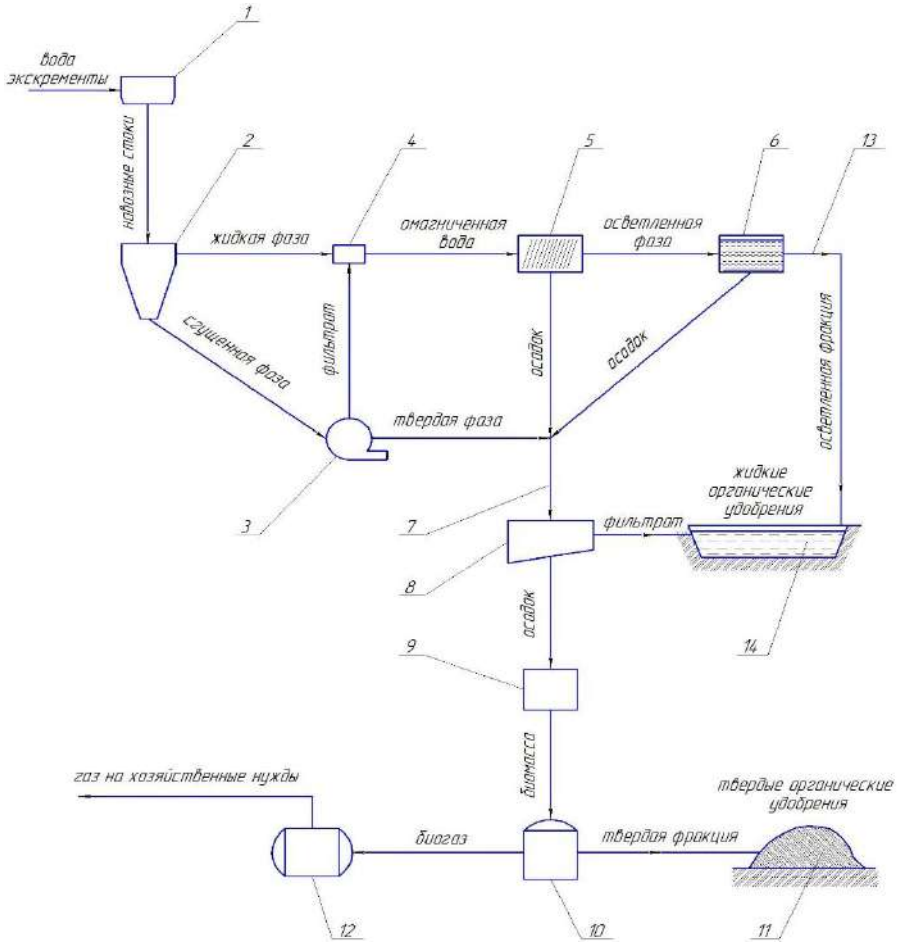


Рисунок 2 – Схема технологии приготовления органических удобрений с выработкой биогаза на свинокомплексе (патент РФ № 2787785)

Твердая фракция НС, образованная после сгущения в центробежном поле сгустителя и обезвоженная на фильтровальной поверхности непрерывной горизонтальной цилиндрической центрифуги 3, осадок твердых взвешенных части навоза, осажденный в тонком слое отстойника 5 и флотационный шлам после флотации путем электролиза во флотаторе 6 по транспортеру 7 собираются в накопителе бункерного типа 8.

В накопителе бункерного типа 8 собирались: твердая фракция НС, образованная после сгущения в центробежном поле сгустителя и обезвоженная на фильтровальной поверхности непрерывной горизонтальной цилиндрической центрифуги 3; осадок твердых взвешенных части навоза, осажденный в тонком слое отстойника 5; флотационный шлам после электролиза во флотаторе 6 по транспортеру 7

Затем накопленный в бункере твердый навоз обезвоженный на стадиях обработки новой технологической линии подается в питатель пивной дробины 9, где смешивается с последней в соотношении 15% от объема навоза и в виде подготовленного субстрата подается в метантенк биогазовой установки 10, где протекает процесс метаногенеза, из которого периодично выгружаются и складируются на специальной площадке 11 для хранения твердых органических удобрений, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям и пригодных для внесения в почву в качестве ценного органического удобрения. Образованный в метантенке биогазовой установки 10 биогаз перекачивается в газгольдер 12 для хранения и использования на хозяйственные нужды. Очищенная после электрофлотатора 6 сточная вода, содержащая

количество взвешенных твердых частиц, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям, сливается по трубопроводу 13 в лагуну-навозохранилище 14, где хранится до полного обеззараживания, а затем готовое жидкое органическое удобрение путем гомогенизации и перекачки вноситься на поля [11].

Подсистема №6 - Приготовление органических удобрений включает в себя накопитель-бункер, биогазовую установку (рисунок 3), где происходит процесс анаэробного сбраживания, газгольдер для накопления и хранения образованного в результате метаногенеза биогаза и транспортирующий механизм для удаления переработанного субстрата твердого навоза на площадку для хранения.

Рисунок 3 – Экспериментальная биогазовая установка

Повышение эффективности процесса утилизации свиноводческих НС на органические удобрения и биогаз, предусмотрено за счет того, что объем навоза в накопителе-бункере, содержащий твердую фазу из фильтрующей центрифуги, осадок взвешенных твердых частиц из тонкослойного отстойника и флотационный шлам из электрофлотатора, поступает в питатель пивной дробины, где смешивается с последней в соотношении 15% от объема навоза и в виде общего субстрата подается в метантенк биогазовой установки для анаэробного сбраживания. За счет добавления пивной дробины в обезвоженную биомассу навоза при термофильном режиме повышается интенсивность процесса метаногенеза в метантенке и на 9-12% увеличивается объем выделяемого биогаза.

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить графические зависимости влияния времени обработки субстратов двух видов: «навоз» и «навоз+пивная дробина» на объем выхода биогаза (рисунок 4).

Анализируя полученные зависимости, можно увидеть, что объем выхода биогаза у субстрата и «навоз+пивная дробина» выше, чем у субстрата «навоз», причем существенная разница в получаемых объема биогаза наблюдалась на пятые сутки обработки в метантенке биогазовой установки.

Для определения количественного состава исследуемого субстрата «навоз+пивная дробина» проводились экспериментальные исследования, условиями которых определялись качественные

показатели получения биогаза у субстрата «навоз+пивная дробина» при различных вариантах процентного добавления пивной дробины в навоз обрабатываемый в метантенке биогазовой установки (рисунок 5).

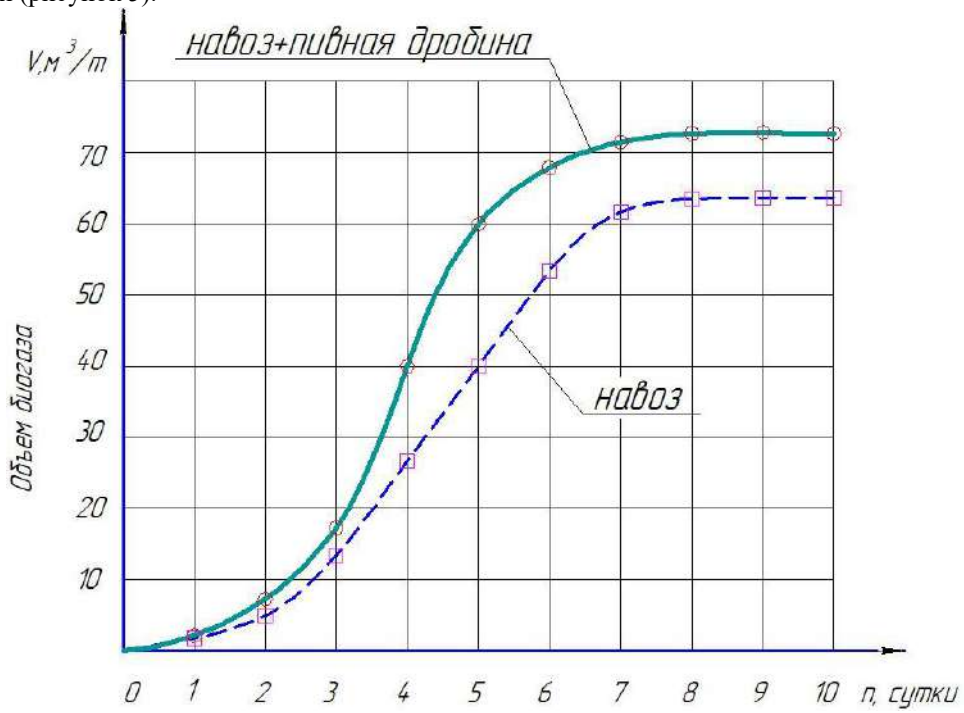


Рисунок 4 – Зависимости объема выхода биогаза (V, м^3/т) от времени обработки в метантенке (n,сут) при вариантах субстрата: «навоз» и «навоз+пивная дробина»

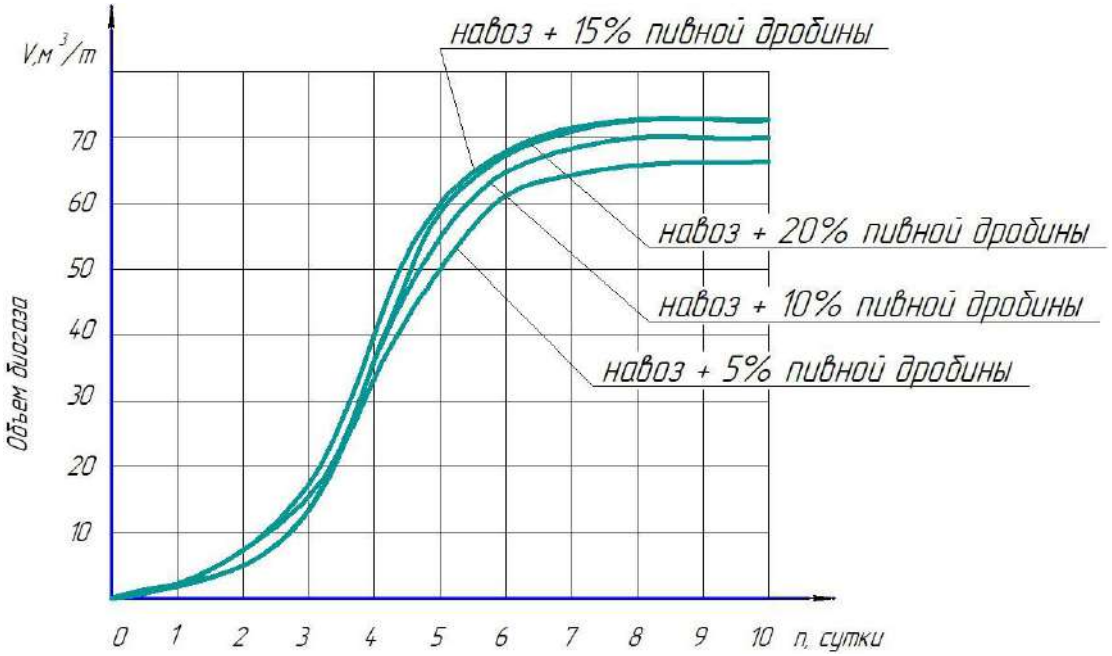


Рисунок 5 – Зависимости объема выхода биогаза (V, м3/т) от времени обработки в метантенке (n,сут) при варианте субстрата «навоз+пивная дробина»
различной концентрации пивной дробины: 5%, 10%, 15% и 20%.

Анализируя полученные графические зависимости видно, что оптимальным значением процентного содержания пивной дробины, добавляемой через питатель в метантенк биогазовой установки, можно считать 15%. При дальнейшем увеличении пивной дробины в субстрате существенных повышений значений выделяемого биогаза не происходит.

Заключение. Обоснованная общая система утилизации навозных стоков свинокомплексов, как побочных продуктов животноводства, представляет совокупность взаимосвязанных подсистем фазового превращения. Обоснована новая рациональная технология приготовления органических удобрений с выработкой биогаза из навозных стоков, на которую получен патент РФ. Использование подсистемы №6 позволяет увеличить интенсивность процесса метаногенеза в метантенке биогазовой установки, что при термофильном режиме сокращает на сутки процесс выработки биогаза, и на 9-12% увеличивает объем выделяемого биогаза. Тем самым, сокращается время приготовления твердых органических удобрений из навозных стоков и увеличивается объем вырабатываемого биогаза. Определены графические зависимости влияния на эффективность выхода биогаза из субстрата «навоз+пивная дробина» и её оптимальные значения.

Список источников

1. Тиво П.Ф., Анженков А.С., Саскевич Л.А., Бут Е.А. Анализ современных технологий использования животноводческих стоков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 3(81). С. 54-63.
2. Гриднев П.И., Гриднева Т.Т. Влияние технологических и технических решений на функционирование систем утилизации навоза // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 4(36). С. 24-32.
3. Универсальная безотходная технология и средства переработки птичьего помета в органическое удобрение и добавки в корм животным / В. А. Мыскин, В. П. Капустин, Ю. В. Родионов, И. В. Иванова // Наука в центральной России. 2018. № 3(33). С. 57-64.
4. Технология глубокой переработки жидкого навоза и навозных стоков свиноводческих предприятий / А. М. Бондаренко, Б. Н. Строгий, Л. С. Качанова, С. Г. Иващенко // Вестник АПК Ставрополья. 2015. № 1(17). С. 11-16.
5. Яковлева Е. В., Набокина О. Я., Куракина В. Н. Биогазовая установка как способ решения проблемы утилизации отходов промышленного животноводства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5(67). С. 231-233.
6. Житков В. В., Ермолаев С. В. Энергоэффективная переработка пивной дробины в биогаз // Пиво и напитки. 2020. № 4. С. 25-28.
7. 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.
8. Патент № 2474102 C1 Российская Федерация, МПК A01C 3/00. Способ переработки животноводческих стоков: № 2011130105/13: заявл. 19.07.2011: опубл. 10.02.2013 / Ю. А. Киров, Д. Р. Костерин, Т. Ю. Козлова [и др.].
9. Патент № 2688410 C1 Российская Федерация, МПК A01C 3/00. Способ переработки животноводческих стоков: № 2018105235: заявл. 12.02.2018: опубл. 21.05.2019 / Ю. А. Киров, В. А. Киров, Ю. З. Кирова [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарская государственная сельскохозяйственная академия".
10. Утилизация отходов животноводства с получением биогаза / А. К. Апажев, Б. А. Фиапшев, А. А. Кумахов [и др.] // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 5.

Патент № 2787785 C1 Российская Федерация, МПК A01C 3/00, C05F 3/00. Способ утилизации животноводческих стоков на органические удобрения и биогаз: № 2022110781: заявл. 21.04.2022: опубл. 12.01.2023 / Ю. А. Киров, В. А. Милюткин, Д. Н. Котов [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный аграрный университет".

References

1. Tivo P.F., Anzhenkov A.S., Saskevich L.A., But E.A. Analysis of modern technologies for the use of livestock waste // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Mechanization of Livestock Breeding. 2017. No. 3(81). pp. 54-63.

2. Gridnev P.I., Gridneva T.T. Influence of technological and technical solutions on the functioning of manure utilization systems // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Livestock Mechanization. 2019. No. 4(36). pp. 24-32.

3. Myskin V. A., Kapustin V. P., Rodionov Yu. V., Ivanova I. V. Universal non-waste technology and means of processing bird droppings into organic fertilizer and animal feed additives // Science in Central Russia. 2018. No. 3(33). pp. 57-64.

4. Bondarenko A. M., Strogiy B. N., Kachanova L. S., Ivashchenko S. G. Technology of deep processing of liquid manure and manure from pig-breeding enterprises // Bulletin of the APK of Stavropol. 2015. No. 1(17). pp. 11-16.

5. Yakovleva E. V., Nabokina O. Ya., Kurakina V. N. Biogas plant as a way to solve the problem of industrial livestock waste disposal // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 5(67). pp. 231-233.

6. Zhitkov VV, Ermolaev SV Energy-efficient processing of brewer's grains into biogas // Beer and drinks. 2020. No. 4. S. 25-28.

7. 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 [and others]. - Kinel: Samara State Agricultural Academy, 2018. - 156 p.

8. Patent No. 2474102 C1 Russian Federation, IPC A01C 3/00. Method for processing livestock waste: No. 2011130105/13: Appl. 07/19/2011: publ. February 10, 2013 / Yu. A. Kirov, D. R. Kosterin, T. Yu. Kozlova [and others].

9. Patent No. 2688410 C1 Russian Federation, IPC A01C 3/00. Method for processing livestock waste: No. 2018105235: Appl. 02/12/2018: publ. May 21, 2019 / Yu. A. Kirov, V. A. Kirov, Yu. Z. Kirova [and others]; the applicant is a federal state budgetary educational institution of higher education "Samara State Agricultural Academy".

10. Apazhev A. K., Fiapshev B. A., Kumakhov A. A. Utilization of animal waste with biogas production // International Agricultural Journal. 2022. V. 65, No. 5.

11. Patent No. 2787785 C1 Russian Federation, IPC A01C 3/00, C05F 3/00. The method of utilization of livestock effluents for organic fertilizers and biogas: No. 2022110781: Appl. 04/21/2022: publ. January 12, 2023 / Yu. A. Kirov, V. A. Milyutkin, D. N. Kotov [et al.]; the applicant is a federal state budgetary educational institution of higher education "Samara State Agrarian University".

Информация об авторах

Ю.А. Киров – доктор технических наук, доцент; В.А. Киров – кандидат технических наук, доцент; Ю.З. Кирова – кандидат педагогических наук; А.В. Петушков – аспирант.

Information about the authors

Yu. Kirov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; V. Kirov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Yu. Kirova – Candidate of Pedagogical Sciences; A. Petushkov – 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): 15.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 623.462.22:623.465.757
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-74-92

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ БАЗЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

Юрий Викторович Родионов [1]***, Евгений Андреевич Деревянко*** [2]***, Александр Егорович Ломовских*** [3]***, Павел Тихонович Пантелеев*** [4]***, Василий Сергеевич Январёв*** [5]
[1]*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1]*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru
[2,3,4,5]*ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия*
[3]lomovskih1979@yandex.ru

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

Реферат. *Эффективная работа машинно-тракторного парка (МТП) современного агропромышленного комплекса требует контроля его технического состояния системой ремонтно-обслуживающих баз (РОБ). Предложена методика обоснования структуры и характеристик системы РОБ с использованием специальных систем поддержки принятия решений (СППР), что позволит реализовать стратегию технического обслуживания «по фактическому состоянию», а также сократить сроки восстановления работоспособности МТП. Методика включает в себя совокупность взаимосвязанных моделей: прогнозирования и диагностирования технического состояния МТП, функционирования системы обеспечения работоспособности МТП и формирования стоимостных зависимостей на функционирование системы РОБ. Применены алгоритмы: перераспределения затрат между мероприятиями технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР); решения оптимизационной задачи, основанный на модифицированном методе Нелдера-Мида. Выявлено, что малое значение межрегламентного интервала проведения ТО позволяет добиться достаточно высоких значений для коэффициента технической готовности (Кг). Показано, что основным мероприятием, позволяющим снизить эксплуатационные затраты и положительно влиять на значение Кг является рациональное распределение времени на проведение проверок, используемых при ТО образца МТП. Использование 2 -6 специалистов позволяет обеспечить длительность ТО по состоянию единицы МТП от двух до четырех часов. Отклонения более 30 минут при ТР от нормативных значений времени восстановления работоспособности привело к резкому снижению уровня готовности при существующем уровне параметра потока внезапных отказов. Привлечения в среднем 3 -.4 специалистов требуется для выполнения ТР. Установлено, что основным условием оптимальности работы образца МТП является индивидуальный мониторинг его технического состояния, что позволяет на 40% сократить продолжительность регулировочно-настроечных и ремонтно-восстановительных мероприятий. Условием эффективности системы РОБ является наличие в составе бригад, выполняющих эти мероприятия, не менее четырех человек инженерно-технического состава. Суммарное снижение затрат на обеспечение работоспособного состояния исследуемой техники составило порядка 18 - 20%.*

Ключевые слова: *диагностирование, прогнозирование технического состояния, ремонтно-обслуживающая база, поиск отказов, регрессионный анализ, метод группового учёта аргументов, техническое обслуживание, ремонт.*

METHODOLOGY FOR SUBSTANTIATING THE STRUCTURE AND CHARACTERISTICS OF THE REPAIR AND MAINTENANCE BASE SYSTEM THAT ENSURES THE OPERABILITY OF MODERN EQUIPMENT

***Yuri Rodionov*[1]*, Evgeny Dereviank* [2]*, Alexander Lomovskih*[3]*, Pavel Panteleev* [4]*, Vasily Yanvarev* [5]**

[1]*Tambov state technical university, Tambov, Russia*

[1]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*

[1]rodionow.u.w@rambler.ru

[2,3,4,5]*Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia*

[3]lomovskih1979@yandex.ru

Abstract. *The effective operation of the machine and tractor fleet (MTF) of a modern agro-industrial complex requires monitoring of its technical condition by a system of repair and maintenance bases (RMB). A methodology for substantiating the structure and characteristics of the ROB system using special decision support systems (SDSS) is proposed, which will make it possible to implement the maintenance strategy "by actual state", as well as reduce the recovery time of the MTF. The methodology includes a set of interrelated models: forecasting and diagnosing the technical condition of the MTF, the functioning of the system for ensuring the operability of the MTP and the formation of cost dependencies on the functioning of the RMB system. Algorithms were applied: redistribution of costs between maintenance activities (TO) and current repairs (TR); solution of the optimization problem based on the modified Nelder-Mead method. It was revealed that the small value of the maintenance interval allows to achieve sufficiently high values for the coefficient of technical readiness (Kg). It is shown that the main measure that allows to reduce operating costs and positively influence the value of Kg is the rational distribution of time for carrying out checks used during maintenance of the MTF sample. The use of 2-6 specialists makes it possible to ensure the duration of maintenance according to the state of the ICC unit from two to four hours. Deviations of more than 30 minutes at TR from the normative values of the recovery time led to a sharp decrease in the level of availability at the current level of the sudden failure flow parameter. Attracting an average of 3 - 4 specialists is required to complete the TR. It has been established that the main condition for the optimal operation of the MTF sample is individual monitoring of its technical condition, which makes it possible to reduce the duration of adjustment and repair measures by 40%. The condition for the effectiveness of the RMB system is the presence of at least four people of engineering and technical staff in the teams that carry out these activities. The total cost reduction for ensuring the working condition of the studied equipment was about 18 - 20%.*

Keywords: *diagnostics, forecasting of technical condition, repair and maintenance base, failure search, regression analysis, method of group accounting of arguments, maintenance, repair.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Деревянко Е.А., Ломовских А.Е., Пантелеев П.Т., Январёв В.С. Методика обоснования структуры и характеристик системы ремонтно-обслуживающей базы, обеспечивающей работоспособность современной техники // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 62, № 2. С. 74-92. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-74-92.

For citation: Rodionov Y., Derevianko E., Lomovskikh A., Panteleev P., Yanvarev V. Methodology for substantiating the structure and characteristics of the repair and maintenance base system that ensures the operability of modern equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 74-92. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-74-92.

Введение. Для эффективного работы машинно-тракторного парка (МТП) современного агропромышленного комплекса (АПК) необходим надлежащий контроль за её техническим состоянием. Этот контроль осуществляется системой ремонтно-обслуживающих баз (РОБ), обеспечивающих работоспособность МТП. Ремонтно-обслуживающая база АПК представляет собой совокупность обслуживающих предприятий и подразделений, которые обеспечивают техническое обслуживание, ремонт, а также хранение сельскохозяйственной техники для её

поддержания в работоспособном состоянии.

Средства для поддержания МТП в работоспособном и исправном состоянии в сельскохозяйственных предприятиях России многообразны и достаточно мощные. Исторически сложившаяся система ремонтно-обслуживающей базы имеет три уровня: 1- фермерских хозяйств, арендных коллективов и других сельскохозяйственных предприятий, эксплуатирующих технику; 2 - районных (межрайонных) машинно-технологических станций (МТС); 3 - областных, краевых, республиканских предприятий. Объекты РОБ 1-го уровня: центральная ремонтная мастерская (ЦРМ); автогараж; машинный двор; нефтесклад; пункты технического обслуживания (ПТО); передвижные средства технического обслуживания (ТО) и ремонта в бригадах и отделениях. К объектам РОБ 2-го уровня: ремонтная мастерская общего назначения (МОН); станция технического обслуживания тракторов (СТОТ); станция технического обслуживания автомобилей (СТОА); станция технического обслуживания животноводческих комплексов и ферм (СТОЖ); станция технического обслуживания сельскохозяйственных машин – комбайнов (СТО СХМ (К)); технический обменный пункт (ТОП); передвижные средства ТО и ремонта [1]. К объектам РОБ 3-го уровня относятся специализированные заводы и предприятия по ремонту тракторов, автомобилей, комбайнов, двигателей, гидроагрегатов, топливной аппаратуры, электрооборудования и т.д.

Ремонтно-обслуживающие базы существуют трех типов (таблица 1). Рекомендуемые типы планировок РОБ приведены в таблице 2.

Для хозяйств каждого типа варианты планировок различаются составом зданий, сооружений, площадок для хранения и других производственных объектов. В настоящее время комплексная система технического обслуживания и ремонта (ТОиР) машин в сельском хозяйстве предусматривает три стратегии ТОиР: по потребности после отказа – C_1; регламентированная в зависимости от наработки (календарного времени) по сроку и содержанию ремонтно-обслуживающих воздействий – C_2; по фактическому техническому состоянию МТП с периодическим или непрерывным контролем (диагностированием) – C_3. Каждая их этих стратегий имеет свои преимущества и недостатки. При стратегии по потребности после отказа какой-либо составной части достигается полное использование ресурса МТП и составляющих ее элементов. Но при этом снижается надёжность (безотказность), увеличиваются простои машин по техническим причинам и связанные с этими простоями потери.

Таблица 1- Типы ремонтно-обслуживающих баз

Тип РОБ	Хозяйство	Количество тракторов	Характеристика РОБ
А	крупное	100-200	каждое отделение (бригада) имеет самостоятельный хозяйственный центр – ПТО, машинный двор, ЦРМ, автогараж, нефтесклад, материально-технический склад и административно-технические здания
Б	среднее	50-100	на центральной усадьбе находится хозяйственный центр одного отделения (бригады) – ПТО, машинный двор, ЦРМ, автогараж, нефтесклад. Другие отделения имеют свои ПТО.
В	небольшое	25-100	все средства сосредоточены в одном хозяйственном центре

Таблица 2 – Типовые проекты центральных ремонтных мастерских

Показатели	Значения показателей для проектов					
	816-127	816-128	816-129	816-130	816-131	816-132
Парк тракторов хозяйства	25	50	75	100	150	200
Производственная площадь	528,6	746,4	950,8	1035,1	1196,6	1326,7
Число производственных рабочих	14	19	28	36	47	59

При низкой надёжности машины применение данной стратегии практически невозможно, так как поток отказов может парализовать работу в самый ответственный период

сельскохозяйственных циклов (посевная, уборочная и др.). Сфера этой стратегии – устранение последствий случайных отказов, которые не удалось предотвратить. Неприемлемо использование стратегии 1 для большинства операций технического обслуживания, носящих обязательный характер: замена масла, фильтрующих элементов, проверка уровня тормозной жидкости и др. Поэтому практически с начала механизации сельскохозяйственного производства, работоспособность техники поддерживается на основе предупредительных стратегий обслуживания и ремонта: по регламенту C_2 и по состоянию C_3.

В первые годы доминировала планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта (в соответствии с ГОСТ 18322-78), представляющая собой совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержки и восстановления качества МТП, входящих в систему. Для выполнения указанных работ планово-предупредительная система предусматривает следующие ремонтно-обслуживающие действия, с помощью которых обеспечивается необходимый техническое состояние машины и ее работоспособность в течение всего периода эксплуатации: техническое обслуживание ежесменные (ЕТО), номерные (ТО-1, ТО-2, ТО-3), сезонные (СТО), при хранении; текущий ремонт (ТР); капитальный ремонт (КР).

Так как система построена на планово-предупредительном принципе, то она в полной мере не использует современные возможности вычислительных систем, а также не обладающей возможностью прогнозирования технического состояния МТП. Ведение новых методик прогнозирования, диагностирования технического состояния, а также моделирование работы системы в целом позволит принимать решения по изменению сроков обслуживания техники и перейти от планово-предупредительных принципов к обслуживанию по фактическому состоянию, что может существенно повысить коэффициент технической готовности (КТГ) МТП.

Формируя такую сложную систему необходимо определить её структуру и характеристики.

Реализация подобных средств возможна на основе применения специальных систем поддержки принятия решений (СППР). Использование таких СППР позволит реализовать стратегию технического обслуживания «по фактическому техническому состоянию», а также сократить сроки оперативного восстановления работоспособности МТП.

Так как система обеспечения работоспособности состоит из подсистем технического обслуживания и ремонта, то существует некая неопределённость при её формировании, какую из подсистем насытить больше.

Таким образом, основная задача, которую нужно разрешить в рамках исследования, заключается в необходимости поиска компромисса между затратами на достижение значений характеристик подсистем технического обслуживания и текущего ремонта (ТО и ТР) при обеспечении требуемого уровня значений показателя эффективности системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП – *S*, с учетом применения алгоритмов контроля и прогнозирования технического состояния образцов МТП.

Результаты и обсуждение. Представим систему *S* в виде кортежа:

$$S = \langle U_S, F_S, Q_S, G_S, E_S \rangle, \quad (1)$$

где U_S – множество целей функционирования системы *S*; F_S – множество функций системы *S*; $Q_S = \{J_S, \delta(J_S \times J_S)\}$ – структура системы *S* (J_S – множество элементов подсистемы *S* (совокупность подразделений технического обслуживания и ремонта, а также средств технического обслуживания и ремонта), $\delta(J_S \times J_S)$ – отношения, определяющие наличие взаимосвязей между элементами *S*); $G_S(J_S)$ – множество характеристик элементов *S*; $E_S \times F_S \times J_S \times J_V$ – множество, характеризующее распределение функций между элементами системы *S*.

Главная цель функционирования системы *S* заключается в поддержании МТП в высокой готовности к использованию по назначению. Подцелями функционирования системы *S* являются: U_{S1} – поддержание работоспособности образцов МТП; U_{S2} – восстановление работоспособности образцов МТП. Соответственно, функциями системы *S* будут являться: F_{S1} – проведение технического обслуживания образцов МТП; F_{S2} – проведение текущего ремонта образцов МТП.

Реализация функций F_{S1} и F_{S2} в системе РОБ, обеспечивающих работоспособность МТП, определяется возможностью реализации в СППР функции прогнозирования изменения технического состояния образцов МТП F_{S3} и функции распознавания диагностических признаков при идентификации отказавших элементов F_{S4} [2].

Подсистемами системы *S* выступают: подсистема технического обслуживания, реализующая функцию F_{S1} и подсистема текущего ремонта, реализующая функцию F_{S2}. Тогда множества исследуемых структур Q_S и характеристик G_S включают в себя элементы, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Совокупность оптимизируемых переменных системы *S*

№ п/п	Обозначение переменной	Принадлежность к множеству	Наименование переменной
1	$N^{\text{спец}}_{\text{ТОбр}}$	Q_S	количество специалистов в подразделении ТО
2	$N^{\text{спец}}_{\text{ТОрп}}$	Q_S	количество специалистов в ремонтном подразделении
3	$T_{\text{ТО}}$	G_S	длительность межрегламентного интервала проведения ТО
4	$\tau_{\text{ТО}}$	G_S	продолжительность проведения ТО
5	$t_{\text{П}}$	G_S	среднее время поиска и локализации отказавшего элемента

В этом случае синтез системы *S* возможен посредством решения оптимизационной задачи, математическая формулировка которой имеет вид: из множеств допустимых вариантов структуры Ω_{QS} и значений характеристик Ω_{GS} определить такие их значения Q^*_S и G^*_S, при которых для рассматриваемого агропромышленного комплекса – *V* (являющегося для нашей системы *S*, суперсистемой), затраты *C* на функционирование варианта системы S^* будут минимальны:

$$C = f\left(Q_S^*, G_S^*, V\right) \to \min \tag{2}$$

При ограничении на значение показателя эффективности системы *S:*

$$K_{\text{Г}} = \frac{T_0\left(\left(Q_S, G_S\right) | \mathbf{V}, F_{\text{S3}}\right)}{T_0\left(\left(Q_S, G_S\right) | \mathbf{V}, F_{\text{S3}}\right) + T_{\text{В}}\left(\left(Q_S, G_S\right) | \mathbf{V}, F_{\text{S4}}\right)} \geq K_{\text{Гтреб}}, \mathbf{U}_S = const, \mathbf{F}_S = const \tag{3}$$

где $K_{\text{Гтреб}}$ – требуемое значение коэффициента готовности МТП.

Исходные данные для решения задачи (2, 3) представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для обоснования системы *S*

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм	Обозначение
Множество, характеризующее комплекс МТП, *V*			
Подмножество состава комплекса МТП J_V			
1.	Тип образца МТП в комплексе		*i*
2.	Количество образцов МТП *i*-го типа		J_i
Множество эксплуатационно-технических характеристик МТП X			
Подмножество характеристик надежности образцов МТП X_1			
3.	Количество номенклатур типовых элементов замены в образце МТП	шт.	Ф
4.	Количество элементов каждой номенклатуры в образце *i*-го типа	шт.	l^i_φ

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм	Обозна-чение
5.	Средняя наработка на (до) отказа элементов каждой номенклатуры в образце *i*-го типа	ч	T_{φ}^{i}
6.	Интенсивность внезапных отказов элементов каждой номенклатуры	ед/ч	$\lambda\varphi$
7.	Среднее время поиска отказов элементов каждой номенклатуры на множестве признаков их проявления	ч	$t_{пip}$
Подмножество технологических характеристик работ с образцами МТП X_2			
8.	Количество проверок технического обслуживания образца МТП		K
9.	Продолжительность рабочего дня специалистов ремонтного подразделения полка	ч	$t_{РД}$
10.	Количество рабочих дней в периоде планирования		$N_{РД}$
Подмножество стоимостных характеристик МТП X_3			
11.	Удельные суммарные затраты на содержание технического персонала	руб/год	$C_{ЛС}$
12.	Удельные суммарные затраты на затраченные ГСМ	руб/год	$C_{ГСМ}$
13.	Удельные суммарные затраты на затраченную электроэнергию	руб/год	$C_{Эл}$

Решение поставленной задачи требует разработки совокупности взаимоувязанных моделей: прогнозирования технического состояния МТП; диагностирования технического состояния МТП; функционирования системы *S*, позволяющей исследовать механизм влияния оптимизируемых параметров на коэффициент готовности МТП; формирования стоимостных зависимостей на функционирование системы *S*; решения оптимизационной задачи по обоснованию системы обеспечения работоспособности МТП.

Одной из основных функций системы РОБ обеспечивающей работоспособность МТП является предупреждение параметрических отказов и профилактической замены потенциально ненадёжных элементов.

Реализация указанной методики в составе комплекса специального программного обеспечения позволяет сформировать функции управления F_{S3}, которая позволяет осуществлять информационную поддержку обслуживающего персонала и обеспечение принятия решения на проведение технического обслуживания.

В зависимости от стоящей задачи по использованию техники, можно задать этот период и получить достоверный прогноз вероятности отказа, а, следовательно, и объёму технического обслуживания.

Управление техническим состоянием с учётом реализации в СППР алгоритма прогнозирования заключается в присвоении функции управления следующих значений (4) при которых, в случае F_{S3}=2 эксплуатация образца МТП останавливается, он переводится в режим текущего ремонта, в случае F_{S3}=1 эксплуатация образца МТП продолжается, осуществляется определение сроков очередного ТО, в случае F_{S3}=0 эксплуатация образца МТП продолжается в штатном режиме.

$$F_{S3} = \begin{cases} 2, \text{ если } \xi_{iн} > \xi_i(t) > \xi_{iв} \\ 1, \text{если } \xi_{iн} > \xi_i(t + T_{ПР}) > \xi_{iв} \\ 0, \text{для остальных случаев} \end{cases}, \quad (4)$$

где ξін и (или) ξів – соответственно нижнее и верхнее предельно-допустимое значение i-го параметра; $\xi\ (t+T_{пр})$ – экстраполируемое значение функции; $T_{ПР}$ – период прогноза.

Алгоритм, реализующий методику прогнозирования технического состояния МТП, представлен на рисунке 1.

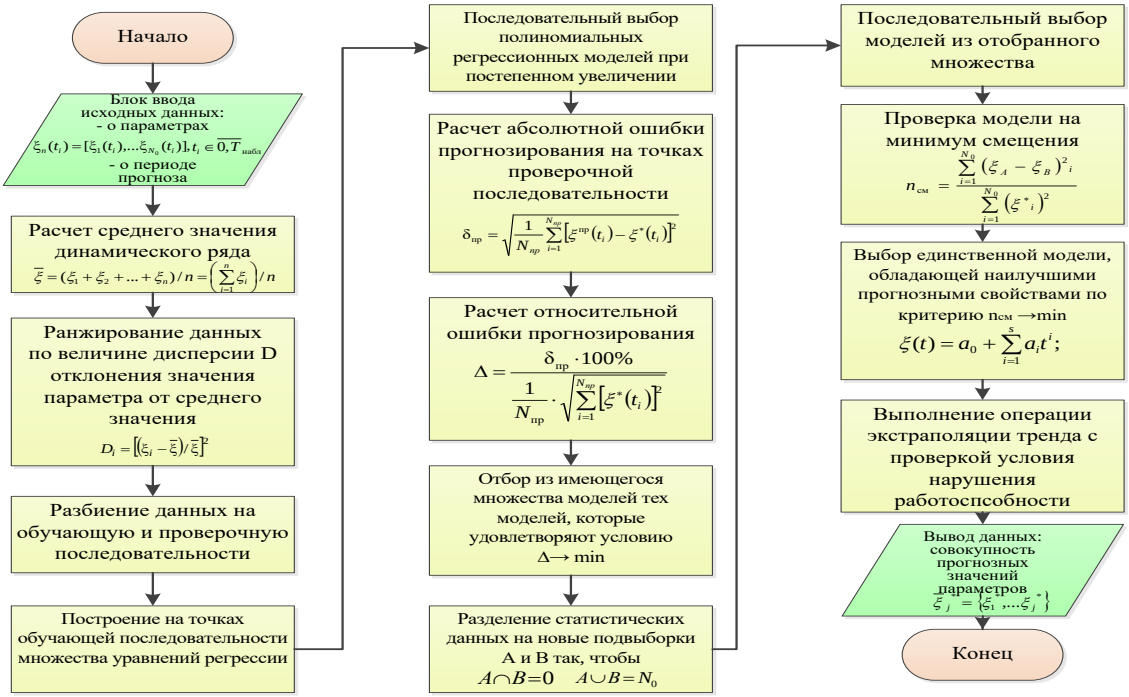


Рисунок 1 – Алгоритм, реализующий методику прогнозирования технического состояния МТП

Информационная поддержка процессов обеспечения оперативного восстановления работоспособного состояния образцов МТП основана на применении в составе СППР специализированных программно-аппаратных комплексов, которые позволяют повысить оперативность и достоверность определения места отказа за счёт использования алгоритмов интеллектуального направленного поиска. Для реализации таких алгоритмов предназначена методика диагностирования технического состояния МТП, позволяющая реализовать представление образца МТП моделью в контексте «признак – диагноз» и сформировать алгоритм поиска места отказа, который позволяет уменьшить количество контрольных диагностических операций, и, тем самым, сократить время поиска отказа. При этом функция распознавания диагностических признаков при идентификации отказавших элементов F_{S4} принимает значение «1» при возможности использования предлагаемого алгоритма и «0» при использовании традиционных методов поиска отказов.

В данной модели множеством $\mathbf{U}=\{u_1,u_2...u_\upsilon\}$ являются внешние признаки неисправностей (отказов) в узлах и агрегатах, а в свою очередь им соответствуют определённые множества $\mathbf{D}=\{d_1,d_2...d_m\}$. Условием является что множеству U, должно один или несколько диагнозов. Далее формируется U_x из соединения элементов U [3]:

$$\mathbf{U}_x=\{u_1'...u_s'\}\subseteq\mathbf{U}=\{u_1...u_\upsilon\} \tag{5}$$

D_x формируется аналогичным способом:

$$\mathbf{D}_x=\{d_1'...d_r'\}\subseteq\mathbf{D}=\{d_1...d_m\} \quad . \tag{6}$$

Иерархическая структура модели диагностики представлена на рисунке 2.

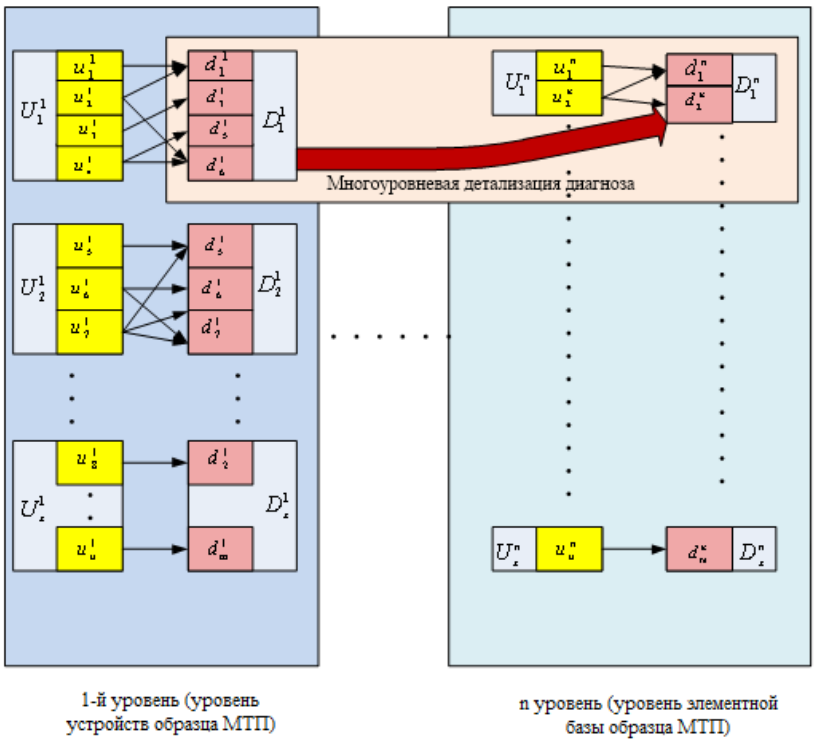


Рисунок 2 – Модель диагностики технического состояния МТП

Использование методики существенно снижает поиск времени постановки правильного диагноза за счёт изменения порядка проведения диагностических работ, в зависимости от величины вероятности и иерархичности сформированной структуры.

Остаются только решить эту задачу при большой неопределённости. Решение осуществляется применением метода Байеса. Необходимые априорные данные, будут получены из журналов функционального контроля за весь период эксплуатации в рассматриваемом подразделении или при необходимости получены опытным путём. Этими данными в нашем случае является:

$P(D_i)$ вероятность диагноза и вероятность появления внешнего признака U_j в рассматриваемом узле или агрегате с состоянием D_i – $P(U_j/D_i)$:

$$P(D_i) = \frac{N_i}{N}, \tag{7}$$

$$P(U_j/D_i) = \frac{N_{ij}}{N_i}, \tag{8}$$

где N – суммарное число отказов; N_i – число отказов с диагнозом D_i; N_{ij} – число отказов с диагнозом D_i, обследованных по признаку U_j.

Далее необходимо полученную априорную вероятность пересчитать в апостериорную:

$$P(D_i/U_j) = \frac{P(D_i)P(U_j/D_i)}{\sum_{i=1}^{m} P(D_i)P(U_j/D_i)}. \tag{9}$$

Новая матрица сформирована уже с учётом этого пересчёта и замены (рисунок 3).

Диагноз ставится исходя из максимального значения вероятности.

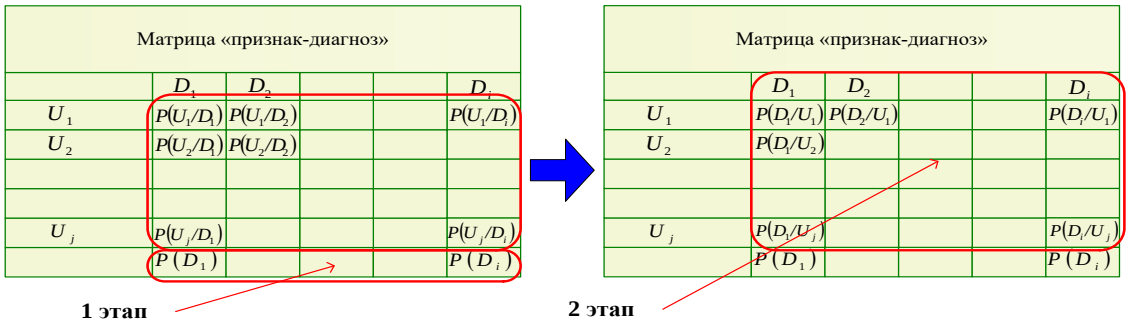


Рисунок 3 – Логика построения матрицы для модели диагностики технического состояния МТП

Если диагноз недостаточно точный, то формируется новая матрица следующего уровня.

Так как в базу данных постоянно будет поступать новая информация о регистрации отказов, то самообучение будет происходит за счёт постоянного обновления и пересчёта вероятностей по указанному выше принципу.

На крайнем этапе формируется матрица времени поиска отказов $\mathbf{T}_{\Pi} = \left(t_{\Pi U,D}\right)$ на основе матрицы «признак-диагноз», в качестве элементов которой выступают значения среднего времени поиска отказов (рисунок 4) [4].

Матрица времени поиска отказов по признакам их проявления					
	D_1	D_2			D_i
U_1	$t_{\Pi 11}$	$t_{\Pi 12}$			$t_{\Pi 1i}$
U_2	$t_{\Pi 21}$	$t_{\Pi 22}$			$t_{\Pi 2i}$
U_j	$t_{\Pi j1}$				$t_{\Pi ji}$

Рисунок 4 – Вид матрицы времени поиска отказов, сформированной на основе матрицы вероятности возникновения отказов в контексте «признак – диагноз»

Указанная матрица формируется путём статистической обработки результатов поиска отказов с учетом количества затрачиваемых диагностических операций при выявлении диагноза D_i по признаку U_j:

$$t_{\Pi U,D} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{ij}} t_{\Pi ij}}{N_{ij}}, \tag{10}$$

где $t_{\Pi ij}$ – время поиска отказов с диагнозом D_i, обследованных по признаку U_j.

Накопление информации о частоте проявления какого-либо диагноза (отказавшего элемента образца МТП) при проявлении того или иного признака позволяет снизить число диагностических процедур и ранжировать их по величине вероятностей диагнозов. Формируемая при этом матрица времени поиска отказов является исходными данными для моделирования операций текущего ремонта в модели функционирования системы обеспечения работоспособности.

Структурная схема модели системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП показана на рисунке 5.

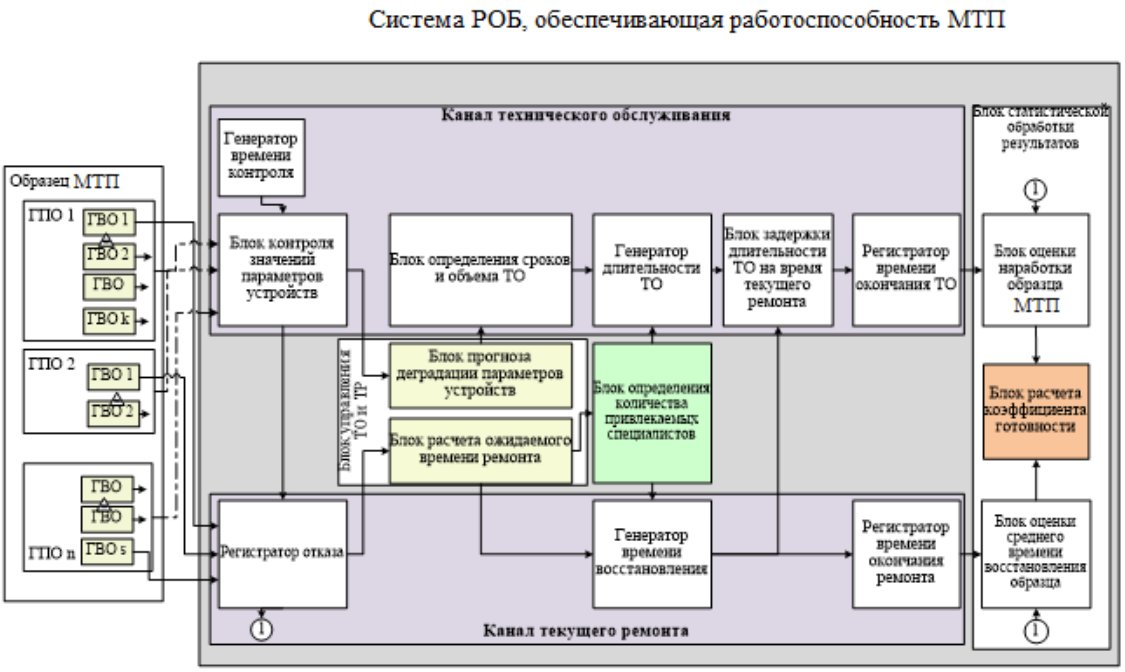


Рисунок 5 – Структурная схема модели системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП

Каждый образец МТП представляет собой совокупность элементов, схемно - объединенных в устройства. Каждое устройство оценивается на предмет работоспособности одним или несколькими параметрами.

В результате этого можно сформулировать следующую задачу модели системы *S*: исследование механизма влияния профилактических и восстановительных мероприятий на значение коэффициента готовности образцов МТП и возможностей подразделений ТО и ТР для реализации этих мероприятий. В конечном итоге использование этой модели позволит исходя из конкретных «надежностных» характеристик образцов МТП сформулировать требования к системе *S* на предмет оптимального распределения сил и средств между профилактическими или ремонтно-восстановительными работами.

Выходным показателем работы модели является величина коэффициента готовности МТП.

Принцип работы модели заключается в имитации процесса возникновения параметрических и внезапных отказов с последующим исследованием механизма влияния профилактических и восстановительных мероприятий на значение коэффициента готовности образцов и возможностей подразделений из состава системы *S* для реализации этих мероприятий [5].

Рассмотрим работу канала технического обслуживания.

Генератор времени контроля выдает на блок контроля значений параметров устройств сигналы заданной периодичности $T_к$, в момент которых происходит по каждому параметру проверка условия, согласно алгоритма прогнозирования технического состояния. Если по всем параметрам условие выполняется, тогда текущие значения каждого параметра поступают в блок прогноза деградации параметров устройств. Работа этого блока осуществляется в соответствии с методикой прогнозирования технического состояния МТП.

Прогнозные значения параметров поступают в блок определения сроков и объема ТО, где используются для расчета величины межрегламентного интервала для образца МТП и объема ТО.

Для расчета величины межрегламентного интервала для образца МТП необходимо рассчитать интервалы сохранения работоспособности по каждому параметру и оценить предельно-допустимые сроки проведения ТО.

В результате предельно-допустимые сроки проведения регулировочных работ по каждому параметру определяется как квантиль порядка, соответствующего заданной вероятности отказа:

$$T_{\text{ТОпред}} = \min(t), t : F(t) \geq q, \tag{11}$$

где $F(t) = \int_0^{T_0} f(t)dt$ – функция распределения времени выхода параметра за границы допуска.

Для определения величины межрегламентного интервала для образца МТП в целом необходимо провести совмещение сроков проведения ТО по каждому параметру. Минимальное значение величины межрегламентного интервала для образца МТП будет определяться временем сохранения работоспособности параметра, имеющего наименьшее значение этого времени по отношению к остальным параметрам $T_{\text{ТО}} = \min t_{\text{СРi}}$. к этому интервалу приурочиваются все работы, которые должны выполняться в промежутке $T_{\text{ТО}}$ и $2T_{\text{ТО}}$. Интервалы, большие $2T_{\text{ТО}}$, но меньшие $3T_{\text{ТО}}$, сокращаются до $2T_{\text{ТО}}$ и т. д.

Принцип построения плана-графика ТО отражен на рисунке 6.

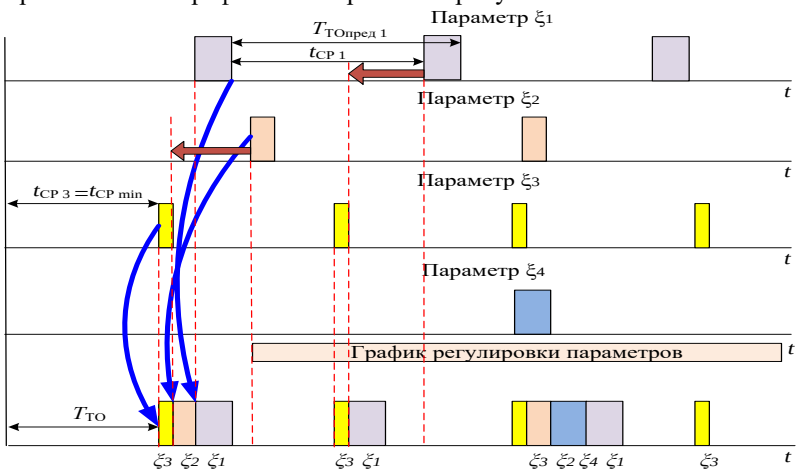


Рисунок 6 – Принцип построения плана-графика технического обслуживания

Ожидаемая длительность ТО для конкретного срока его проведения определяется как сумма продолжительностей выполнения конкретных регулировочно-настроечных работ и контрольных мероприятий:

$$\tau_{\text{ТО}i} = t_{\text{КФ}} + \sum_{k=1}^{K_i} \tau_{\text{ТО}k} + t_{\text{ПФ}}, \tag{12}$$

где – $\tau_{\text{ТО}k}$ продолжительность k-проверки с учетом регулировки параметра ξ_k; K_i – количество проверок, которые необходимо выполнить на периоде $T_{\text{Тоi}}$; $t_{\text{КФ}}$ – время проведения контроля функционирования и контроля значений параметров; $t_{\text{ПФ}}$ – время на проверку функционирования МТП после проведения регулировочных работ [6].

Блоки определения количества специалистов осуществляют подстройку правой границы области допустимых значений (ОДЗ) случайной величины генератора длительности ТО за счет формирования случайной величины привлекаемых к ТО специалистов. В качестве закона распределения случайной величины привлекаемых специалистов также предлагается использовать равномерный закон:

$$f\left(N_{\text{ТО}}^{\text{спец}}\right)=\begin{cases}\dfrac{1}{N_{\text{ТОmax}}^{\text{спец}}-N_{\text{ТОmin}}^{\text{спец}}}, N_{\text{ТО}}^{\text{спец}}\in\left[N_{\text{ТОmin}}^{\text{спец}}, N_{\text{ТОmax}}^{\text{спец}}\right];\\ 0, \quad \text{в противном случае.}\end{cases} \tag{13}$$

Генератор длительности ТО формирует случайную величину $\tau_{\text{ТО}}$, которая поступает в блок задержки длительности ТО на время текущего ремонта. После этого регистратор времени окончания ТО фиксирует окончательное значение длительности проведённых работ и заносит его в базу данных. В блоке оценки наработки образца производится фиксация значения наработки на отказ в случае наличия на его втором входе сигнала с регистратора отказа. Статистическая обработка средней наработки на отказ осуществляется в соответствии с выражением:

$$\hat{T}_{\text{О}}=\frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{отк}}} t_i}{N_{\text{отк}}}. \tag{14}$$

где t_i – величина интервала работоспособности МТП до i-го отказа, $N_{\text{отк}}$ – количество отказов за период наблюдения.

Рассмотрим работу канала текущего ремонта. Генераторы внезапных отказов (ГВО) элементов на оси времени формируют поток отказов в соответствии с соответствующими законами распределения. Каждый зафиксированный отказ поступает на регистратор, который через коммутатор канала ремонта запускает блок расчета ожидаемого времени ремонта. Блок расчета ожидаемого времени ремонта реализует методику диагностирования технического состояния МТП.

Каждому ГВО, имитирующему работу элемента образца МТП, присваивается совокупность признаков отказов в соответствии с правилами формирования матрицы «признак-диагноз», рассмотренными в методике диагностирования технического состояния МТП.

Алгоритм формирования ожидаемого времени поиска отказов образцов МТП представлен на рисунке 7.

Занесение в базу данных СППР значений временных затрат на поиск и обнаружение отказавших элементов проводится вначале по априорным данным, а затем уточняется в процессе эксплуатации.

Выдача величины среднего времени текущего ремонта осуществляется следующим образом [7]:

$$t_{\text{ТРi}}=\begin{cases}t_{\Pi i}+T_{\text{АДМ}}, & \text{при } R_{\text{i}}=1\\ t_{\Pi i}+T_{\text{АДМ}}+t_{\text{РП}}^{\text{разв}}, & \text{при } R_{\text{i}}=0\end{cases}, \tag{15}$$

где $T_{\text{АДМ}}$ – административное время, связанное с ожиданием ремонта из-за различных административных факторов; $t_{\text{РП}}^{\text{разв}}$ – время развёртывания ремонтного подразделения.

Генератор времени восстановления имитирует работу ремонтных органов (РО) путём формирования случайной величины времени текущего ремонта $t_{\text{ТР}}$ в соответствии с (16).

Момент доставки элементов в РО производит запуск генератора времени восстановления (далее – ГВВ), который формирует случайную величину времени текущего ремонта $t_{\text{ТР}}$, распределенную по закону Эрланга:

$$f\left(t_{\text{ТР}}\right)=\frac{\lambda_{\text{В}}^{k}}{(k-1)!}t_{\text{ТР}}^{\;k-1}\exp\left(-\lambda_{\text{В}}t_{\text{ТР}}\right), \tag{16}$$

где k>0, $\lambda_{\text{В}}$>0 – параметры распределения.

Значение $t_{\text{ТР}}$ поступает на сумматор, где происходит формирование суммарного времени восстановления образца в соответствии с выражением:

$$t_{\text{В}}=t_{\text{ТР}}+t_{\text{дост}}^{\text{О(Г,Р,НИ)}}. \tag{17}$$

Сумматор выдаёт это значение на регистратор восстановления работоспособного состояния (ВРС) для накопления статистических данных о составляющих времени восстановления, а также запускает блок сброса генератора отказов (ГО), который обнуляет ГО соответствующего элемента (имитирует замену отказавшей составной части образца МТП).

Блок оценки среднего времени восстановления образца является компонентом сбора и обработки информации о параметрах подсистемы текущего ремонта, а также устройством, в котором происходит индикация соответствия параметров оперативности восстановления требуемым значениям.

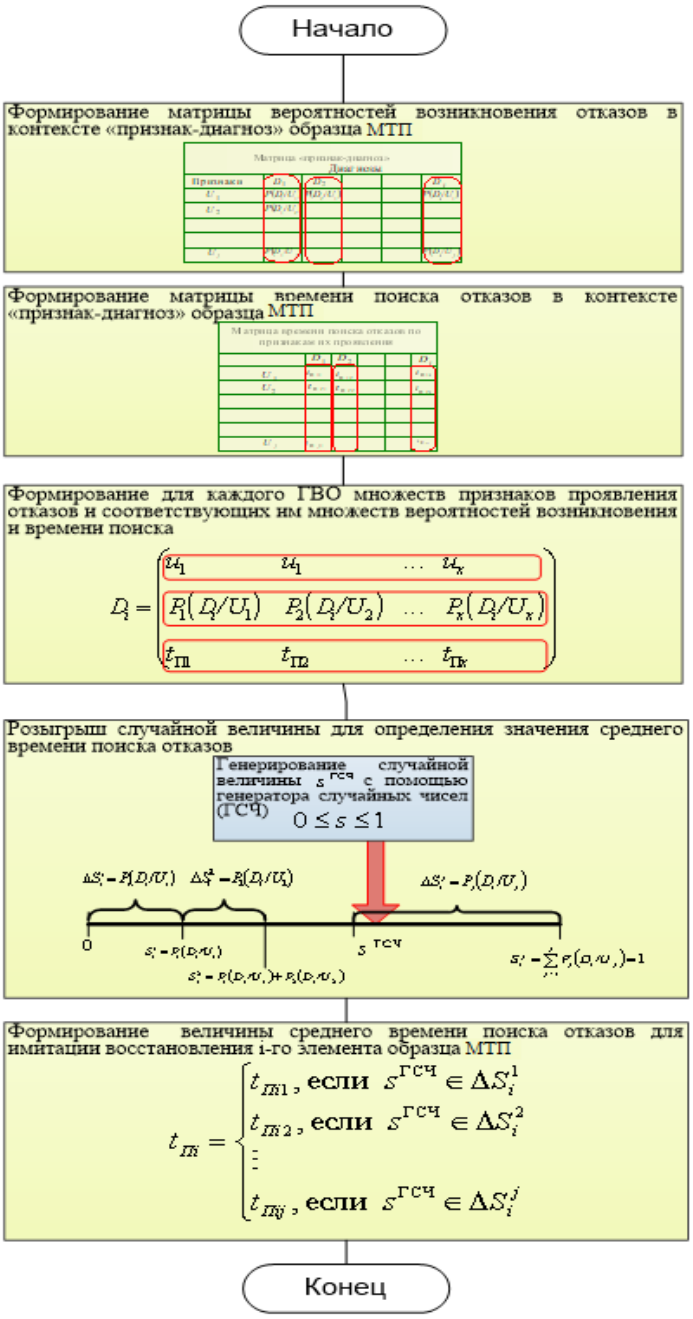


Рисунок 7 – Алгоритм формирования ожидаемого времени поиска отказов образцов МТП

Оценка величины среднего времени восстановления образца осуществляется в соответствии с выражением:

$$\hat{T}_B = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{отк}}} t_{Bi}}{N_{\text{отк}}}. \tag{18}$$

Количество специалистов, привлекаемых к текущему ремонту образцов, рассчитывается следующим образом:

$$N_{\text{ТРфакт}}^{\text{спец}} = \begin{cases} N_{\text{ТРподр}}^{\text{спец}}, & \text{если } \forall i = 1...D, R_i = 1 \\ N_{\text{ТРподр}}^{\text{спец}} + N_{\text{ТРап}}^{\text{спец}}, & \text{в противном случае} \end{cases} \tag{19}$$

где $N_{\text{ТРподр}}^{\text{спец}}$ – количество специалистов в подразделении, привлекаемых к текущему ремонту МТП; $N_{\text{ТРап}}^{\text{спец}}$ – количество специалистов в ремонтном подразделении, привлекаемых к текущему ремонту МТП.

В блоке расчёта коэффициента готовности проводится оценка значения $K_Г$ образца и индикация его соответствия заданному значению. Коэффициент готовности $K_Г$ – вероятность того, что образец МТП окажется в работоспособном состоянии. При обеспечении немедленного начала восстановления отказавшего образца $K_Г$ вычисляется по формуле:

$$K_Г = \frac{T_0}{T_0 + T_В}, \tag{20}$$

где T_0 – время средней наработки на отказ образца МТП, за расчётный период; $T_В$ – среднее время простоя образца МТП по причине восстановления.

Принятие решение о соответствии значения коэффициента готовности образца МТП поясняет рисунок 8.

Попадание значения коэффициента готовности в результате моделирования в область допустимых значений, ограниченную требованиями к конкретному образцу МТП, говорит о соответствующем уровне надежности образца и эффективности функционирования подсистем ТО и ТР [7].

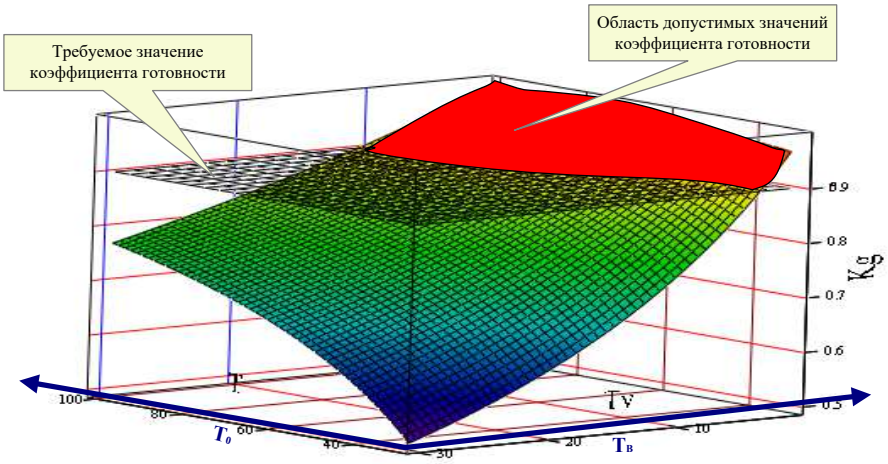


Рисунок 8 – График зависимости значений коэффициента готовности от значений средней наработки на отказ и среднего времени восстановления

В противном случае необходимо произвести оценку влияния уровня безотказности и уровня ремонтопригодности на полученное значение и скорректировать либо параметры подсистемы ТО либо параметры подсистемы ТР.

Таким образом, имеется возможность моделировать процесс функционирования любого образца МТП с учетом функционирования системы *S*. Проведение статистического эксперимента с использованием данной модели позволяет алгоритмически получить значение коэффициента готовности для образца МТП для любого момента времени в зависимости от длительности его пребывания в работоспособном состоянии или в состоянии регулировочных или ремонтно-восстановительных работ и определить зависимость уровня готовности этого образца от параметров системы *S*.

В отличие от известных, эта модель позволяет исследовать степень влияния профилактических и восстановительных мероприятий на уровень готовности образцов МТП и количественно обосновать характеристики подсистем ТО и ТР в зависимости от уровня параметрической и физической надёжности образцов.

Следующим этапом исследований является разработка методики формирования стоимостных зависимостей на функционирование системы *S*.

Методика формирования стоимостных зависимостей на функционирование системы обеспечения работоспособности МТП.

Суммарная стоимость функционирования системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП – *C*, будет определяться затратами на проведение ТО и ТР по формуле:

$$C = C_{\text{ТО}} + C_{\text{ТР}}, \tag{21}$$

где $C_{\text{ТО}}$ – стоимость выполняемых работ по техническому обслуживанию образца МТП; $C_{\text{ТР}}$ – стоимость выполняемых работ по ТР на образце МТП.

Рассмотрим первую составляющую выражения (21).

Стоимость технического обслуживания определяется выражением:

$$C_{\text{ТО}} = \tau^{\text{с}}_{\text{ТО}}\left(N^{\text{спец}}_{\text{ТО}} C_{\text{ЛС}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{Эл}\right) \tag{22}$$

где $\tau^{\text{с}}_{\text{ТО}}$ – суммарная продолжительность технических обслуживаний на образце МТП; $C_{\text{ЛС}}$ – удельные суммарные затраты на содержание технического персонала; $C_{\text{ГСМ}}$ – удельные суммарные затраты на используемые горюче-смазочные материалы (ГСМ); $C_{\text{Эл}}$ – удельные суммарные затраты на используемую электроэнергию.

Значение $\tau^{\text{с}}_{\text{ТО}}$ определяется выражением:

$$\tau^{\text{с}}_{\text{ТО}} = N_{\text{ТО}}(t) \cdot \tau_{\text{ТОср}}, \tag{23}$$

или

$$\tau^{\text{с}}_{\text{ТО}} = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{ТО}}} \cdot \tau_{\text{ТОср}}, \tag{24}$$

где $N_{\text{ТО}}(t)$ – число переводов образца МТП в режим технического обслуживания за период эксплуатации; $\tau_{\text{ТОср}}$ – средняя продолжительность технического обслуживания; $T_{\text{ТО}}$ – продолжительность межрегламентного интервала; $T_{\text{Э}}$ – рассматриваемый период эксплуатации.

Тогда получим:

$$C_{\text{ТО}} = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{ТО}}} \cdot \tau_{\text{ТОср}}\left(N^{\text{спец}}_{\text{ТО}} C_{\text{ЛС}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{Эл}\right) \tag{25}$$

Рассмотрим вторую составляющую выражения (21):

$$C_{\text{ТР}} = n_{\text{отк}} T_{\text{В}}\left(N^{\text{спец}}_{\text{ТР}} C_{\text{ЛС}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{Эл}\right) \tag{26}$$

где $n_{\text{отк}}$ – суммарное число внезапных отказов за время *t*; $T_{\text{В}}$ – среднее время восстановления работоспособности образца МТП.

Тогда суммарная стоимость C будет определяться выражением:

$$C = \frac{T_э}{T_{ТО}} \cdot \tau_{ТОср}\left(N_{ТО}^{спец} C_{ЛС} + C_{ГСМ} + C_{Эл}\right) + n_{отк} T_В \left(N_{ТР}^{спец} C_{ЛС} + C_{ГСМ} + C_{Эл}\right), \quad (27)$$

В соответствии со схемой исследования полученная зависимость используется при формировании целевой функции и в совокупности с функцией ограничений позволяют решить научную задачу обоснования структуры и характеристик системы S.

Формирование целевой функции и ограничений. Анализ оптимизационной задачи и выбор метода ее решения. Особенностью системы S является тот факт, что структура Q этой системы представлена двумя подсистемами: технического обслуживания с характеристиками G_1 и текущего ремонта с характеристиками G_2.

Задача заключается в поиске таких значений характеристик этих подсистем, которые обращают в минимум затраты C, обеспечивая при этом требуемое значение коэффициента готовности $K_{Гтреб}$.

Поскольку значение коэффициента готовности определяется одновременно двумя составляющими: средним временем наработки на отказ T_0 и средним временем восстановления $T_В$, поэтому необходимо совместно оптимизировать характеристики подсистем ТО и ТР. Это обстоятельство является причиной взаимообусловленности характеристик подсистем ТО и ТР. Снижая значение T_0 (т.е. создавая «слабую» подсистему ТО), можно за счет «усиления» подсистемы ТР снизить значение $T_В$ и, тем самым, повысить значение коэффициента готовности. Аналогично более «сильная» подсистема ТО может в некоторой степени компенсировать «менее сильную» подсистему ТР. Исходя из этого, можно сформировать *области допустимых значений* характеристик подсистем технического обслуживания Ω_{G1} и текущего ремонта Ω_{G2}, объединение которых составит допустимую область изменения характеристик этих подсистем $\Omega_G = \Omega_{G1} \bigcup \Omega_{G2}$. Эта область ограничена интервалом [T_{Bmin}, T_{Bmax}] возможных значений среднего времени восстановления $T_В$, и интервалом [T_{0min}, T_{0max}] возможных значений средней наработки на отказ T_0 и на рисунке 9 ограничена фигурой, обозначенной точками «А-Б-В-Г» [8].

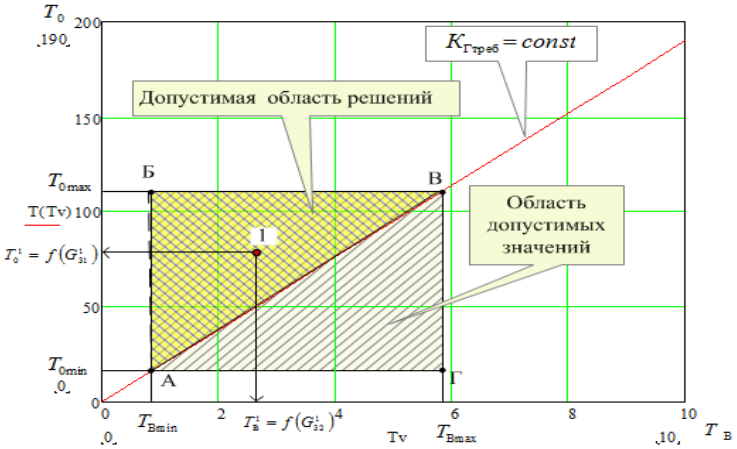


Рисунок 9 – Порядок построения допустимой области решений для поиска характеристик подсистем из состава системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП

Для её определения используем выражение (28) и выразим значение T_0 через значение $T_В$ получим соотношение вида:

$$T_0 = \frac{K_Г}{1 - K_Г} T_В \cdot \quad (28)$$

Исходя из того, что вариант системы *S* образуется структурой характеристиками подсистем технического обслуживания (Q_{S1} и G_{S1}) и текущего ремонта (Q_{S2} и G_{S2}) и учитываемые характеристики комплекса МТП *V* образованы множеством её характеристик X, а также то обстоятельство, что на характеристики указанных подсистем существенное влияние оказывает функция управления (F_{s3}, F_{s4}), реализуемая в СППР, то тогда вид целевой функции и функции ограничений может быть представлен следующим образом [5]:

$$C = C_{\text{ТО}}(Q_{S1}, G_{S1} \mid \mathbf{X}) + C_{\text{ТР}}(Q_{S2}, G_{S2} \mid \mathbf{X}) \to \min_{\substack{Q_{S1}\in\Omega_{Q_{S1}}, G_{S1}\in\Omega_{G_{S1}},\\ Q_{S2}\in\Omega_{Q_{S2}}, G_{S2}\in\Omega_{G_{S2}}}}, \quad (29)$$

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0(Q_{S1}, G_{S1} \mid X, F_{S3})}{T_0(Q_{S1}, G_{S1} \mid X, F_{S3}) + T_{\text{В}}(Q_{S2}, G_{S2} \mid X, F_{S4})} \geq K_{\Gamma\text{треб}} \quad (30)$$

Диапазоны изменения оптимизируемых переменных составляют:

$$T_{\text{ТОmin}} \leq T_{\text{ТО}} \leq T_{\text{ТОmax}},\ \tau_{\text{ТОmin}} \leq \tau_{\text{ТО}} \leq \tau_{\text{ТОmax}},$$
$$t_{\Pi\text{min}} \leq t_{\Pi} \leq t_{\Pi\text{max}},\ 1 \leq N_{\text{ТО}}^{\text{спец}} \leq N_{\text{ТО max}}^{\text{спец}},\ 1 \leq N_{\text{ТР}}^{\text{спец}} \leq N_{\text{ТРmax}}^{\text{спец}}. \quad (31)$$

Целевая функция будет представлена следующим выражением:

$$C = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{ТО}}} \cdot \tau_{\text{ТОср}}\left(N_{\text{ТО}}^{\text{спец}} C_{\text{ЛС}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{\text{Эл}}\right) + n_{\text{отк}} T_{\text{в}}\left(N_{\text{ТР}}^{\text{спец}} C_{\text{ЛС}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{\text{Эл}}\right) \to \min_{T_{\text{ТО}}, \tau_{\text{ТО}}, t_{\Pi}, N_{\text{ТО}}^{\text{спец}}, N_{\text{ТР}}^{\text{спец}}} \quad (32)$$

Заключение.

1. Разработанная методика обоснования структуры и характеристик системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП с применением информационной поддержки принятия решений, включающая в свой состав совокупность взаимосвязанных моделей: прогнозирования технического состояния МТП, диагностирования технического состояния МТП, функционирования системы обеспечения работоспособности МТП и формирования стоимостных зависимостей на функционирование системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП, которая отличается от известных применением: адаптивного алгоритма перераспределения затрат между мероприятиями ТО и ТР; алгоритма решения оптимизационной задачи, основанного на модифицированном методе Нелдера-Мида, осуществляющим поиск таких значений характеристик подсистем ТО и ТР, которые обращают в минимум затраты, обеспечивая при этом требуемое значение коэффициента технической готовности МТП, что позволяет сформировать систему РОБ, обеспечивающих работоспособность МТП с требуемыми характеристиками, как по структуре, так и по технологии проведения профилактических и восстановительных работ и операций.

2. Выявлено, что малое значение межрегламентного интервала позволяет добиться достаточно высоких значений для коэффициента готовности. При этом изменение коэффициента готовности при варьировании значением межрегламентного интервала в пределах области рекомендованных значений проведения ТО несущественно и изменяется в переделах 0.00002%. Однако дальнейшее изменение значения межрегламентного интервала приводит к существенному снижению коэффициента технической готовности. Так, если значение $T_{\text{ТО}}$ превышает значение наработки на постепенный отказ устройства, то $K_{\text{г}}$ снижается ниже допустимого уровня $K^{*}_{\Gamma.\text{треб}} = 0{,}985$.

3. Выявлено, что основным мероприятием, позволяющим снизить эксплуатационные затраты и положительно влиять на значение K_{Γ} является рациональное распределение времени на проведение проверок, используемых при ТО образца МТП. Увеличение длительности проведения ТО приводит к расходу ресурса техники из общего лимита и, в то же время, приводит к более качественному проведению регулировочных работ. Частично снизить длительность ТО можно путем

распараллеливания проведения проверок между специалистами, учитывая технологию проведения регулировочно-настроечных работ. В данном случае рациональное значение количества специалистов составляет от двух до шести человек, что позволяет обеспечить длительность ТО по состоянию от двух до четырех часов.

4. В части текущего ремонта отклонения от нормативных значений времени восстановления работоспособности (более 30 минут) привело к резкому снижению уровня готовности при существующем уровне параметра потока внезапных отказов. Для выполнения текущего ремонта требуется привлечения в среднем 3...4 специалистов.

5. Исследование процесса обеспечения работоспособности образцов МТП показало, что основным условием оптимальности ее работы является индивидуальный мониторинг технического состояния каждого образца, в результате чего появляется возможность адаптировать характеристики системы к реальным условиям эксплуатации МТП. При этом удается примерно на 40% сократить продолжительность регулировочно-настроечных и ремонтно-восстановительных мероприятий. Условием требуемой эффективности системы РОБ, обеспечивающей работоспособность МТП, при этом, также является наличие в составе бригад, выполняющих эти мероприятия, не менее четырех человек инженерно-технического состава.

Суммарное снижение затрат на обеспечение работоспособного состояния исследуемой техники составило порядка 18...20%. Таким образом, научная задача решена, а цель исследования достигнута.

Список источников

1. Ломовских А.Е. Метод определения степени износа и необходимости замены трансмиссионного масла в силовых механизмах / А.Е. Ломовских, Ю.В. Родионов, И.С. Филатов, Н.В. Воронин, Д.В. Никитин, В.В. Остриков. Журнал «Наука в центральной России». Издательство: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». (Тамбов) 2020. С. 80–87.

2. Ивахненко А.Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Зайченко, В.Д. Димитров. М.: Сов. радио, 1976. 280 с.

3. Исмагилова Е.И. Булевы функции и построение логических схем: учебное пособие / Е.И. Исмагилова М: МИРЭА, 2015. 160 с.

4. Al-Maidi, A.A.H., Chernetsov, D.A., Rodionov, Yu.V., Lomovskikh, A.E., Mikheev, N.V. Experimental researches of the machine-tractor fleet with the yamz-238 gasdiesel engine (2020) Plant Archives, 20, pp. 200–207.

5. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко Киев, Наукова думка, 1975. 312 с.

6. Zaitsev, V., Konovalov, V., Gumarov, G., Rodionov, Y. Mobile trailer support arm: Modeling and analysis of breakage (2018) Journal of Physics: Conference Series, 1084 (1), article № 012009.

7. Ивахненко А.Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Юрачковский. М.: Радио и связь,. 1987. 120 с.

8. Программная реализация модели функционирования машинного парка. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021611690 Российская Федерация; правообладатель и автор: Деревянко Е.А. заявка № 2021610575 от 21.01.2021; зарег. в реестре программ для ЭВМ 03.02.2021. 16 с.

9. База данных модели функционирования РОБ. База данных № 2022621576 Российская Федерация; правообладатель и автор: Деревянко Е.А. заявка № 2022621461 от 15.06.2022; зарег. в реестре программ для ЭВМ 04.07.2022. 20 с.

References

1. Ivakhnenko A.G. Decision-making based on self-organization / A.G. Ivakhnenko, Yu.P. Zaichenko, V.D. Dimitrov. M.: Soviet Radio, 1976. 280 p.

2. Ismagilova E.I. Boolean functions and the construction of logical circuits: textbook / E.I. Ismagilova M: MIREA, 2015. 160 p.

3. Al-Maidi, A.A.H., Chernetsov, D.A., Rodionov, Yu.V., Lomovskikh, A.E., Mikheev, N.V. Experimental researches of the machine-tractor fleet with the yamz-238 gasdiesel engine (2020) Plant Archives, 20, pp. 200–207.

4. Ivakhnenko A.G. Long-term forecasting and management of complex systems / A.G. Ivakhnenko Kiev, Naukova dumka, 1975. 312 p.

5. Zaitsev, V., Konovalov, V., Gumarov, G., Rodionov, Y. Mobile trailer support: modeling and analysis of breakage Mobile trailer support arm: Modeling and analysis of breakage (2018) Journal of Physics: Conference Series, 1084 (1), article No. 012009.

6. Ivakhnenko A.G. Modeling complex systems based on experimental data / A.G. Ivakhnenko, Yu.P. Yurachkovsky M.: Radio and Communications. 1987. 120 p.

7. Lomovskikh A.E. Method for determining the degree of wear and the need to replace transmission oil in power mechanisms / A.E. Lomovskikh, Yu.V. Rodionov, I.S. Filatov, N.V. Voronin, D.V. Nikitin, V.V. Ostrikov. The journal "Science in Central Russia". Publisher: All-Russian Scientific Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture. (Tambov) 2020. pp. 80-87.

8. Software implementation of the machine park functioning model. Certificate of state registration of a computer program No. 2021611690 Russian Federation; copyright holder and author: Derevyanko E.A. application No. 2021610575 dated 21.01.2021; reg. in the register of computer programs 03.02.2021. 16 p

9. Database of the ROB functioning model. Database No. 2022621576 Russian Federation; copyright holder and author: Derevyanko E.A. application No. 2022621461 dated 06/15/2022; reg. in the register of computer programs 04.07.2022. 20 p.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; Е.А. Деревянко – адъюнкт; А.Е. Ломовских - кандидат технических наук, доцент; П.Т. Пантелеев – кандидат технических наук, доцент; В.С. Январёв – адъюнкт.

Information about the authors

Y. Rodionov - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Derevianko - post graduate student of department; A. Lomovskikh - Candidate of technical sciences, associate professor; P. Panteleev - Candidate of Agricultural Sciences, assistant professor; V. Yanvarev - post graduate student of department.

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

Поступила в редакцию (Received): 10.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 15.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.892
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-93-105

ОЦЕНКА АНТИКОРРОЗИОННЫХ, ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ СОСТАВОВ МАСЕЛ ДЛЯ КОНСЕРВАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

***Валерий Васильевич Остриков* [1], *Дмитрий Николаевич Жерновников* [2], *Алла Владимировна Забродская* [3], *Виктор Сергеевич Вязинкин* [4], *Валентин Владимирович Сафонов*[5]**
[1,2,3,4]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1] *viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X*
[5]*Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия*
[5]safonow2010sgau @.yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Валерий Васильевич Остриков, viitinlab8@bk.ru
Corresponding author: Valerij Ostrikov, viitinlab8@bk.ru

Реферат. *Перед постановкой зерноуборочных комбайнов на межсезонное хранение проводятся работы по консервации внутренних полостей двигателей внутреннего сгорания и, в первую очередь, гильз цилиндров, для чего заводами-изготовителями техники рекомендуется использовать специальные технологии консервации и специализированные консервационные масла. В условиях реальной эксплуатации данные меры защиты машин от коррозии практически не применяются, в первую очередь, из-за высоких затрат на их реализацию. В ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывается малозатратная ресурсосберегающая технология защиты двигателей комбайнов от коррозионно-механического износа путём разработки состава консервационного масла на базе отработавшего свой срок моторного масла. Разработан способ очистки отработанного масла от загрязнений. Проведены исследования по определению рационального состава масла, включающие применение полимеризованного рапсового масла и пушечной смазки в качестве добавок, повышающих противоизносные и антикоррозионные свойства. Установлено оптимальное время полимеризации масла - не менее 20 часов, позволяющее повысить его вязкость и увеличить параметры формируемой защитной плёнки. В качестве ингибитора коррозии в составе консервационного масла рассмотрена пушечная смазка ПВК. Для смешивания ПВК с базовым маслом отбирается незначительное (3 л) количество очищенного моторного масла М-10Г$_2$, производится нагрев смеси до 100°С и перемешивание в течение 20 минут. Полученная обогащающая смесь очищенного масла с растворённым полимеризованным рапсовым маслом и смазкой ПВК вносилась в основной объём очищенного масла в концентрации 3%, 6%, 9%. На основании проведённых исследований получены зависимости изменения вязкости. Определено, что рациональной концентрацией внесения обогащающей смеси является 6% добавка. Оценка возможности осаждения компонентов масел в процессе их хранения показала допустимые значения толщины слоя осадка, не превышающие 1 мм. В первом приближении разработан новый состав масла, легкодоступный для получения в условиях сельхозпредприятий АПК.*

Ключевые слова: *моторное масло, двигатель, консервационное масло, состав, добавки, вязкость, защитная плёнка, защитные свойства.*

EVALUATION OF ANTICORROSION, ANTIWEAR PROPERTIES OF OIL COMPOSITIONS FOR PRESERVATION OF ENGINES OF GRAIN HARVESTERS

***Valery Ostrikov*[1], *Dmitry Zhernovnikov*[2], *Alla Zabrodskaya*[3], *Viktor Vyazinkin*[4], *Valentin Safonov*[5]**

[1,2,3,4] *All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]*viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X*
[5]*Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia*
[5]safonow2010sgau @.yandex.ru

Abstract. *Works on conservation of the internal cavities of internal combustion engines and, first of all, cylinder liners are carried out before placing combine harvesters for off-season storage, for which equipment manufacturers recommend using special conservation technologies and specialized conservation oils. These measures to protect machines from corrosion are practically not used in real operation, primarily because of the high costs of their implementation. A low-cost resource-saving technology for protecting combine harvester engines from corrosion-mechanical wear is being developed at FSBNU VNIITiN by developing a conservation oil composition based on used engine oil. A method for cleaning waste oil from contaminants has been developed. Studies have been carried out to determine the rational composition of the oil, including the use of polymerized rapeseed oil and gun grease as additives that increase anti-wear and anti-corrosion properties. The optimal oil polymerization time has been established to be at least 20 hours, which makes it possible to increase the viscosity of the oil and increase the parameters of the protective film being formed. PVK gun grease is considered as a corrosion inhibitor in the composition of conservation oil. A small amount (3 l) of purified motor oil M-10G2 is taken for mixing PVC with base oil, the mixture is heated to 100°C and mixed for 20 minutes. The resulting enriching mixture of purified oil with dissolved polymerized rapeseed oil and PVC lubricant was added to the main volume of purified oil at a concentration of 3%, 6%, 9%. Based on the studies carried out, the dependences of the change in viscosity were obtained. It has been determined that a 6% additive is a rational concentration for adding an enriching mixture. An assessment of the possibility of precipitation of oil components during their storage showed acceptable values for the thickness of the sediment layer, not exceeding 1 mm. As a first approximation, a new oil composition has been developed, which is easily accessible for production under the conditions of agricultural enterprises of the agro-industrial complex.*

Keywords: *motor oil, engine, conservation oil, composition, additives, viscosity, protective film, protective properties.*

Для цитирования: Остриков В.В., Жерновников Д.Н., Забродская А.В., Вязинкин В.С., Сафонов В.В. Оценка антикоррозионных, противоизносных свойств составов масел для консервации двигателей зерноуборочных комбайнов // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 62, № 2. С. 93-105. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-93-105.

For citation: Ostrikov V., Zhernovnikov D., Zabrodskaya A., Vyazinkin V., Safonov V. Evalution of anticorrosion, antiwear properties of oil compositions for preservation of engines of grain harvesters // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 62(2): 93-105. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-93-105.

Введение. Моторное масло в процессе простоя техники в период межсезонного хранения изменяет свои свойства [1-3]. Присутствующие в работавших маслах загрязнения оседают, образуя осадок как в картере, так и в масляных каналах.

Отказ от проведения технологических операций подготовки техники к хранению может приводить к появлению следов коррозии и последующего износа деталей ДВС в период последующего использования комбайнов [4-6].

Образовавшиеся начальные мельчайшие следы коррозии на поверхностях гильз цилиндров являются в дальнейшем причиной образования раковин, интенсификации износа с последующим дорогостоящим ремонтом двигателя. Так при проведении ремонтных работ в АО ПЗ «Пригородный» Тамбовского района, после разборки двигателя внутреннего сгорания зафиксирован характерный налет на стенках гильз цилиндров, рисунок 1 а, б.

а) следы коррозии на стенках гильз цилиндров

б) образующиеся в процессе эксплуатации раковины на зеркале цилиндра, как следствие работы двигателя со следами первоначальной коррозии

Рисунок 1 – Внешний вид новообразований и последствия отказа от проведения операции защиты техники от коррозии

Известно, что для консервации и защиты сельскохозяйственной техники от коррозии широко применяется отработанное моторное масло. Причём, по данным ФГБНУ ВНИИТиН, чем больше степень загрязнения моторных масел смолами, тем больший эффект проявляет масло и составы на его основе [6-10].

Данный подход к использованию отработанных масел в качестве компонента рабоче-консервационного, консервационного масел пока не нашел применения для трущихся деталей в силу высокой степени загрязненности. При этом отработавшее уборочный период моторное масло содержит значительное количество присадок, в том числе и антиокислительных, антикоррозионных.

Методика проведения исследований. Оценке защитных свойств масел подвергалось отработанное моторное масло (ММО), глубокоочищенное отработанное моторное масло ММОО, консервационное масло К-17, отработанное глубокоочищенное моторное масло с добавками полимеризованного рапсового масла (ОМ) и пушечной смазки (ПС).

Электрохимические исследования позволяют дать предварительную оценку защитных свойств масляных композиций. Исследования проводили на потенциостате AUTOLAB в потенцио-динамическом режиме со скоростью развертки потенциала 0,4 мВ/с с электрохимической ячейкой из стекла «Пирекс» с разделенным шлифом анодным и катодным пространствами. Использовали в качестве рабочего электрода углеродистую сталь Ст3,

армированную в оправку из эпоксидной смолы ЭД-5 с отвердителем полиэтиленполиамином, электрода сравнения – насыщенный водный хлорид-серебряный, вспомогательного – гладкую платину. Для формирования масляные покрытия на электродах выдерживались в течение суток. Потенциалы пересчитаны по н.в.ш. (нормальной водородной шкале).

Противоизносные свойства масел определялись в сравнительном режиме. Исследования проводили на отработанном загрязнённом моторном масле М-10ДМ, слитом из картера двигателя комбайна «Полесье», после его очистки от загрязнений, очищенном моторном масле с добавками ПВК и полимеризованного рапсового масла, товарном консервационном масле К-17. Оценку проводили по диаметру пятна износа на четырёхшариковой машине трения КТ-2 и машине трения СМЦ-2.

Результаты и их обсуждение. ФГБНУ ВНИИТиН проведены исследования по определению рационального состава масла для консервации ДВС на основе очищенных моторных масел М–10Г$_2$ и М–10ДМ. В качестве компонентов, повышающих защитные, противокоррозионные, антиокислительные свойства, рассмотрены рапсовое масло, пушечная смазка.

При проведении исследований за эталон принято рабоче-консервационное масло К–17. Исследования проводились в лабораторных условиях на моторных маслах, слитых из картеров двигателей комбайнов «Полесье» после наработки 150…200 часов и очищенных по разработанному способу [11].

Рапсовое масло подвергалось предварительной полимеризации. Для этих целей в ёмкость заправлялось рапсовое масло 1 литр, и проводился его нагрев. Время процесса полимеризации составляло 24 часа. При этом контролировалось изменение вязкости и кислотного числа масла (рисунок 2). Установлено, что вязкость изменялась в зависимости от выдержки при температуре 110…120ºС. По достижении значения 20 мм^2/с процесс увеличения вязкости замедлялся. Из анализа (линия 1) можно сделать вывод, что время полимеризации (нагрева) целесообразно ограничить 20 часами.

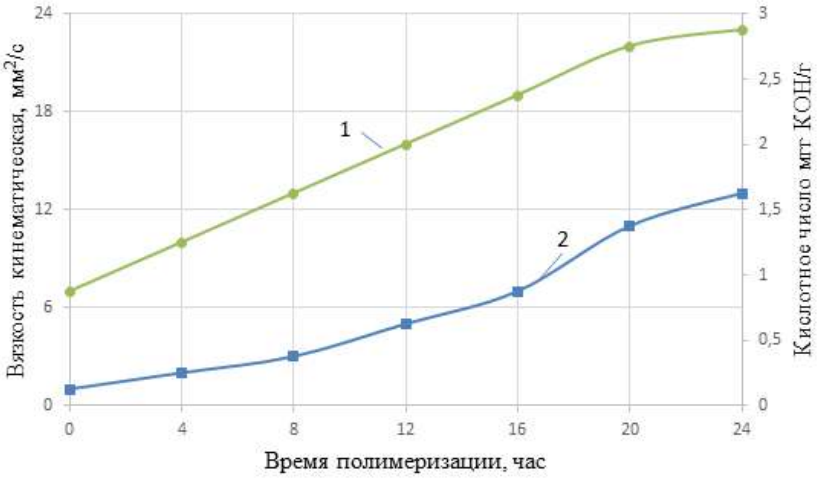


Рисунок 2 – Зависимость изменения вязкости (1) и кислотного числа (2) рапсового масла от времени нагрева (полимеризации)

При проведении операции нагрева в рапсовом масле наблюдался рост кислотного числа масла с 0,3 мг КОН/г до 1,5 мг КОН/ (линия 2). С учётом того, что полимеризованное рапсовое масло должно прежде всего участвовать в формировании масляной плёнки, её толщины при незначительной концентрации добавки в масляную основу (очищенное моторное масло) кислотное число может незначительно влиять на снижение окислительных свойств консервационного масла.

Полученное полимеризованное рапсовое масло вносилось при температуре 80ºС в очищенные образцы моторных масел в концентрации 3, 6, 9, 12 %, при этом контролировалось изменение вязкости базового масло и его кислотного числа. Установлено (рисунок 3), что внесение полимеризованного рапсового масла в моторные масла позволяет увеличить их вязкость с 12 мм^2/с до 15–16 мм^2/с и с 16 мм^2/с до 19 мм^2/с соответственно. При этом наблюдался незначительный рост кислотного числа.

В первом приближении можно утверждать, что внесение полимеризованного рапсового масла способствует увеличению толщины масляной пленки при не значительном росте кислотного числа.

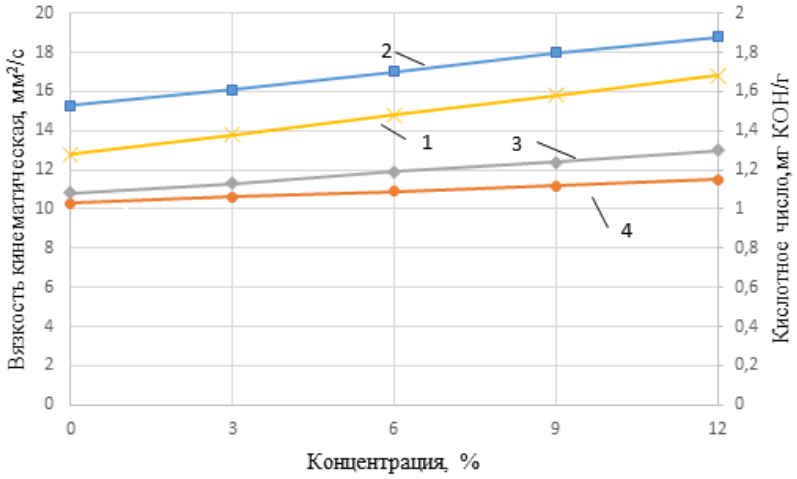


Рисунок 3 – Зависимость изменения вязкости и кислотного числа масла М–10Г$_2$ и М–10ДМ от концентрации добавки полимеризованного рапсового масла: 1–масло М–10Г$_2$ (вязкость); 2–масло М–10ДМ (вязкость); 3–масло М–10ДМ (кислотное число); 4–масло М–10Г$_2$ (кислотное число)

Толщину формируемой масляной пленки на металлической поверхности оценивают гравиметрическим методом. Данный метод является приближенным и не дает полной характеристики смазывающих свойств масел.

На следующем этапе в качестве доступного элемента, входящего в состав консервационного масла, рассматривалась пушечная смазка.

Пушечная смазка (ПВК) ГОСТ 19537-83 представляет собой нефтяное масло, загущённое петролатумом и церезином, содержащее антикоррозионную присадку. Пушечная смазка имеет температуру каплепадения 60 ºС, смазка обладает одним из самых высоких пределов прочности. Известно большое количество смазочных композиций для защиты техники от коррозии, в состав которых в качестве ингибитора коррозии входит пушечная смазка.

Пушечная смазка представляет собой пластичную консистенцию и не может смешиваться с маслами без определенных воздействий. Для смешивания ПВК отбиралась проба очищенного моторного масла в объёме 3 литра. Масло нагревалось до 80 ºС, и в него добавлялась пушечная смазка массой 300 граммов. Далее смесь перемешивалась, при этом температура смеси повышалась до 100 ºС.

Перемешивание проводилось в течение 20 минут до полного равномерного растворения смазки в масле. Равномерность растворения смазки в масле оценивалась под микроскопом. Полным растворением считалось отсутствие в масле видимых конгломератов.

Полученная таким образом смесь вносилась в очищенное масло с полимеризованным рапсовым маслом в концентрации 3%, 6%, 9% при температуре нагрева масла 80 ºС. На рисунке 4 представлена зависимость изменения вязкости масла М–10ДМ с добавкой полимеризованного рапсового масла, обогащенных концентратом пушечной смазки в масле в соотношении 3%, 6%, 9% масс.

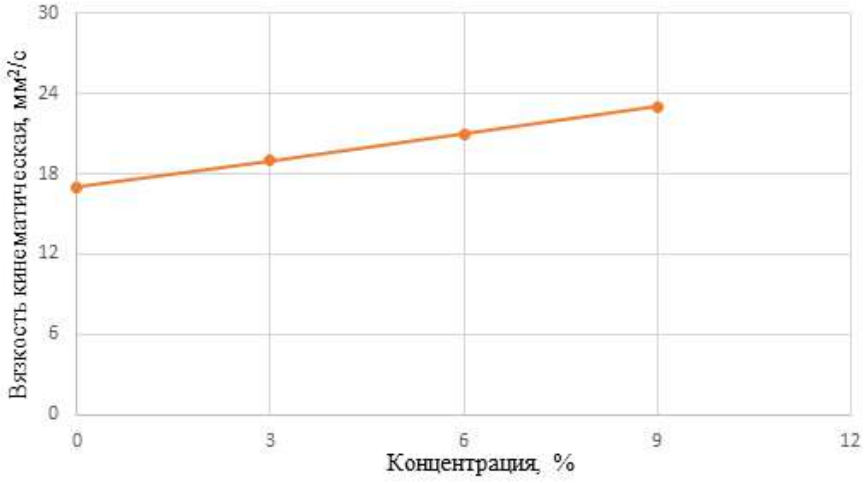


Рисунок 4 – Зависимость изменения вязкости масла М–10ДМ с добавкой полимеризованного рапсового масс масла (6%) от концентрации внесения раствора пушечной смазки в масле

Вязкость состава масла на основе очищенного масла М–10ДМ более 20 мм/с^2, что может положительно влиять на формирование защитной пленки на поверхности металла. При проведении исследований рассматривался процесс осадкообразования в подготовленном составе рабоче-консервационного масла на основе очищенного моторного масла с добавками. Подготовленные составы масел выдерживались в течение 72 часов при комнатной температуре.

Через каждые 24 часа из ёмкости сливалось масло. Образующийся осадок, его консистенция определялась визуально, а толщина слоя замерялась с помощью щупа с делениями. Установлено, что и в масле М–10Г$_2$ с добавками полимеризованного рапсового масла и концентрата масляной добавки на основе пушечной смазки и в масле М–10ДМ с теми же добавками (6% масс каждой) величина слоя осадка составляла после приготовления и первых 24 часов отстаивания не более 1 мм. Далее осадок практически не изменялся (рисунок 5).

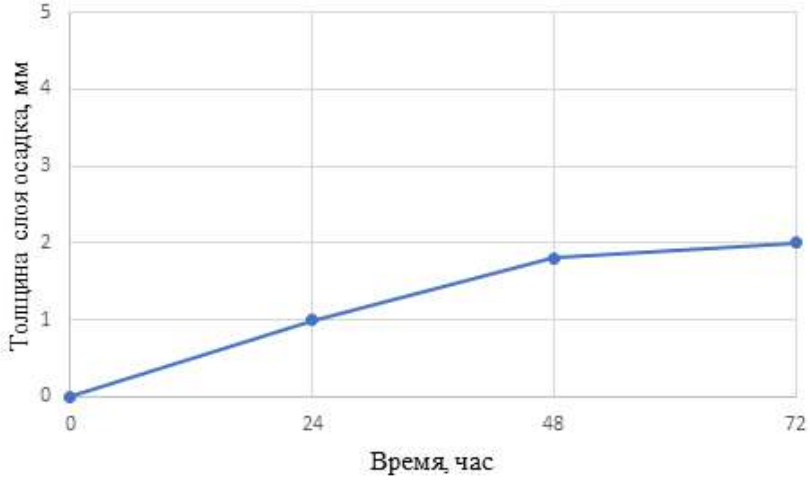


Рисунок 5 – Толщина слоя осадка составов рабоче-консервационных масел от времени отстаивания

С учетом того, что перемешивание проводилось без использования специальных технических средств, полученные характеристики можно считать удовлетворительными.

На рисунке 6 показаны поляризационные кривые в 0,5 М растворе NaCl

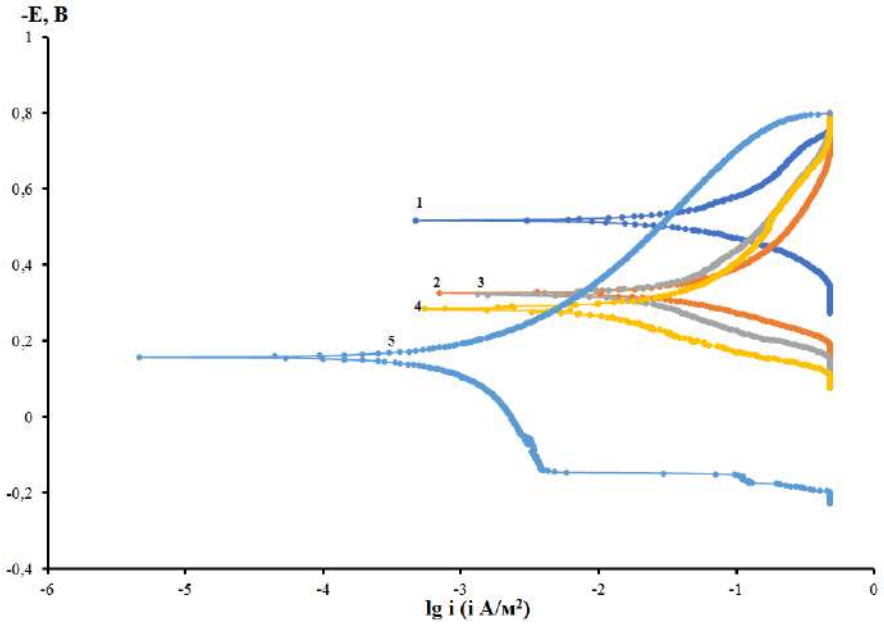


Рисунок 6 – Поляризационные кривые на стали Ст3 : 1 – Без покрытия, 2 – К-17, 3 – Отработанное ММ, 4 – М-10ДМ, 5 – 6% РМ + 6% ПС в ММОО

Стационарный потенциал коррозии ($E_{кор}$) стали Ст3 составляет –0,515 В, плотность тока коррозии в фоновом растворе ($i_{кор}$) - 11·А/м^2. Все исследуемые композиции смещают потенциал коррозии электрода в положительную сторону (рисунок 6, таблица 1), затрудняя коррозионные процессы. Наиболее сильный сдвиг потенциала на 0,361 В наблюдается для разработанной композиции 6% РМ + 6% ПС в ММОО. Свежее товарное масло М-10ДМ в большей степени сдвигает потенциал в положительную сторону, чем загрязнённое. Последнее облагораживает потенциал коррозии до той же величины, что и консервационное масло К-17.

Наклоны тафелевских участков, имеющихся на анодных поляризационных кривых, отвечающих ионизации железа с масляными покрытиями, близки к наклону тафелевского участка на поляризационной кривой без покрытия для всех масляных композиций. Это свидетельствует о том, что механизм электрохимической коррозии не меняется при нанесении на сталь любой из исследуемых масляных композиций.

Таблица 1 – Результаты электрохимических измерений исследуемых масляных композиций

Состав	$-E_{кор}$, В	$i_{кор}$, А/м^2	b_a, В	b_k, В	Z, %
Без покрытия	0,515	0,0288	0,080	0,111	-
К-17	0,327	0,0152	0,066	0,058	47
Отработанное М-10ДМ	0,327	0,0112	0,076	0,069	61
М-10ДМ	0,263	0,0139	0,098	0,147	52
6% РМ + 6% ПС в ММОО	0,154	0,000457	0,116	0,097	98,4

Наибольшими токами коррозии и, соответственно, наименьшей защитной эффективностью характеризуется консервационное масло К-17. Отработанное М-10ДМ характеризуется меньшими токами коррозии и, соответственно, обладает большим защитным эффектом по сравнению с товарным маслом, вероятно за счет ингибирующих свойств продуктов загрязнения.

Наилучшие результаты по защитному эффекту получены для композиции 6% РМ + 6% ПС в ММОО. Представляет научный и практический интерес результаты исследований и наблюдений за изменением поверхности пластин под действием раствора NaCl с выдержкой в течение 6 суток.

Для рассмотрения процессов коррозионного разрушения поверхностей пластин из стали Ст3 их обрабатывали отработанным маслом, слитым из картера двигателя комбайна «Полесье»,

отработанным маслом после очистки с добавлением 6 % ПВК, товарным маслом М-10ДМ, товарным маслом К-17 (рисунок 7).

Анализируя полученные результаты следует отметить, что пластина без обработки имеет максимальную площадь поражения продуктами коррозии. Пластины, обработанные отработавшим 200 часов моторным маслом М-10ДМ, товарным маслом М-10ДМ, товарным маслом К-17 имели значительную площадь поражения.

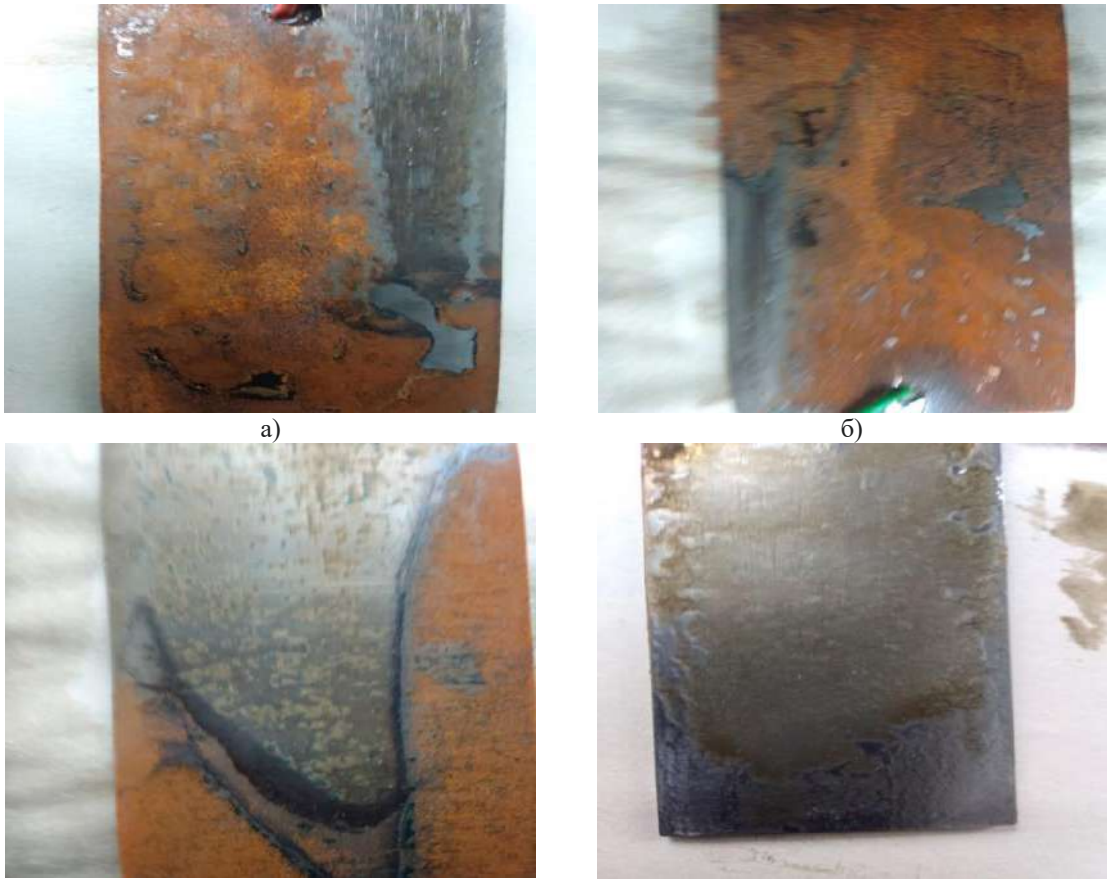


Рисунок 7 – Характер (внешний вид) процесса коррозии на металлических пластинах в зависимости от вида используемого масла: а) пластина, обработанная отработанным маслом М-10ДМ; б) пластина, обработанная товарным маслом М-10ДМ; в) пластина, обработанная товарным маслом К-17; г) пластина, обработанная очищенным отработанным моторным маслом М-10ДМ с добавками полимеризованного рапсового масла и смазки ПВК

Пластина, обработанная разработанным составом рабоче – консервационного масла на базе очищенного работавшего масла с добавками, имела минимальную область поражения.

Установлено, что отработавшее уборочный сезон моторное масло М-10ДМ имеет низкое значение противоизносных свойств. Данное значение в большей степени объясняется присутствием в масле механических примесей. Тем не менее данное масло не рекомендуется к дальнейшему использованию и подлежит замене. Вышеуказанное масло в соответствии с разработанным ФГБНУ ВНИИтИН способом подвергалось очистке от механических примесей и продуктов старения. Определено, что в очищаемом моторном масле после удаления загрязнений снизилось значение пятна износа с 0,35 до 0,27.

Данный показатель (0,27 мм) соответствует некоторым видам товарных моторных масел М-10Г$_2$ (0,22 – 0,28 мм). Если значение 0,22 – 0,27 мм в большей степени зависит от содержания и свойств противоизносных и вязкостных присадок, присутствующих в товарных маслах, то в отработанном очищенном масле диаметр пятна износа 0,27 мм является следствием действия реагентов, используемых для очистки масла.

Очищенное работавшее в двигателе моторное масло М-10ДМ после обогащения добавками полимеризованного рапсового масла и смазки ПВК имело размер диаметра пятна износа 0,21 – 0,22 мм, что ниже, чем у очищенного масла без добавок (0,27 мм) и наилучший результат в сравнении с товарными моторными маслами. Данный факт имел важное значение, так как не исключается работа двигателя определённое время (в период запуска, прогрева и т.д.) на разрабатываемом составе консервационного масла.

Значение диаметра пятна износа у товарного масла К-17 составило 0,27 мм, то есть аналогично очищенному моторному маслу М-10ДМ.

Испытаниями на четырехшариковой машине трения КТ-2 не всегда удаётся смоделировать условия работы реальных машин. Более информативными являются испытания на роликовых машинах, где возможно оценить больше параметров при работе пар трения на различных режимах. Исследования проводились в Саратовском ГАУ. Рассматривалось несколько проб масел, представленных обезличено под номерами 1,2,3,4,5.

Для определения влияния представленных образцов масла на его трибологические свойства при испытании пары трения «гильза - поршневое кольцо» в лабораторных условиях использовали машину трения СМЦ-2 в условиях «трения-скольжения» по схеме «ролик – колодка». Образцы пар трения были изготовлены из конструкционных материалов, применяемых в ДВС. Для воспроизводства пары трения «гильза - поршневое кольцо» колодки и ролики изготовляли из серого чугуна СЧ-25 одной плавки. Твёрдость образцов 190…220 НВ. Шероховатость рабочей поверхности Ra ролика и колодки соответственно 0,32 и 0,64 мкм.

Испытания проводили в течение 3 ч. Нагрузка на пару трения создавали с помощью специального нагрузочного устройства, имеющегося на машине трения. Пуск машины осуществляли при нагрузке на образцы 90 Н, после чего нагрузку увеличивали, достигая максимальной величины 1,2 кН. Начальная температура 19 – 20 ^{0}С.

В процессе испытаний фиксировали следующие параметры: момент трения и температуру рабочей поверхности ролика. Изменение момента трения во время испытаний позволяет оценить антифрикционные свойства смазочной среды. Непрерывное измерение момента трения на машине трения проводилось с помощью потенциометра, входящего в конструкцию машины трения. Износ определяли взвешиванием образцов до и после опыта на аналитических весах HR-250AZG с точностью до 0,1 мг. Температуру трущейся поверхности ролика измеряли с помощью цифрового пирометра Mastech MS6530.

Результаты испытания представлены в таблице 2

Таблица 2 - Изменение силы момента трения и температуры поверхности трения ролика

№	Время, мин	**1 – образец**		**2 – образец**		**3 – образец**		**4 – образец**		**5 – образец**	
		Температура, ^{0}С	Сила момента трения, нм	Температура, ^{0}С	Сила момента трения, нм	Температура, ^{0}С	Сила момента трения, нм	Температура, ^{0}С	Сила момента трения, нм	Температура, ^{0}С	Сила момента трения, нм
6	30	125	3,8	128	4,0	73	2,4	80	2,8	140	4,3
13	360	69	2,2	125	3,8	50	1,2	60	1,5	163	5,2

Максимальный момент трения отмечен в образцах № 1 и № 2. В данном случае это отработавшие масла из двигателей комбайнов «Полесье», находящихся под наблюдением. В зависимости от продолжительности работы узла трения увеличивалась и температура. В образцах № 1 и № 2 через 30 минут температура увеличилась до 125 и 128 °С. После 2 часов испытаний наблюдается снижение температуры (рисунок 8)

Максимальная сила момента трения отмечена у образца масла, очищенного по разработанному способу.

Образец № 4 (новый разработанный состав масла) показал высокие трибологические характеристики. При этом товарное масло К-17 (образец № 5) имело противоизносные характеристики даже ниже, чем у работавших моторных масел (рисунок 9).

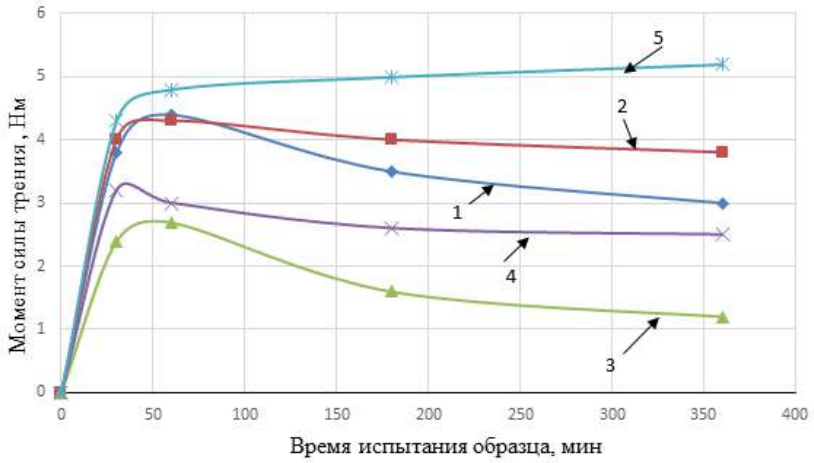


Рисунок 8 – Изменение момента силы трения от времени для различных моторных масел: 1 – отработанное масло, комбайн № 14 «Полесье»;
2 - отработанное масло, комбайн № «Полесье»; 3 – масло очищенное (гидроксид аммония + карбамид), комбайн № 14 «Полесье»; 4 - масло очищенное (гидроксид аммония + карбамид + добавки), комбайн № 14 «Полесье»; 5 - Консервационное масло К-17

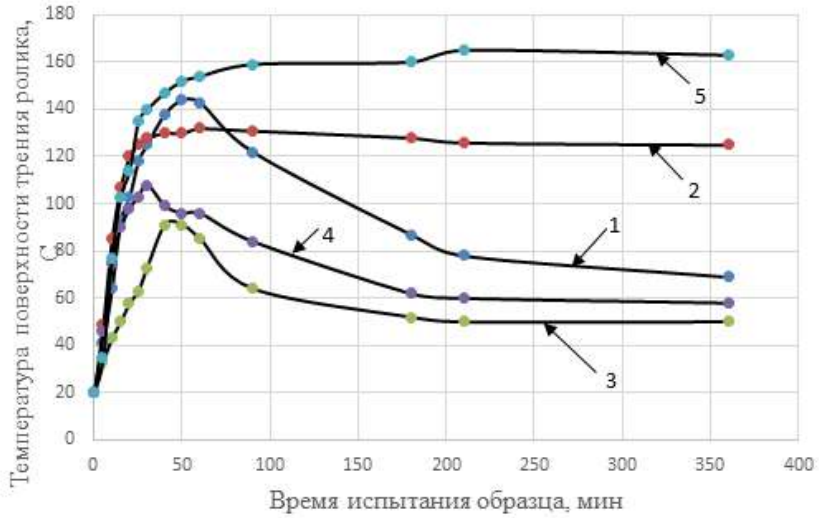


Рисунок 9 – Изменение температуры поверхности ролика от времени испытания моторного масла

В результате оценки изменения суммарного износа колодки, ролика на различных составах масла установлено, что максимальный износ наблюдался в узлах трения, работавших на масле М - 10ДМ, проработавших в двигателе комбайна 200 часов, рисунок 10, образцы № 1 и № 2.

Минимальный износ отмечен у очищенного моторного масла и разработанного состава, соответственно образцы № 3 и № 4. Недостаточно высокими противоизносными свойствами обладает и товарное масло К-17.

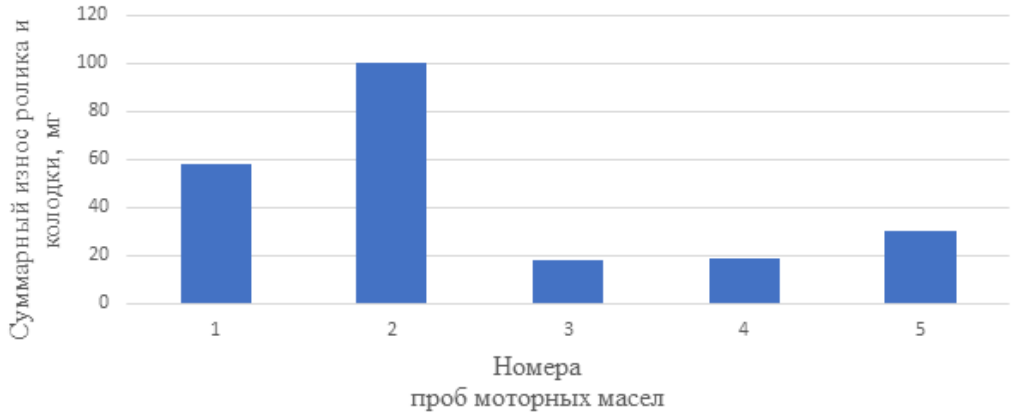


Рисунок 10 – Изменение суммарного весового износа ролика и колодки от различных проб масел

Заключение. В результате проведённых исследований установлено, что моторное масло, отработавшее 200 и более часов в двигателе зерноуборочного комбайна, не рационально использовать в качестве консервационного материала при постановке техники на межсезонное хранение. Очищенное отработавшее моторное масло может рассматриваться в качестве базового масла для получения смазочных материалов, используемых для консервации двигателя с возможностью его кратковременной работы при снятии техники с хранения.

Добавка в очищенное моторное масло полимеризованного рапсового масла и пушечной смазки ПВС повышает смазывающие и защитные свойства состава консервационного масла до уровня товарных смазок, рекомендованных для консервации двигателей в период межсезонного хранения.

Список источников

1. Остриков В.В., Вязинкин В.С., Кошелев А.В., Забродская А.В. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов // Наука в центральной России. 2022. № 3 (57). С. 70-75. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-70-75

2. Терентьев В.В., Андреев К.П., Аникин Н.В., Шемякин А.В., Шпак А.А., Терентьев А.С. Предупреждение разрушения сельскохозяйственной техники при хранении // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 168. С. 1-15. DOI: 10.21515/1990-4665-168-001

3. Мелькумова Т.В. Повышение эффективности мероприятий по подготовке сельскохозяйственной техники к хранению / В сборнике: Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2017. Сборник научных трудов 4-й Международной молодежной научной конференции. В 2-х томах. Ответственный редактор А.А. Горохов. 2017. С. 195-198.

4. Гайдар С.М., Пыдрин А.В., Карелина М.Ю. Технология консервации автотракторных дизелей рабоче-консервационным составом // Техника и оборудование для села. 2014. № 12. С. 18-23.

5. Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Фадеев И.В. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении // Техника и оборудование для села. 2019. № 6 (264). С. 38-42. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-38-42

6. Остриков В.В., Нагдаев В.К., Вигдорович М.В., Афоничев Д.Н., Забродская А.В., Жерновников Д.Н. Проблемы защиты двигателей зерноуборочных комбайнов от износа и коррозии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 2 (73). С. 18-27. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_18

7. Остриков В.В., Вязинкин В.С., Кошелев А.В., Забродская А.В. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов // Наука в центральной России. 2022. № 3 (57). С. 70-75. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-70-75

8. Wanjun He, Qunfeng Zeng, Lei Cheng, Jianing Zhu, Zhao Wang, Jian Zhuang, Xunkai Wei Droplet size dependent localized corrosion evolution of M50 bearing steel in salt water contaminated lubricant oil // Corrosion Science, 30 August 2022, Volume 208 (Cover date: November 2022), Article 110620

9. M. Diaby, P. Singhal, M. Ousmane, M. Sablier, A. Le Négrate, M. El Fassi, V. Zymla Impact factors for the degradation of engine oil causing carbonaceous deposits in the piston's grooves of Diesel engines // FuelMay 2013, Volume 107, Pages 90-101

10. Стебаков В.А. Постановка на хранение зерноуборочной техники / В сборнике: Интеллектуальные системы в аграрном и строительном комплексе. сборник материалов Международной научно-практической конференци. Орел, 2022. С. 194-197.

11. Патент РФ № 2773468 МПК C10M 175/02 Способ очистки отработанных моторных минеральных масел / Остриков Валерий Васильевич, Вигдорович Михаил Владимирович, Вязинкин Виктор Сергеевич, Забродская Алла Владимировна, Нагдаев Владимир Константинович, Кошелев Александр Викторович, Жерновников Дмитрий Николаевич / 2773468 C1, 06.06.2022. Заявка № 2021123711 от 06.08.2021.

References

1. Ostrikov V.V., Vyazinkin V.S., Koshelev A.V., Zabrodskaya A.V. Changes in the characteristics of motor oils in the engines of combine harvesters // Science in Central Russia. 2022. No. 3 (57). pp. 70-75. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-70-75

2. Terentiev V.V., Andreev K.P., Anikin N.V., Shemyakin A.V., Shpak A.A., Terentiev A.S. Prevention of destruction of agricultural machinery during storage // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2021. No. 168. P. 1-15. DOI: 10.21515/1990-4665-168-001

3. Melkumova T.V. Improving the efficiency of measures to prepare agricultural machinery for storage // In the collection: Youth and Knowledge - Guarantee of Success - 2017. Collection of scientific papers of the 4th International Youth Scientific Conference. In 2 volumes. Managing editor A.A. Gorokhov. 2017. S. 195-198.

4. Gaidar S.M., Pydrin A.V., Karelina M.Yu. Technology of conservation of autotractor diesel engines with a working-preservation composition // Machinery and equipment for the village. 2014. No. 12. S. 18-23.

5. Byshov N.V., Borychev S.N., Uspensky I.A., Fadeev I.V. Development of a new tool for the protection of agricultural machines during storage // Machinery and equipment for the village. 2019. No. 6 (264). pp. 38-42. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-38-42

6. Ostrikov V.V., Nagdaev V.K., Vigdorovich M.V., Afonichev D.N., Zabrodskaya A.V., Zhernovnikov D.N. Problems of protection of engines of grain harvesters from wear and corrosion //

Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2022. V. 15. No. 2 (73). pp. 18-27. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_18

7. Ostrikov V.V., Vyazinkin V.S., Koshelev A.V., Zabrodskaya A.V. Changes in the characteristics of motor oils in the engines of combine harvesters // Science in Central Russia. 2022. No. 3 (57). pp. 70-75. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-70-75

8. Wanjun He, Qunfeng Zeng, Lei Cheng, Jianing Zhu, Zhao Wang, Jian Zhuang, Xunkai Wei // Droplet size dependent localized corrosion evolution of M50 bearing steel in salt water contaminated lubricant oil // Corrosion Science, 30 August 2022, Volume 208 (Cover date: November 2022), Article 110620

9. M. Diaby, P. Singhal, M. Ousmane, M. Sablier, A. Le Négrate, M. El Fassi, V. Zymla // Impact factors for the degradation of engine oil causing carbonaceous deposits in the piston's grooves of Diesel engines // FuelMay 2013, Volume 107, Pages 90-101

10. Stebakov V.A. Putting grain harvesting equipment into storage / In the collection: Intelligent systems in the agricultural and construction complex. collection of materials of the International scientific-practical conference. Eagle, 2022. S. 194-197.

11. Method for cleaning used motor mineral oils / Ostrikov Valery Vasilievich, Vigdorovich Mikhail Vladimirovich, Vyazinkin Viktor Sergeevich, Zabrodskaya Alla Vladimirovna, Nagdaev Vladimir Konstantinovich, Koshelev Alexander Viktorovich, Zhernovnikov Dmitry Nikolaevich Patent for invention 2773468 C1, 06.06.2022. Application No. 2021123711 dated 08/06/2021.

Информация об авторах

В.В. Остриков – доктор технических наук, профессор; Д.Н. Жерновников – младший научный сотрудник; А.В. Забродская – научный сотрудник; В.С. Вязинкин – научный сотрудник; В.В. Сафонов – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

V. Ostrikov - Doctor of Technical Sciences, Professor; D. Zhernovnikov - junior researcher; A. Zabrodskaya - researcher; V. Vyazinkin - researcher; V. Safonov - 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): 21.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.892
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-106-114

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ДВИГАТЕЛЯХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ И МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ

Валерий Васильевич Остриков [1]***, Александр Викторович Кошелев*** [2]***,***
Виктор Сергеевич Вязинкин [3]
[1,2,3]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1] viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X

Автор ответственный за переписку: Валерий Васильевич Остриков, viitinlab8@bk.ru
Corresponding author: Valerij Ostrikov, viitinlab8@bk.ru

Реферат. *Моторные масла в процессе работы в двигателях зерноуборочных комбайнов изменяют свои свойства. В них накапливаются загрязнения, продукты окисления масла и сгорания топлива, что требует их своевременной замены. В условиях эксплуатации достаточно сложно установить необходимость замены моторного масла на основании анализа изменения показателей. Для разработки технологии замены масла не по наработке, а по фактическому состоянию необходим анализ изменения характеристик моторного масла, что в конечном результате позволит снизить затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт двигателей машин. На основании результатов проведенных исследований установлено, что вязкость моторного масла М-10Г$_2$ и М-10ДМ за период наработки изменяется незначительно. По мере увеличения наработки щелочное число масел снижалось с 9 мг КОН/г до 3,5-5 мг КОН/г. В результате определения изменения загрязненности моторных масел в период работы комбайнов установлено, что содержание механических примесей, продуктов износа в большей степени зависело от технического состояния комбайна, срока его эксплуатации, соблюдения правил проведения операции технического обслуживания. При проведении исследований подтверждена известная закономерность взаимосвязи изменения цвета моторного масла от содержания примесей (смол) по мере наработки. Температура вспышки в работавших маслах также зависит от технического состояния ДВС, исправности работы топливной аппаратуры. По результатам исследований установлено, что за период выполнения работ зерноуборочным комбайном свойства моторных масел изменились в соответствии с известными закономерностями. Установлено, что срок службы масла до замены может быть увеличен за счет периодического удаления механических примесей и продуктов старения.*

Ключевые слова: двигатель, моторное масло, характеристики изменения свойств, эксплуатация, замена, срок службы.

CHANGING THE CHARACTERISTICS OF MOTOR OILS IN COMBINE HARVESTER ENGINES DURING OPERATION AND OFF-SEASON STORAGE

Valery Ostrikov [1]***, Alexander Koshelev*** [2]***, Viktor Vyazinkin*** [3]
[1,2,3] *All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X

Abstract. *Motor oils in the course of work in the engines of combine harvesters change their properties. They accumulate pollution, products of oil oxidation and fuel combustion, which requires their timely replacement. Under operating conditions, it is quite difficult to establish the need to replace*

engine oil based on an analysis of changes in indicators. To develop an oil change technology based not on operating time, but on the actual state, it is necessary to analyze the change in the characteristics of engine oil, which in the end will reduce the cost of operation, maintenance and repair of machine engines. Based on the results of the studies, it was found that the viscosity of the engine oil M-10G2 and M-10DM does not change significantly over the period of operation. As the operating time increased, the base number of oils decreased from 9 mg KOH/g to 3.5-5 mg KOH/g. As a result of determining the change in the contamination of engine oils during the operation of the combines, it was found that the content of mechanical impurities, wear products, to a greater extent depended on the technical condition of the combine, its service life, and compliance with the rules for the maintenance operation. During the research, the well-known regularity of the relationship between the change in the color of engine oil and the content of impurities (resins) was confirmed as the operating time. The flash point in used oils also depends on the technical condition of the internal combustion engine, the correct operation of the fuel equipment. According to the results of the research, it was established that during the period of work performed by the combine harvester, the properties of motor oils changed in accordance with known patterns. It has been established that the service life of the oil before replacement can be increased by periodically removing mechanical impurities and aging products.

Keywords: engine, engine oil, characteristics of property changes, operation, replacement, service life.

Для цитирования: Остриков В.В., Кошелев А.В., Вязинкин В.С. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов в период эксплуатации и межсезонного хранения // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 62, № 2. С. 106-114. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-106-114.

For citation: Ostrikov V., Koshelev A., Vyazinkin V. Changing the characteristics of motor oils in combine harvester engines during operation and off-season storage // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 62(2): 106-114. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-106-114.

Введение. Период использования зерноуборочных комбайнов является непродолжительным и составляет 1,5 – 3 месяца в году [1,2,3].

Наработка ДВС чаще всего не превышает 200 часов. При этом двигатели работают в жёстких условиях высоких температур, значительных нагрузок, высокой запыленности воздуха [3,4]. Как установлено, в двигателях отечественных комбайнов и комбайнов республики Беларусь используются моторные масла М-10Г2 и М-10ДМ [5,6,7]. До настоящего времени в литературных источниках представлено недостаточно информации об изменении свойств масел в период уборочной кампании.

Результаты и их обсуждение. Исследования проводились на комбайнах «Полесье» в период 2021-2022 г в АО ПЗ «Пригородный» Тамбовской области. Под наблюдение были взяты как комбайны со сроком службы 10 – 15 лет, так и новые комбайны. Во всех двигателях комбайнов использовалось моторное масло М-10Г2 и М-10ДМ российского производства. Вязкость кинематическая за период наработки 200 часов изменилась незначительно (рисунок 1).

Наработка у всех комбайнов к завершению уборки зерновых культур (пшеница, ячмень) составляла от 170 до 200 часов. Вязкость масла в новых комбайнах несколько выше, чем у комбайнов с большим сроком службы, так как вязкость исходного масла М-10ДМ изначально была выше.

Незначительное снижение вязкости у комбайна № 15 объясняется изношенностью топливной аппаратуры и других деталей ДВС комбайна.

Щелочное число моторных масел М-10Г2 и М-10ДМ изменилось в зависимости от наработки в закономерном режиме. С увеличением наработки щелочное число (показатель содержания присадок) снижалось (рисунок 2).

Щелочное число масла М-10ДМ в двигателе комбайна № 17890 изменилось с 9 мг КОН/г до 4,8 мг КОН/г к 200 часам наработки. В то время как в двигателе комбайна с меньшей наработкой № 17858 моторное масло имело значение щелочного числа близкое к 4 мг КОН/г.

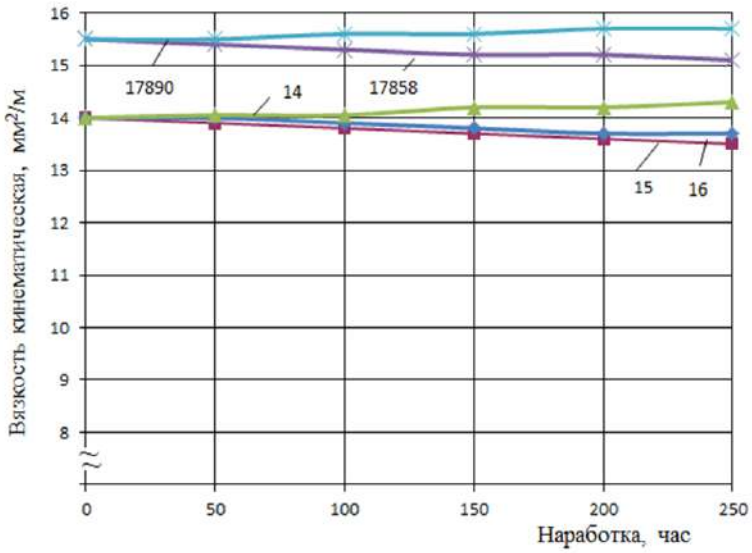


Рисунок 1 – Зависимость изменения вязкости моторных масел от наработки: 14 – комбайн «Полесье» (масло М-10Г2); 15 – комбайн «Полесье» (масло М-10Г2); 16 – комбайн «Полесье» (масло М-10Г2); 17890 – комбайн «Полесье» (масло М-10ДМ) выпуск 2021 г; 17858 – комбайн «Полесье» (масло М-10ДМ) выпуск 2021 г.

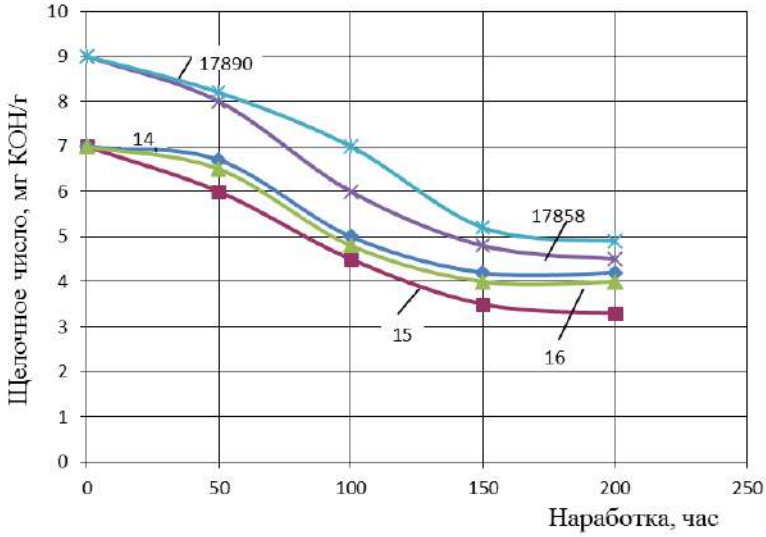


Рисунок 2 – Зависимость изменения содержания щелочного числа от наработки двигателей комбайнов

Щелочное число масла в двигателе комбайнов со сроком эксплуатации более 10 лет находилось к 150 часам наработки в диапазоне 3,5 - 4 мг КОН/г, что объясняется более низким значением данного показателя у исходного масла М-10Г2.

Оценивая значения щелочного числа масла в первом приближении установлено, что после завершения уборочных работ перед постановкой на хранение практически все масла имели запас противоизносных, антиокислительных, антикоррозионных свойств. Содержание механических

примесей в моторном масле чаще всего свидетельствует об износе, происходящем в двигателе внутреннего сгорания. К механическим примесям относят и частицы кварца, попадающие в масло с воздухом с учетом повышенной запыленности, имеющей место при уборочных работах.

Разделить продукты износа и частицы пыли в моторном масле в условиях эксплуатации не представляется возможным. Данный анализ можно осуществлять только в лабораторных условиях, определяя элементный состав масла. В результате физико – химического анализа установлен достаточно широкий диапазон содержания механических примесей в моторных маслах (рисунок 3)

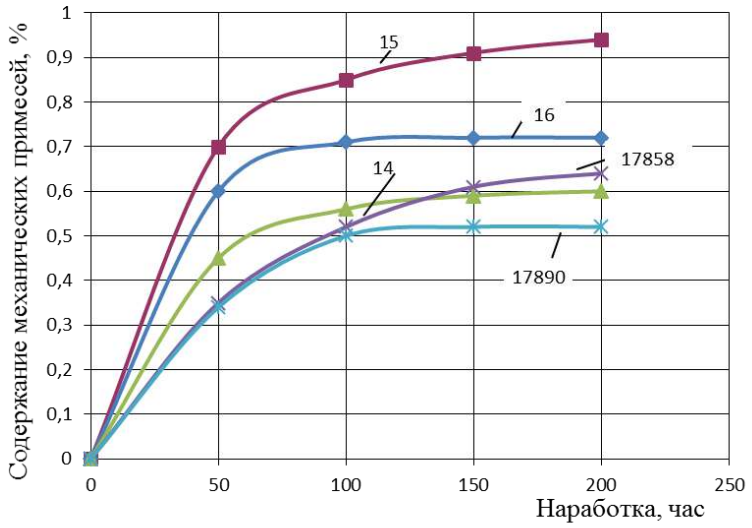


Рисунок 3 - Изменение содержания механических примесей

Моторное масло из двигателя комбайна № 15 имело браковочное значение по содержанию механических примесей уже к 150 часам наработки.

В комбайне первого года эксплуатации № 17858 после 150 часов наработки содержание механических примесей составляло 0,65%, в то время как в масле, работающем в комбайне № 17890, этот показатель был ниже.

Основная масса механических примесей накапливалась в маслах комбайнов № 14, №15, №16 в первые 50-100 часов наработки.

Перед заправкой свежего масла двигатели комбайнов № 14, №15, №16 не промывались. В двигатели новых комбайнов масло заправлялось обслуживающей организацией после того как двигатели проработали обкаточный период в течение 50 часов. Анализ содержания механических примесей в масле после обкатки показал высокое содержание механических примесей. За 50 часов наработки содержание механических примесей составляло 0,25 и 0,43 %.

В результате исследований изменения свойств моторных масел анализировалось изменение цвета масла М-10Г2 и М-10ДМ (рисунок 4). Цвет масла М-10Г2 рассматривался в пробах из двигателя комбайна со значительным (более 10 лет) сроком эксплуатации № 14. Цвет масла М-10ДМ анализировался по пробам, отбираемым из двигателя комбайна 2021 года № 17585.

Установлено, что активное изменение цвета масла наблюдалось уже после первых часов работы (50 часов). Визуально масла имели чёрный цвет и в одном и в другом случае несмотря на то, что комбайн № 14 был заправлен маслом М-10Г2, показатель исходного значения составлял 3 балла в ед. ЦНТ, масло М-10ДМ (комбайн № 17858, 2021 г. Выпуска) имело цвет 5 баллов. К 150 часам наработки цвет масла М-10Г2 и М-10ДМ практически сравнялся.

Содержание нерастворимого осадка в масле свидетельствует о содержании смол, асфальтенов в моторном масле. Данный показатель относительно корреспондируется с кислотным числом

масла и цветом, характеризует процессы горения, температуры, свойств топлива и эффективность работы ДВС, содержание моюще – диспергирующих и антиокислительных присадок в моторном масле.

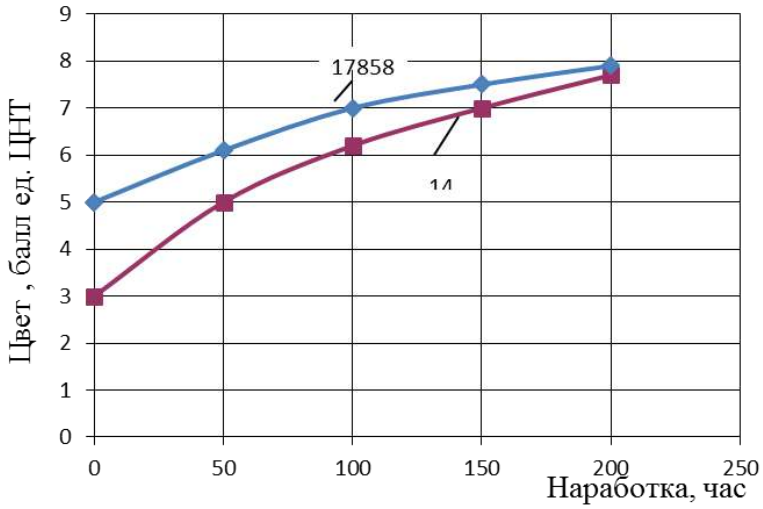


Рисунок 4– Зависимость изменения цвета моторных масел М-10Г2 и М-10ДМ от наработки.

На рисунке 5 представлена динамика изменения содержания нерастворимого осадка в масле М-10Г2 и М-10ДМ, работающих в двигателях зерноуборочных комбайнов «Полесье».

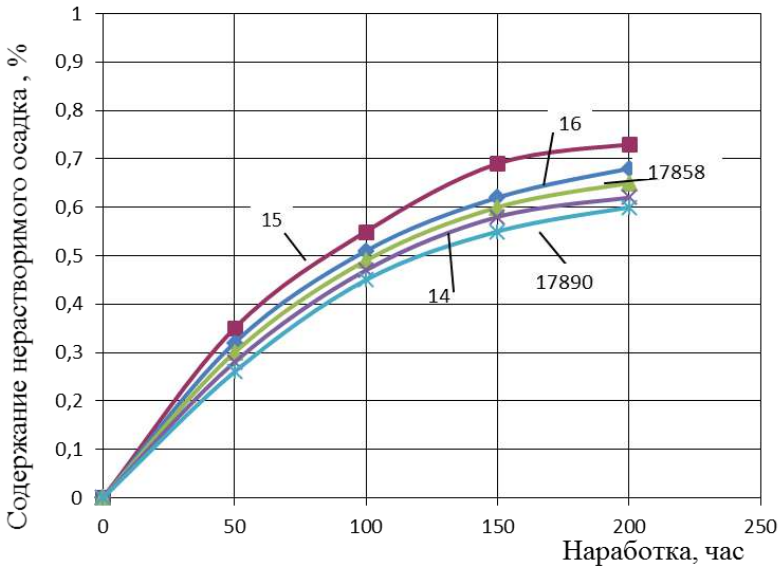


Рисунок 5 - Динамика изменения содержания нерастворимого осадка в моторных маслах М в зависимости от наработки.

Максимальное накопление смол, асфальтенов наблюдается в период 100 часов наработки с 0 до 0,45 %, далее рост продолжается не столь интенсивно.

В масле М-10ДМ содержание нерастворимого осадка меньше на 5…10 % по сравнению с маслом М-10Г2. Данный факт возможно также объяснить большей степенью износа комбайнов №14, № 15, № 16.

Температура вспышки в работавших в двигателях моторных маслах в некоторых комбайнах (в частности №15, № 16) снизилась на 10 – 15 °С, с 220 °С до 205 °С и 210 °С, что свидетельствует о попадании топлива или других известных причин (нарушение в работе топливной аппаратуры и т.д.). В двигателях комбайнов 2021 выпуска № 17890 и комбайне № 14 температура вспышки осталась на уровне товарного масла 220 °С и 230 °С.

Анализируя в целом изменение свойств моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов установлено, что к моменту завершения работ, перед постановкой техники на хранение моторные масла обладали остаточным запасом эксплуатационных свойств.

Вязкость масла находилась в допустимых для рассмотрения работавшего масла в качестве защитной среды для формирования защитной пленки.

Сравнивая вязкость работавших масел 15 – 16 мм2/с и рабоче – консервационного масла К-17 , вязкость которого также составляет 16 мм2/с можно говорить об их аналогичности по данному показателю.

Щелочное число, как неоднократно отмечалось, является косвенным показателем содержания (присутствия) в масле антиокислительных, противокоррозионных и противоизносных присадок.

По результатам проведенных исследований установлено, что, щелочное число масла к моменту окончания работы комбайна находилось в диапазоне 3,5 – 4,5 КОН/г. Преимущественными значениями обладало отработанное 200 часов моторное масло М-10ДМ. Относительно высокое содержание моюще – диспергирующих присадок может свидетельствовать о способности масла, содержащего смолы, мельчайшие механические примеси, удерживать в период хранения техники во взвешенном состоянии частицы загрязнений, тем самым предотвратить их выпадение в осадок на дно масляного картера, увлекая за собой и часть присадок

Содержание механических примесей в работавших маслах находилось в диапазоне от 0,55 % до 0,9 %, что ограничивает дальнейшее использование масла в качестве моторного масла.

Изменение характеристик масел в период их межсезонного хранения может служить основанием для постановки вопроса их замены даже при достаточно высоком запасе эксплуатационных свойств на момент прекращения полевых работ.

В реальных условиях эксплуатации при постановке зерноуборочных комбайнов на хранение отработавшее уборочный сезон масло не сливается. Под наблюдением в период с сентября 2020 года по июнь месяц 2021 года находилось 3 комбайна «Енисей» (№14, 15, 16), в двигателях находилось масло М–10Г2.

Через каждые 3 месяца простоя в маслах определялось щелочное, кислотное число и вязкость. В таблице 1 представлены результаты определения вязкости кинематической в период межсезонного хранения.

Таблица 1–Результаты анализа вязкости кинематической в период хранения

Комбайн «Енисей»	Вязкость кинематическая мм/с^2			
	Постановка на хранение	3 месяца хранения	6 месяцев хранения	9 месяцев хранения
№14	13,6	13,4	13,3	13,3
№15	12,1	11,8	11,8	11,7
№16	13,0	13,0	12,8	12,8

Установлено, что вязкость масла в период простоя техники практически не изменилась.

Щелочное число моторных масле, характеризующее содержание присадок пред постановкой техники на хранение в двух двигателях комбайнов, находилось в эксплуатационных пределах (рисунок 6).

В двигателе комбайна №14 щелочное число масла составляло на момент отбора пробы значение близкое к браковочному.

Масло в двигателе комбайна №14 к моменту постановки на хранение имело значение 2,5 мг КОН/г. Через 9 месяцев простоя щелочное число снизилось до значения 1,85 мг КОН/г, что предположительно является следствием деструкции - выпадения присадок в осадок.

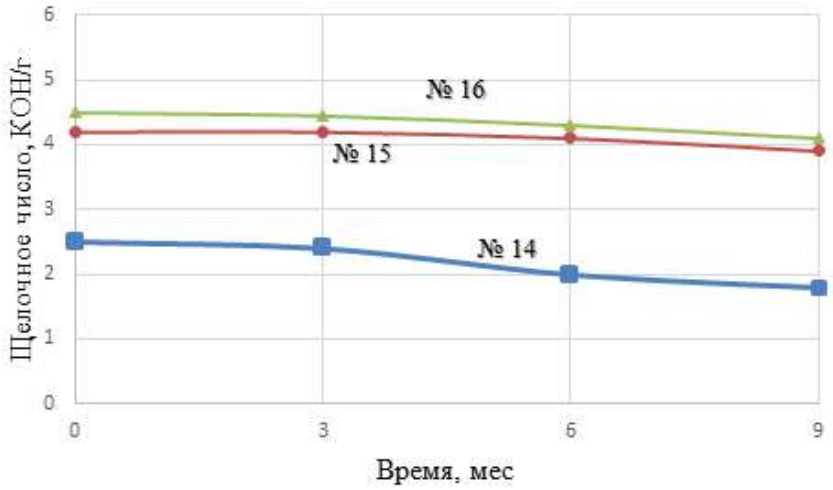


Рисунок 6 – Изменение щелочного числа моторных масел М–10Г2 в двигателях комбайнов

В двигателях комбайнов №15 и №16 масло к завершению периода хранения превышало 4 мг КОН/г, то есть имело определенный запас эксплуатационных свойств. По информации специалистов, эксплуатирующих технику, в двигатели комбайнов №15, №16 к завершению периода работ проводился активный долив угоревшего масла. В период наблюдения за изменением свойств масел (работы комбайнов в 2021 году) в ДВС использовалось дизельное топливо, приобретенное в мае месяце того же года у коммерческой структуры.

Топливо по своим характеристикам соответствовало требованиям ГОСТ 32511–2013 на дизельное топливо летнего сорта (кроме содержания серы – не определялось). На рисунке 7 представлены результаты определения содержания нерастворимого осадка в моторных маслах.

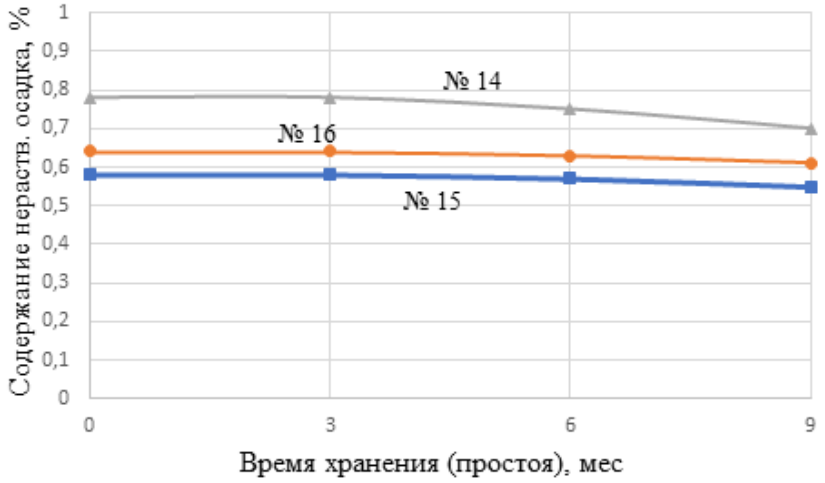


Рисунок 7 – Изменение содержания нерастворимого осадка (смол) в масле в процессе вынужденного простоя (хранения) комбайнов

В результате мониторингового анализа определено, что содержание смол, асфальтенов в маслах в процессе простоя машин изменяется незначительно.

В моторном масле М–10Г2 в двигателе комбайна №14 содержание нерастворимых примесей снизилось до значения менее 0,7%, что корреспондируется со снижением щелочного числа масла (ухудшение диспергирующе-стабилизирующих свойств).

В данном случае произошло незначительное выпадение смолистых загрязнений в осадок на дно масляного картере. Оценивая цвет масла, можно говорить о том, что изменений не происходило, все масла и на момент постановки, и к окончанию периода хранения техники имели черный цвет.

Анализ содержания механических примесей в моторных маслах в период между постановкой комбайнов на хранение и началом следующего уборочного сезона показал их снижение во всех объектах наблюдения (рисунок 8).

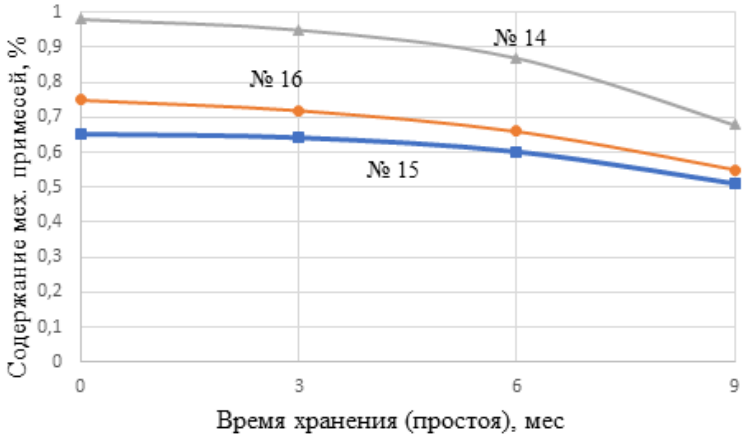


Рисунок 8 – Изменение содержания механических примесей в масле за период вынужденного простоя комбайнов

Установлено, что за период простоя содержание механических примесей в анализируемых маслах снизилось. В процессе длительного простоя некоторая часть механических примесей выпала в осадок. В случае прокручивания двигателя, его пуска возможно возвращение показателя механических примесей к значениям близким к первоначальным (перед постановкой на хранение).

Заключение. По результатам проведенных исследований установлено, что в процессе эксплуатации зерноуборочных комбайнов моторное масло за период наработки 150-200 часов ДВС претерпевает изменения свидетельствующее о необходимости его замены по ряду характеристик. Среди всего комплекса рассмотренных характеристик масла следует выделить загрязненность масла механическими примесями и смолами до предельно допустимых значений.

В результате анализа изменения свойств моторных масел в период межсезонного хранения определено, что накопившиеся загрязнения за период простоя машины способны выпадать в осадок, что предопределяет необходимость промывки системы смазки при проведении операции замены масла в период подготовки техники к новому уборочному сезону.

Список источников

1. Leslie, R. Rudnick. Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology [Текст] Second Edition. 2013. - 445 p.

2. François, Audibert. Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery [Текст] / François Audibert. - Elsevier, 2011, - 340 p.

3. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Белогорский В.В., "Информативность и взаимосвязь показателей качества работающих моторных масел [Текст]," Техника в сельском хозяйстве, № 3, 2008. С. 45-47.

4. Остриков В.В., Нагорнов С.А., Клейменов О.А., Булавин С.А., Стребков С.В. Топливо, смазочные и консервационные материалы [Текст]. Белгород: БГСХА, 2008. 262 с.

5. Петров И.А. Автомобильные масла, смазки, присадки [Текст]. Москва: Машиностроение, 2001. 250 с.

6. Саламин, В.В. Способ определения ресурса работы моторных масел в автотракторных ДВС [Текст] / Саламин, В.В. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2003. - №5. - С. 43 – 44

7. Арабян С.Г., Виппер А.Б., Холомонов И.А. Масла и присадки для тракторных и комбайновых двигателей [Текст]. Москва: Машиностроение, 1984. 207 с.

References

1. Leslie, R. Rudnick. Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology [Текст] Second Edition. 2013. - 445 p.

2. François, Audibert. Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery [Текст] / François Audibert. - Elsevier, 2011, - 340 p

3. Ostrikov V.V., Tupotilov N.N., Belogorsky V.V., "Informativeness and interrelation of quality indicators of working motor oils [Text]," Machinery in agriculture, No. 3, 2008. pp. 45-47.

4. Ostrikov V.V., Nagornov S.A., Kleimenov O.A., Bulavin S.A., Strebkov S.V. Fuel, lubricants and conservation materials [Text]. Belgorod: BGSHA, 2008. 262 p.

5. Petrov I.A. Automobile oils, lubricants, additives [Text]. Moscow: Mashinostroenie, 2001. 250 p.

6. Salmin, V.V. Method for determining the service life of motor oils in automotive internal combustion engines [Text] / Salamin, V.V. // Tractors and agricultural machines. - 2003. - No. 5. - pp. 43-44

7. Arabyan S.G., Vipper A.B., Holomonov I.A. Oils and additives for tractor and combine engines [Text]. Moscow: Mashinostroenie, 1984. 207 p..

Информация об авторах

В.В. Остриков – доктор технических наук, профессор; А.В. Кошелев – младший научный сотрудник; В.С. Вязинкин – научный сотрудник.

Information about the authors

V. Ostrikov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Koshelev - junior researcher; V. Vyazinkin - 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): 21.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 629.3.076
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-115-126

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

***Александр Николаевич Беляев*[1], *Дмитрий Николаевич Афоничев*[2], *Татьяна Владимировна Тришина*[3], *Алексей Евгеньевич Новиков*[4], *Павел Викторович Шередекин*[5], *Ирина Алевтиновна Высоцкая*[6]**
[1,2,3,4]*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж, Россия*
[5]*Институт защиты семян ООО «Сингента», г. Воронеж, Россия*
[6]*Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия*
Министерства обороны Российской Федерации
[1]aifkm_belyaev@mail.ru, [2] dmafonichev@yandex.ru, [3]t.v.trishina@gmail.com, [4]novikov-alexey1@yandex.ru, [5]pavel.sheredekin@syngenta.com, [6]i.a.trishina.gmail.com

Автор ответственный за переписку: Александр Николаевич Беляев, aifkm_belyaev@mail.ru
Corresponding author: Alexander Belyaev, aifkm_belyaev@mail.ru

Реферат. *Поиск конструктивный решений, позволяющих снизить влияние инерционных сил на процесс криволинейного движения машинно-тракторного агрегата при криволинейном движении, является актуальной проблемой, связанной не только со снижением динамических нагрузок на трактор и оборудование, агрегатируемое с ним, но с сохранением устойчивости движения. В качестве объекта исследований выбран круговой беспетлевой поворот. Опытная навесная система разработана для решения поставленных в работе задач. Она отличается от базовой тем, что между навесной рамкой трактора Беларус-1221.2 и навесной рамкой сеялки СТВ-12 установлен упругий элемент из полиуретана, обладающего наиболее подходящими физико-механическими свойствами. Нелинейная аппроксимация массива величин абсцисс и ординат кривой траектории входа в поворот, рассчитанных с помощью параметрического вида уравнений для окружности постоянного радиуса участка установившегося поворота, позволила описать нелинейными функциями явного вида два рассматриваемых этапа теоретической траектории поворота. Анализ массивов теоретических и экспериментальных значений координат кривых траекторий дал постоянное значение коэффициента сдвига теоретической траектории для исследуемых условий эксплуатации агрегата* $k_y = 1{,}12$*, умножением на который явной теоретической функции получена параметрическая функция действительной траектории поворота. Сравнение траекторий показало целесообразность использования упругих элементов в местах сочленения трактора с оборудованием, применение полиуретана приводит к сохранению траектории, так как отклонение действительной траектории от теоретической при базовой комплектации по высоте поворотной полосы на 1,6…2,25 м, а при опытной – на 0,6…1,13 м, длина теоретических кривых при этом равна 8,21…10,82 м, а действительных: с базовой навеской 11,223…12,792 м, с опытной – 9,652…11,854 м. Сравнение результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, показало, что наибольшая их разница не превышает 4 %, что позволяет сделать вывод об их корректности.*

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, траектория, поворот, радиус кривизны, координата, устойчивость движения, функция явного вида, корректирующий коэффициент, навесная система, упругий элемент.*

THE INFLUENCE OF THE RIGIDITY OF THE HINGED SYSTEM ON THE STABILITY OF THE CURVED MOVEMENT OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT

***Alexander Belyaev*[1], *Dmitry Afonichev* [2], *Tatiana Trishina* [3], *Alexey Novikov* [4], *Pavel Sheredekin* [5], *Irina Vysotskaya* [6]**
[1,2,3,4]*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia*
[5]*Institute of Seed Protection LLC «Syngenta», Voronezh, Russia*
[6]*Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air force Academy, Voronezh, Russia*
Ministry of Defence of the Russian Federation
[1]aifkm_belyaev@mail.ru, [2] dmafonichev@yandex.ru, [3]t.v.trishina@gmail.com, [4]novikov-alexey1@yandex.ru, [5]pavel.sheredekin@syngenta.com, [6]i.a.trishina.gmail.com

Abstract. *The search for constructive solutions to reduce the influence of inertial forces on the process of curved movement of a machine-tractor unit during curved movement is an urgent problem associated not only with reducing dynamic loads on the tractor and equipment aggregated with it, but with maintaining the stability of movement. A circular loop-free turn was chosen as the object of research. An experimental hinged system is designed to solve the tasks set in the work. It differs from the basic one in that between the hinged frame of the Belarus-1221.2 tractor and the hinged frame of the STV-12 seeder, an elastic element made of polyurethane is installed, which has the most suitable physical and mechanical properties. Nonlinear approximation of the array of abscissas and ordinates of the turn entry trajectory curve, calculated using the parametric form of equations for a circle of constant radius of the steady turn section, made it possible to describe the two considered stages of the theoretical turn trajectory by explicit non-linear functions. Analysis of arrays of theoretical and experimental values of the coordinates of the curves of the trajectories gave a constant value of the shift coefficient of the theoretical trajectory for the studied operating conditions of the unit 1.12, multiplying by which the explicit theoretical function obtained a parametric function of the actual trajectory of rotation. The comparison of trajectories showed the expediency of using elastic elements at the points of articulation of the tractor with the equipment, the use of polyurethane leads to the preservation of the trajectory, since the deviation of the actual trajectory from the theoretical one with the basic configuration in the height of the turning strip is 1.6... 2.25 m, and with the experimental one – 0.6 ... 1.13 m, the length of the theoretical curves is 8.21...10.82 m, and valid: with a base hitch of 11,223...12,792 m, with an experimental one – 9,652 ...11,854 m. A comparison of the results of theoretical studies with experimental data showed that their greatest difference does not exceed 4%, which allows us to conclude that they are correct.*

Keywords: *machine-tractor unit, trajectory, turn, radius of curvature, coordinate, stability of movement, explicit function, correction factor, hinged system, elastic element.*

Для цитирования: Беляев А.Н., Афоничев Д.Н., Тришина Т.В., Новиков А.Е., Шередекин П.В., Высоцкая И.А. Влияние жесткости навесной системы на устойчивость криполинейного движения машинно-тракторного агрегата // Наука в центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 115-126. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-2-115-126.

For citation: Belyaev A., Afonichev D., Trishina T., Novikov A., Sheredekin P., Vysotskaya I. The influence of the rigidity of the hinged system on the stability of the curved movement of the machine-tractor unit. Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 115-126. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-115-126.

Введение. Тенденция роста посевных площадей сельскохозяйственных культур, например, на 1,4 млн. га в 2022 году в сравнении с 2021 годом, наблюдающаяся в последние годы в Российской Федерации [1], вызывает потребность в технике для возделывания этих угодий, что, в свою очередь, является также фактором стимулирования спроса на качественную сельскохозяйственную технику.

Для возделывания земель используются тракторы с различными вариантами присоединения к ним рабочих агрегатов. Существуют следующие типы почвообрабатывающих машин: прицепные, полуприцепные, навесные. Все указанные виды агрегатов обладают рядом преимуществ и недостатков, однако, как показывает практика, навесные орудия являются наиболее

эффективными в работе. Основными их преимуществами являются: простая конструкция, меньший вес и металлоемкость, высокая маневренность и простота эксплуатации [2].

Однако, применение навесных орудий и увеличение скорости движения машинно-тракторных агрегатов (МТА) на базе колесных тракторов при выполнении рабочих процессов приводит к существенному изменению эксплуатационных характеристик агрегата, которые напрямую влияют на его поворачиваемость при криволинейном движении на поворотной полосе. При агрегатировании сельскохозяйственных машин и орудий на задней навесной системе трактора происходит увеличение инерционных сил, возникающих в ней; эти силы способствуют его смещению с первоначальной траектории движения из-за бокового скольжения и заноса задней оси, вследствие чего увеличивается радиус поворота, расход топлива, количество воздействий оператора на органы управления, ухудшается его психофизическое состояние, происходит более интенсивное уплотнение и распыление почвы, что, в итоге, крайне отрицательно влияет на выполнение технологической операции [3].

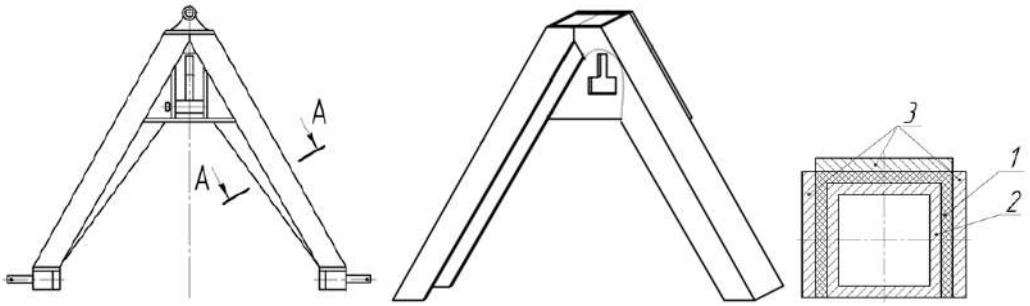
Так как суммарный путь МТА на поворотной полосе может достигать до 30…40 % от всего пути, пройденного трактором по полю [4], то, следовательно, в целях обеспечения необходимого качества выполнения сельскохозяйственных работ, сохранения необходимого уровня ресурсосбережения и улучшения условий труда требуется повышение показателей устойчивости и управляемости трактора.

Одним из путей уменьшения влияния заднего навесного орудия на процесс криволинейного движения МТА является снижение инерционных нагрузок со стороны орудия на трактор [3].

Исходя из вышесказанного, целью настоящей работы является повышение устойчивости МТА при криволинейном движении за счет снижения динамических нагрузок в заднем навесном устройстве.

Ввиду этого задачами исследований являются усовершенствование конструкции заднего навесного устройства за счет применения упругих элементов в местах соединения трактора с орудием, так как именно этот узел является источником передачи различных нагрузок на опорные колеса машины, и теоретическое обоснование влияния предложенных конструктивных изменений на технико-эксплуатационные характеристики МТА.

Результаты и обсуждение. Усовершенствована конструкция задней навесной системы [5], в которой между охватываемой навесной рамкой трактора (рисунок 1а) и охватывающей навесной рамкой орудия (рисунок 1б) размещена прокладка из упругого материала (рисунок 1в) [6]. Прокладка из эластомера *1* установлена на внешних охватываемых поверхностях квадратных труб *2*. Для сохранения качественных показателей упругого материала прокладки, в первую очередь, для предотвращения задиров в момент сочленения трактора и орудия, к ней сверху прикреплены металлические пластины *3* (рисунок 1в).



а) б) в)

а – охватываемая рамка навесной системы; б – охватывающая рамка навесной системы; в – сечение А–А охватываемой рамки навесной системы

Рисунок 1 – Усовершенствованная конструкция задней навесной системы трактора

Указанные конструктивные изменения были внесены в навесную систему трактора Беларус-1221.2, способного выполнять обширный ряд сельскохозяйственных операций и, который

является в настоящее время основной тяговой единицей в сельскохозяйственном производстве Российской Федерации [7].

В качестве упругого материала для изготовления эластичной прокладки использован полиуретан. Предпочтение ему обусловлено его физическими и механическими свойствами, среди которых, кроме того, что он обладает наилучшими характеристиками для гашения вибраций и имеет при необходимых минимальных размерах требуемые для выбранных нагрузочных параметров упругие характеристики, также стоит выделить следующие [8, 9].

1. Высокая абразивная стойкость.
2. Высокая прочность на разрыв.
3. Способность противостоять достаточно высоким нагрузкам.
4. Широкий диапазон твердости.
5. Высокая устойчивость к распространению надрезов.
6. Высокая устойчивость к атмосферным воздействиям – озону, кислороду, влаге, ультрафиолетовой радиации, нагреву.
7. Низкий коэффициент трения.
8. Длительное сохранение рабочих размеров.
9. Возможность практически всех видов механической обработки.

Все эти преимущества позволили сделать вывод, что полиуретан является наиболее подходящим материалом для использования в качестве эластомера в модернизированной навесной системе без каких-либо конструктивных изменений серийной системы.

При проведении полевых работ трактор Беларус-1221.2 способен работать в составе с различными навесными агрегатами: плугом, культиватором, сеялкой и т.д. Так как конструктивные, массово-габаритные параметры культиватора и сеялки во многом совпадают, то, следовательно, условия движения МТА при повороте при этом достаточно близки, и, соответственно, большую часть времени эксплуатации при проведении полевых работ трактор работает в составе указанных агрегатов, поэтому в качестве объекта исследований выбран машинно-тракторный агрегат, составленный по схеме: Беларус-1221.2+СТВ-12 [2, 10].

Очевидно, способ поворота МТА зависит от типа и состава агрегата, агротехнических требований, размеров обрабатываемого участка, но, так как в каждом способе движения на поворотной полосе заложены элементы кругового беспетлевого поворота [2, 4], именно он является объектом наших исследований [11].

Применив методику, изложенную в работах [3, 12, 13, 14], и положив в ее основу классическую формулу для определения теоретического минимального радиуса поворота $R_T = L / \operatorname{tg}\alpha_{cp}$, где L – продольная база машины, м; α_{cp} – средний угол поворота передних управляемых колес, рад. (рисунок 2) [15, 16, 17, 18] получены уравнения параметрического вида для определения теоретических значений абсцисс $x(t)$ и ординат $y(t)$ кривых траекторий движения середины заднего моста, принятого за кинематический центр, при входе в поворот колесной машины:

$$x(t) = -v\int_0^{t_1} \sin\left(\frac{v \ln\cos\omega t_1}{L\omega}\right) dt_1;$$
$$y(t) = v\int_0^{t_1} \cos\left(\frac{v \ln\cos\omega t_1}{L\omega}\right) dt_1, \quad (1)$$

где v – скорость поступательного движения колесной машины, м/с;

ω – угловая скорость поворота передних управляемых колес, рад/с;

t_1 – время движения машины, с.

Нелинейной аппроксимацией расчетных данных уравнений $x(t)$ и $y(t)$ (1) [19, 20] получены функции явного вида и проведена их «склейка» с окружностью постоянного радиуса участка установившегося поворота, что позволило описать два указанных этапа кривых теоретической траектории кругового беспетлевого поворота нелинейными функциями явного вида. Например,

для одного из вариантов эксплуатационных условий и конструктивных параметров, соответствующих техническим характеристикам трактора Беларус-1221.2 [21]: $v = 2{,}556$ м/с, $\omega = 0{,}155$ рад/с, $L = 2{,}78$ м, $\alpha_{cp\,\max} = 0{,}62$ рад. – максимальный средний угол поворота передних управляемых колес, $t_1 = 4$ с – время движения до окончания входа в поворот (рисунок 3, кривая *1*) [19, 20, 22]:

$$y(x) = \begin{cases} 6{,}445x^{0{,}33} - 0{,}085x^{1{,}932}, & x < 3{,}643; \\ 5{,}168 + \sqrt{15{,}163 - (x - 4{,}924)^2}, & x > 3{,}643. \end{cases} \quad (2)$$

Верхнее уравнение в системе (2) относится к участку входа в поворот, нижнее – к участку установившегося поворота.

Радиус кривизны траектории входа в поворот $\rho(x)$, описываемой первой функцией (2), определяется по формуле [19, 20, 22]

$$\rho(x) = \frac{\left(1 + \left[\dfrac{dy(x)}{dx}\right]^2\right)^{1,5}}{\left|\dfrac{d^2y(x)}{dx^2}\right|}. \quad (3)$$

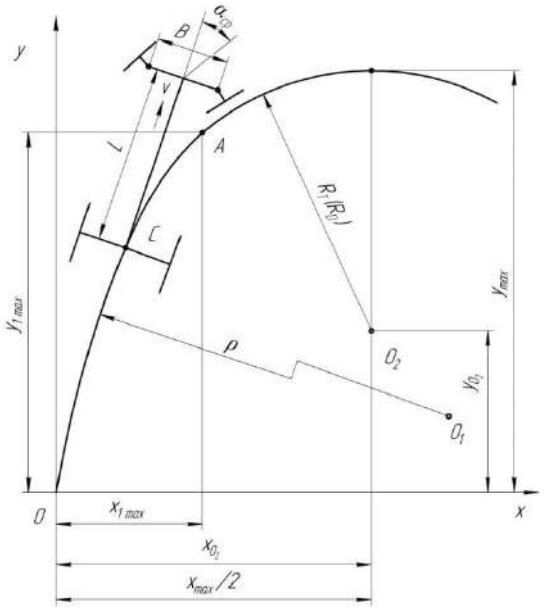


Рисунок 2 – Расчетная кинематическая схема поворота трактора

Для первой функции системы (2) из уравнения (3) имеем

$$\rho(x) = \frac{\left(1 + \left(2{,}127x^{-0.67} - 0{,}164x^{0{,}932}\right)^2\right)^{1,5}}{\left|-1{,}425x^{-1.67} - 0{,}153x^{-0{,}068}\right|}. \quad (4)$$

В уравнении (4) выражение под модулем равное $-1{,}425x^{-1.67} - 0{,}153x^{-0{,}068} < 0$ при $0 < x < 3{,}643$, а поэтому если снять модуль, то знак поменяется на противоположный

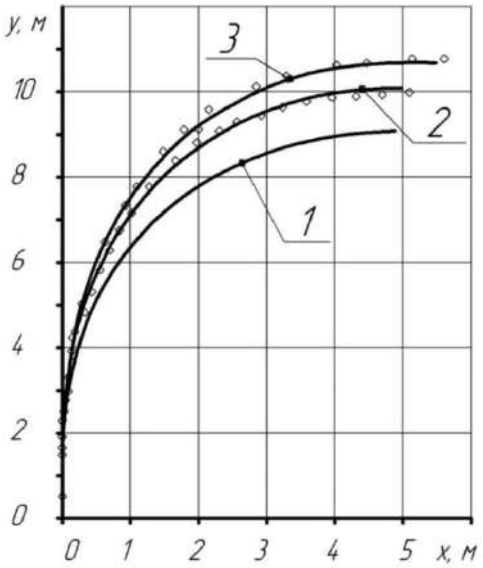
$$\rho(x) = \frac{\left(1 + \left(2{,}127x^{-0.67} - 0{,}164x^{0{,}932}\right)^2\right)^{1,5}}{1{,}425x^{-1.67} + 0{,}153x^{-0{,}068}}. \quad (5)$$

Выражение (5) использовано для определения теоретического радиуса кривизны участка установившегося поворота R_T при максимальном значении абсциссы окончания этапа входа в поворот $x_{1\max} = 3{,}643$ м. Значение максимальной ординаты участка входа в поворот при этом $y_{1\max} = 3{,}846$ м, центр кривизны сопрягаемой с ним окружности лежит в точке с координатами $x_{O2} = 4{,}924$ м, $y_{O2} = 5{,}168$ м, а $R_T = 3{,}899$ м, что практически совпадает со значением $R_T = 3{,}894$ м, полученным расчетом по формуле $R_T = L / \operatorname{tg}\alpha_{cp}$ при $L = 2{,}78$ м и $\alpha_{cp\max} = 0{,}62$ рад., что и должно быть.

Как видно, исследованию подвергается только левая ветвь выбранного вида поворота, для правой ветви траектории поворота (для части участка установившегося поворота и участка выхода из поворота) будем считать траекторию МТА абсолютно «зеркальной» левой ветви, что вполне оправдано, так как при этом происходит переход от более динамически нагруженного состояния к менее нагруженному [3].

При проведении экспериментальных исследований МТА Беларус-1221.2+СТВ-12 с модернизированной навесной системой [6] в реальных условиях эксплуатации с помощью современной высокоточной навигационной системы [23] были получены массивы действительных значений абсцисс и ординат кривых траекторий кинематического центра трактора (рисунок 3, точки, лежащие на кривой *2* или близкие к ней). Опытные заезды, обработка и анализ результатов осуществлялись с соблюдением рекомендаций и соответствующих норм и правил, изложенных в [24, 25], и апробированных [3] на поле с фоном, подготовленным под посев, с типом почвы – выщелоченный чернозем в соответствии с ГОСТ 7057-2001 [26]. Исходя из анализа и сравнения массива экспериментальных данных с массивом теоретических значений абсцисс и ординат (5), для аналитического получения действительной траектории принят корректирующий коэффициент сдвига теоретических траекторий (2) $k_y = 1{,}12$ [19]. При этом уравнение реальной кривой траектории участка входа в поворот для принятых условий принимает следующий вид

$$y_Д(x) = k_y y(x) = 7{,}218x^{0{,}33} - 0{,}095x^{1{,}932}. \quad (6)$$



◊ – экспериментальные точки траекторий поворота,
1 – график аппроксимирующей явного вида функции теоретической траектории поворота,
2 – график аппроксимирующей явного вида функции действительной траектории поворота (опытная навеска), *3* – график аппроксимирующей явного вида функции действительной траектории поворота (базовая навеска)

Рисунок 3 – Траектории поворота трактора при $v = 2{,}556$ м/с, $\omega = 0{,}155$ рад/с

Подставим формулу (6) в уравнение (3), опустим модуль и получим:

$$\rho(x)=\frac{\left(1+\left(2,382x^{-0.67}-0,184x^{0,932}\right)^2\right)^{1,5}}{1,596x^{-1.67}+0,171x^{-0,068}}. \quad (7)$$

Склейка функций (6) и (7) позволила получить аппроксимирующие функции явного вида для двух основных ветвей действительных кривых траекторий кругового беспетлевого поворота (рисунок 3, кривая *2*):

$$y_Д(x)=\begin{cases}7,218x^{0,33}-0,095x^{1,932}, & x<3,643;\\ 6,473+\sqrt{13,221-\left(x-4,959\right)^2}, & x>3,643.\end{cases} \quad (8)$$

Соответствующие (8) максимальные координаты конца участка входа в поворот при завершении данного маневра и центра сопрягаемой с ним окружности $R_Д$ участка установившегося поворота равны соответственно $x_{1\max}=3,643$ м, $y_{1\max}=9,863$ м и $x_{O2}=4,959$ м, $y_{O2}=6,473$ м; действительный радиус поворота – радиус окружности участка установившегося поворота $R_Д=3,636$ м (рисунок 3, кривая *2*).

Проведя аналогичные эксперименты, рассуждения и расчеты для исходных данных: $v=1,86$ м/с, $\omega=0,31$ рад/с, $L=2,78$ м, $\alpha_{cp\max}=0,62$ рад., $t_1=2$ с, получен явный вид функции теоретической траектории:

$$y(x)=\begin{cases}4,625x^{0,333}-0,236x^{1,5}, & x<0,528;\\ 1,974+\sqrt{15,163-\left(x-4,043\right)^2}, & x>0,528.\end{cases} \quad (9)$$

Для функции (9) $x_{1\max}=0,528$ м, $y_{1\max}=3,649$ м; $x_{O2}=4,043$ м, $y_{O2}=1,974$ м; $R_T=3,902$ м (как и в первом случае, имеем практически совпадение с $R_T=3,894$ м, определенным по формуле $R_T=L/\operatorname{tg}\alpha_{cp}$).

При этом анализ массивов теоретических и опытных значений координат траекторий также дал значение $k_y=1,12$ и явная параметрическая функция приняла следующий вид (рисунок 4, кривая *2*):

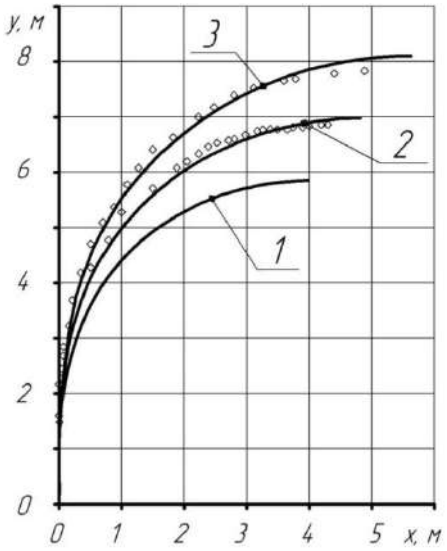
$$y_Д(x)=\begin{cases}5,18x^{0,333}-0,264x^{1,5}, & x<0,528;\\ 2,303+\sqrt{21,953-\left(x-4,845\right)^2}, & x>0,528.\end{cases} \quad (10)$$

Формула для определения радиуса окружности этапа установившегося поворота получена подстановкой первой функции системы (10) в уравнение (3)

$$\rho_1(x)=\frac{\left(1+\left(1,725x^{-0.667}-0,396x^{0,5}\right)^2\right)^{1,5}}{1,15x^{-1.667}+0,198x^{-0,5}}. \quad (11)$$

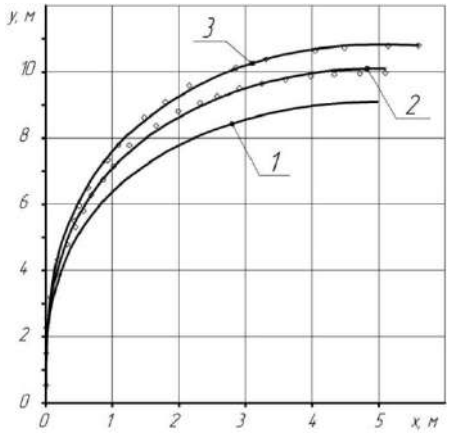
Геометрические параметры кривой траектории (10) следующие (рисунок 4, кривая *2*): $x_{1\max}=0,528$ м, $y_{1\max}=4,124$ м; $x_{O2}=4,845$ м, $y_{O2}=2,3033$ м; $R_Д=4,685$ м (11).

На рисунках 3 и 4 приведены также экспериментальные точки координат кривых траекторий поворота и полученные с использованием вышеизложенной методики аппроксимирующие эти точки графики (кривые *3*) для исследуемого МТА с базовой навесной системой при выбранном для обоих вариантов коэффициенте 1,2. Максимальное отклонение расчетных кривых траекторий по оси ординат от экспериментальных точек составило 0,153 м и 0,214 м (рисунок 3, кривые *2* и *3*), что дает, соответственно, 1,5 % и 2 % погрешности, а по второму варианту (рисунок 4, кривые *2* и *3*) имеем 0,296 м и 0,217 м, то есть 4 % и 2,6 %.



◊ – экспериментальные точки траекторий поворота,
1 – график аппроксимирующей явного вида теоретической функции траектории поворота,
2 – график аппроксимирующей явного вида функции действительной траектории поворота (опытная навеска), *3* – график аппроксимирующей явного вида функции действительной траектории поворота (базовая навеска)
Рисунок 4 – Траектории поворота трактора при $v = 1{,}86$ м/с, $\omega = 0{,}31$ рад/с

Таким образом, для обоих вариантов начально-исходных конструктивных параметров и кинематических характеристик имеем постоянный коэффициент сдвига теоретической траектории при использовании упругого элемента в навесной системе $k_y = 1{,}12$, соответствующий выбранным основным условиям эксплуатации: комплектации агрегата и свойствам опорной поверхности.



◊ – экспериментальные точки траекторий поворота,
1 – график параметрической функции теоретической траектории поворота,
2 – график параметрической функции действительной траектории поворота (опытная навеска),
3 – график параметрической функции действительной траектории поворота (базовая навеска)
Рисунок 5 – Траектории поворота трактора при $v = 2{,}556$ м/с, $\omega = 0{,}155$ рад/с

Адекватность полученных результатов исследований доказывает и тот факт, что умножение на коэффициент $k_y = 1{,}12$ формул параметрических функций (1) и теоретического минимального радиуса поворота ($R_T = L / \operatorname{tg} \alpha_{cp}$) дали графики (рисунок 5), практически совпадающие и с экспериментальными точками кривых траекторий и с соответствующими графиками рисунка 3. При этом получены следующие значения длин соответствующих траекторий полного цикла кругового беспетлевого поворота: по рисунку 3: $l_1 = 21{,}64$ м (кривая *1*), $l_2 = 23{,}708$ м (кривая *2*), $l_3 = 25{,}584$ м (кривая *3*); по рисунку 5: $l_1 = 23{,}194$ м (кривая *1*), $l_2 = 25{,}228$ м (кривая *2*), $l_3 = 27{,}773$ м (кривая *3*), где максимальное расхождение составило не более 7,1 %. Абсциссы $x_{\max}$ и ординаты $y_{\max}$ поворотной полосы в данных случаях отличаются друг от друга, соответственно, в пределах 4 % и 1 % и имеют величины: 9,792 м и 9,08 м (рисунок 3, кривая *1*); 9,95 м и 10,092 м (рисунок 3, кривая *2*); 10,752 м и 10,678 м (рисунок 3, кривая *3*); 9,984 м и 9,094 м (рисунок 5, кривая *1*); 10,232 м и 10,095 м (рисунок 5, кривая *2*); 11,232 м и 10,792 м (рисунок 5, кривая *3*).

Как видно, при использовании базовой навесной системы имеем более значительное, на $\Delta x_{\max} = 0{,}98$ м, $\Delta y_{\max} = 1{,}6$ м (рисунок 3) и на $\Delta x_{\max} = 3{,}3$ м, $\Delta y_{\max} = 2{,}25$ м (рисунок 4) максимальное отклонение для обоих режимов движения МТА от заданной траектории в сравнении с тем же агрегатом с опытной навеской: $\Delta x_{\max} = 0{,}32$ м, $\Delta y_{\max} = 0{,}6$ м (рисунок 3) и $\Delta x_{\max} = 1{,}7$ м, $\Delta y_{\max} = 1{,}13$ м (рисунок 4), что позволит уменьшить площадь поворотной полосы примерно на 12,5…25 %. При этом длина полного цикла изучаемого вида поворота сократилась соответственно на 1,9 м и 3,14 м, что позволит снизить расход топлива трактором.

Также предложенный подход к аналитическому представлению действительной траектории позволяет определить величину бокового отклонения трактора от заданной траектории без проведения очень сложных, материалоемких, трудозатратных и гораздо более дорогостоящих экспериментов по оценке условий качения каждого колеса трактора [27].

Выводы.

1. Так как силовое воздействие на колеса трактора со стороны навесного оборудования передается через продольные тяги, то его уменьшение возможно за счет установки упругих полиуретановых элементов в местах сочленения трактора с оборудованием, что также, в свою очередь позволит устранить асимметрию передачи весовой нагрузки от оборудования на навесное устройство трактора, которое возникает ввиду неплотного прилегания между соединительной рамкой оборудования и треугольником на тракторе, и устранить неравномерное распределение крутящих моментов по колесам.

2. Анализ результатов расчетов по полученным аналитическим функциям явного вида для описания теоретической и действительной кривых траектории поворота трактора подтвердил целесообразность использования упругих элементов в местах сочленения трактора с оборудованием, так как отклонение действительной траектории от теоретической при базовой комплектации по высоте поворотной полосы больше на 1,6…2,25 м, а при опытной – на 0,6…1,13 м, длина траектории поворота при этом уменьшается на 1,9…3,14 м. . Выявленное значение коэффициента сдвига $k_y = 1{,}12$ теоретической траектории от действительной является постоянным для выбранной комплектации агрегата и условий движения.

3. Корректность полученных результатов исследований подтверждается совпадением кривых действительных траекторий, рассчитанных с помощью функций явного и параметрического вида, и выявленными при этом одинаковыми коэффициентами сдвига, и, тем, что наибольшая разница параметров этих кривых не превышает 1…7 %

Список источников

1. Полухин А.А., Латнева Н.А., Парушина Н.В. Анализ рынка зерновых и зернобобовых культур в системе ФГИС «ЗЕРНО» для продовольственной безопасности страны // Зернобобовые и крупяные культуры, 2022. № 4(44). С. 12–23.

2. Спицын И.А. и др. Сельскохозяйственная техника и технологии; под ред. И.А. Спицына. М.: Колос, 2006. 646 с.

3. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колесных тракторов: дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.Н. Беляев. Мичуринск-наукоград, 2019. 440 с.

4. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1974. 430 с.

5. ГОСТ 10677-2001. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6-8. Типы, основные параметры и размеры. Введ. 2004-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 10 с.

6. Патент на полезную модель № 204692 РФ, МПК A01B 61/02. Устройство для навески машин на трактор / А.Н. Беляев, В.Д. Бурдыкин Т.В. Тришина, А.Е. Новиков, И.В. Высоцкая; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. № 2020128722; заявл. 28.08.20; опубл. 07.06.21. Бюл. № 31. 10 с.

7. Автоматизированная справочная система «Сельхозтехника» [Электронный ресурс] / АГРОБИЗНЕС. КОНСАЛТИНГ. Электрон. дан. info@agrobase.ru. Режим доступа: http //www\\ agrobase.ru, свободный. Загл. с экрана.

8. Яковлев С.Н. О некоторых физических свойствах конструкционных полиуретанов // Известия СПБТИ. 2013. № 20. С. 78–80.

9. Яковлев С.Н. Расчет полиуретановых деталей, работающих на сжатие при статической нагрузке // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. № 1(190). 2014. С. 137–142.

10. Кленин Н.И., Киселев С.Н., Левшин А.Г. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 2008. 816 с.

11. Беляев А.Н. и др. Обоснование методики экспериментальных исследований криволинейного движения колесной машины // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции (Россия, Воронеж, 25 февраля 2022 г.). Ч. II. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. С. 168–175.

12. Беляев А.Н., Афоничев Д.Н., Тришина Т.В. Оценка параметров клотоидной траектории входа в поворот колесной машины // Наука в Центральной России. 2022. № 2 (56). С. 30–37.

13. Belyaev A.N., Kozlov V.G., Vysotskaya I.A., Trishina T.V. Computation of Vehicle Motion Path upon Entering Turn // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019. Vol. 9. № 1. P. 4527–4531.

14. Belyaev A.N., Shatsky V.P., Kozlov V.G., Trishina T.V., Vysotskaya I.A. Determination of Theoretical Path of Vehicle Motion upon Cornering // Journal of Applied Science and Engineering. Taiwan. 2022. Vol. 25. № 5. P. 741–747.

15. Скотников В.А., Мащенский А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.

16. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

17. Болотин С.В. и др. Теоретическая механика. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 432 с.

18. Гуськов В.В. Тракторы: теория; под ред. В.В. Гуськов. М.: Машиностроение, 1988. 374 с.

19. Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/14 в математических расчетах. М.: ДМК-Пресс, 2011. 800 с.

20. Дьяконов В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры. М.: ДМК-Пресс, 2009. 1264 с.

21. Беларус-1221.2/1221В.2/1221.3: руководство по эксплуатации. РУП «Минский тракторный завод», 2009. 292 с.

22. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1961. 871 с.

23. Беляев А.Н. и др. Адаптация навигационной системы на тракторе Беларус-1221.2 // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции (Россия, Воронеж, 25 февраля 2022 г.). Ч. I. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. С. 230–236.

24. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. М.: Колос, 1973. 194 с.

25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Сельхозиздат, 1985. 352 с.

26. ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. Введ. 2003-01-0. М.: Изд-во стандартов, 2001. 7 с.

27. Трояновская И.П. Механика криволинейного движения тракторных агрегатов. Челябинск: Издательств Челябинского ГАУ, 2009. 152 с.

References

1. Polukhin A.A., Latneva N.A., Parushina N.V. Analysis of the market of grain and leguminous crops in the FSIS "GRAIN" system for the food security of the country // Grain legumes and cereals, 2022. No. 4(44). pp. 12–23.

2. Spitsyn I.A. etc. Agricultural machinery and technologies; ed. I.A. Spitsyn. M.: Kolos, 2006. 646 p.

3. Belyaev A.N. Improving the efficiency of machine-tractor units based on integral universal row-crop wheeled tractors: dis. … Dr. tech. Sciences: 05.20.01 / A.N. Belyaev. Michurinsk-naukograd, 2019. 440 p.

4. Iofinov S.A. Operation of the machine and tractor fleet. M.: Kolos, 1974. 430 p.

5. GOST 10677-2001. Rear attachment device for agricultural tractors of classes 0.6-8. Types, basic parameters and sizes. Introduction 2004-01-01. M.: Publishing house of standards, 2002. 10 p.

6. Utility model patent No. 204692 RF, IPC A01B 61/02. Device for attaching machines to a tractor / A.N. Belyaev, V.D. Burdykin T.V. Trishina, A.E. Novikov, I.V. Vysotskaya; applicant and patent holder FGBOU VO Voronezh State Agrarian University. No. 2020128722; dec. 08/28/20; publ. 06/07/21. Bull. No. 31. 10 p.

7. Automated reference system "Selkhoztekhnika" [Electronic resource] / AGRIBUSINESS. CONSULTING. Electron. Dan. info@agrobase.ru. Access mode: http //www\\agrobase.ru, free. Title from the screen.

8. Yakovlev S.N. On some physical properties of structural polyurethanes // Izvestiya SPBTI. 2013. No. 20. P. 78–80.

9. Yakovlev S.N. Calculation of polyurethane parts working in compression under static load // Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. No. 1(190). 2014, pp. 137–142.

10. Klenin N.I., Kiselev S.N., Levshin A.G. Agreecultural machines. Agreecultural equipment. M.: Kolos, 2008. 816 p.

11. Belyaev A.N. Substantiation of the methodology for experimental studies of the curvilinear movement of a wheeled vehicle // Trends in the development of technical means and technologies in the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference (Russia, Voronezh, February 25, 2022). Part II. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2022, pp. 168–175.

12. Belyaev A.N., Afonichev D.N., Trishina T.V. Estimation of the parameters of the clothoid trajectory of the entry into the turn of a wheeled vehicle // Science in Central Russia. 2022. No. 2 (56). pp. 30–37.

13. Belyaev A.N., Kozlov V.G., Vysotskaya I.A., Trishina T.V. Computation of Vehicle Motion Path upon Entering Turn // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019 Vol. 9. No. 1. P. 4527–4531.

14. Belyaev A.N., Shatsky V.P., Kozlov V.G., Trishina T.V., Vysotskaya I.A. Determination of Theoretical Path of Vehicle Motion upon Cornering // Journal of Applied Science and Engineering. Taiwan. 2022 Vol. 25. No. 5. P. 741–747.

15. Skotnikov V.A., Mashchenskii A.A., Solonskii A.S. Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and the car. M.: Agropromizdat, 1986. 383 p.

16. Smirnov G.A. Theory of motion of wheeled vehicles. M.: Mashinostroenie, 1990. 352 p.

17. Bolotin S.V. etc. Theoretical mechanics. M.: Publishing Center "Academy", 2010. 432 p.

18. Guskov V.V. Tractors: theory; ed. V.V. Guskov. M.: Mashinostroenie, 1988. 374 p.

19. Dyakonov V.P. Maple 10/11/12/13/14 in mathematical calculations. M.: DMK-Press, 2011. 800 p.

20. Dyakonov V.P. Encyclopedia of Computer Algebra. M.: DMK-Press, 2009. 1264 p.

21. Belarus-1221.2/1221B.2/1221.3: operation manual. Republican Unitary Enterprise "Minsk Tractor Plant", 2009. 292 p.

22. Vygodsky M.Ya. Handbook of higher mathematics. M.: Nauka, 1961. 871 p.

23. Belyaev A.N. Adaptation of the navigation system on the Belarus-1221.2 tractor // Trends in the development of technical means and technologies in the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference (Russia, Voronezh, February 25, 2022). Part I. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2022, pp. 230–236.

24. Vedenyapin G.V. General methodology of experimental research and processing of experimental data. M.: Kolos, 1973. 194 p.

25. Armor B.A. Methods of field experience. M.: Selkhozizdat, 1985. 352 p.

26. GOST 7057-2001. Agricultural tractors. Test methods. Introduction 2003-01-0. M.: Publishing house of standards, 2001. 7 p.

27. Troyanovskaya I.P. Mechanics of curvilinear motion of tractor units. Chelyabinsk: Publishing House of the Chelyabinsk State Agrarian University, 2009. 152 p.

Информация об авторах

А.Н. Беляев – доктор технических наук, доцент; Д.Н. Афоничев – доктор технических наук, профессор; Т.В. Тришина – кандидат технических наук, доцент, А.Е. Новиков – ассистент; П.В. Шередекин – специалист по применению средств защиты семян; И.А. Высоцкая – кандидат физико-математических наук.

Information about the authors

A. Belyaev - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; D. Afonichev - Doctor of Technical Sciences, Professor; T. Trishina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, A. Novikov - assistant; P. Sheredekin - specialist in the use of seed protection products; I. Vysotskaya - Candidate of Physical and Mathematical 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): 18.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 21.04.2023

УДК 621.892
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-127-134

АТОМНО-АБСОРБЦИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗНОСА МОТОРНЫХ МАСЕЛ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ

Владимир Константинович Нагдаев [1]***, Валерий Васильевич Остриков*** [2]***, Александр Викторович Кошелев*** [3]**, Дмитрий *Николаевич Жерновников*** [4]
[1,2,3,4]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[2] viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X

Автор ответственный за переписку: Валерий Васильевич Остриков, viitinlab8@bk.ru
Corresponding author: Valerij Ostrikov, viitinlab8@bk.ru

Реферат. *Содержание металлов износа в моторных маслах позволяет контролировать во времени, как изменение свойств масел, так и исправность узлов двигателя. Анализ закономерности изменения элементного состава масла позволяет оценить эффективность применения промывочных и обкаточных моторных масел, контролировать процесс очистки отработанных масел и изменение свойств масел в двигателях сельхозтехники в период межсезонного хранения. Определение элементов износа (железо, алюминий, медь и хром) проводились на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915М фирмы Люмэкс ООО "Атомприбор". Эффективность обкатки двигателя Д-240 контролировалась по изменению концентрации элементов износа. В состав обкаточного масла входило: 1% масс. карбамида + 0,5% масс. графенового концентрата + 1% масс. олеиновой кислоты - остальное очищенное моторное масло. В качестве атомизатора использовалась графитовая печь с пиро-покрытием, и платформой Львова. На основе очищенного моторного масла М–10ДМ готовилось рабоче-консервационное масло, содержащее дополнительно 6% полимеризованного рапсового масла и 6% пушечной смазки. Растворы проб моторного масла готовились их разбавлением метил-изобутил-кетоном квалификации «хч». Установлено, что промывочное масло, полученное очисткой отработанного масла., эффективно удаляет элементы износа из двигателя. Содержание железа уменьшилось в 2,5 раза, алюминия в 1,5 раза, меди в 5 раз, а хрома - в 3 раза. Определено, что очистка масла гидроксидом аммония и карбамидом более качественно промывает двигатель по сравнению с очисткой смесью изопропанола (3 %) и моно-этаноламина (3 %). Проведены исследования моторных масел в узлах трения комбайнов в сравнительном режиме – в моторном масле перед установкой комбайнов на хранение и после хранения в течении шести месяцев. После обобщения полученных результатов по определению элементов продуктов износа в работавших в двигателях комбайнов моторных маслах, их осаждении в процессе хранения (простоя), сделан вывод о целесообразности замены масел перед постановкой на хранение.*

Ключевые слова: *моторное масло промывочное, обкаточное, отработанное, консервационное, атомно-абсорбционный анализ, элементы износа.*

ATOMIC ABSORPTION METHOD OF CONTROL OF WEAR ELEMENTS OF MOTOR OILS IN VARIOUS APPLICATION CONDITIONS

Vladimir Nagdaev [1]***, Valery Ostrikov*** [2]***, Alexander Koshelev*** [3]***, Dmitry Zhernovnikov*** [4]
[1,2,3,4] *All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X

Abstract. *The content of wear metals in engine oils allow you to control over time both the change in the properties of oils and the serviceability of engine components. An analysis of the pattern of changes in*

the elemental composition of the oil makes it possible to evaluate the effectiveness of the use of flushing and break-in motor oils, to control the process of cleaning used oils and changes in the properties of oils in agricultural machinery engines during the off-season storage period. Determination of wear elements (iron, aluminium, copper and chromium) was carried out on an MGA-915M atomic absorption spectrometer manufactured by Lumex LLC Atompribor. The running-in efficiency of the D-240 engine was controlled by changing the concentration of wear elements. The composition of the break-in oil included: 1% of the mass. urea + 0.5% wt. graphene concentrate + 1% wt. oleic acid - the rest is refined motor oil. A pyro-coated graphite furnace with a Lvov platform was used as an atomizer. A working preservation oil containing an additional 6% polymerized rapeseed oil and 6% gun grease was prepared on the basis of purified M-10DM motor oil. Solutions of engine oil samples were prepared by diluting them with methyl isobutyl ketone, chemically pure grade. Flushing oil obtained by refining used oil has been found to effectively remove wear elements from the engine. The content of iron decreased by 2.5 times, aluminum by 1.5 times, copper by 5 times, and chromium by 3 times. It has been determined that cleaning the oil with ammonium hydroxide and carbamide flushes the engine more efficiently compared to cleaning with a mixture of isopropanol (3%) and mono-ethanolamine (3%). Researches of motor oils in friction units of combines were carried out in a comparative mode - in motor oil before installation of combines for storage and after storage for six months. It is concluded that it is expedient to replace oils before storage after summarizing the results obtained by determining the elements of wear products in motor oils that worked in the engines of combine harvesters, their precipitation during storage (idle time).

Keywords: *washing engine oil, running-in, spent, conservation, atomic absorption analysis, wear elements.*

Для цитирования: Нагдаев В.К., Остриков В.В., Кошелев А.В., Жерновников Д.Н. Атомно-абсорбционный метод контроля элементов износ моторных масел в различных условиях применения // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 62, № 2. С. 127-134. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-127-134.

For citation: Nagdaev V., Ostrikov V., Koshelev A., Zhernovnikov D. Atomic absorption method of control of wear elements of motor oils in various application conditions // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 62(2): 127-134. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-127-134.

Введение. Контроль изменений свойств моторного масла, смазывающего работающие узлы машины, - мощный инструмент раннего выявления неисправностей узлов. Изменения, происходящие в работающем масле, могут служить индикаторами износа конкретных деталей механизма, попадания в него внешних загрязнителей, таких как влага, пыль, топливо, гликоли. В ряде случаях замена масла, по истечении регламентированного интервала, оказывается неоправданной, так как сливать приходится еще пригодное для работы масло.

Идеология анализа эксплуатационного масла отличается от идеологии анализа масла при его производстве. Если при производстве важно обеспечить попадание показателей качества в заданные, заранее известные пределы, то при диагностическом контроле важно следить не столько за абсолютными значениями тех или иных показателей, сколько за изменением этих величин во времени.

В диагностическом контроле к традиционным показателям качества масла, таким как вязкость, температура вспышки, содержание присадок, добавляются новые: общее содержание ферромагнитных загрязнителей и металлов износа, содержание сажи, нитрование, сульфирование, потенциал лакообразования и многие другие [1, 2, 3. 4].

Для более глубокого понимания процессов износа и загрязнения, происходящих в машине, важно иметь максимально полную информацию об элементном составе пробы масла. Эту информацию получают с помощью двух основных методов: атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) либо атомно-эмиссионной спектрометрии на вращающемся дисковом электроде (АЭС-ВДЭ) [5, 6.7]. Каждый из этих методов позволяет одновременно определять содержание более 20 химических элементов в пробе. В случае

определения небольшого числа металлов износа (2-5) целесообразно применение метода атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией (ААС с ЭТА) [8. 9].

Целью работы является оценка эффективности применения промывочных и обкаточных масел, контроль процесса очистки моторных масел и процесса изменения моторных масел в результате хранения сельхозтехники (комбайнов), с проведением элементного анализа на содержание металлов износа методом ААС с ЭТА.

Материалы и методы. Измерения атомного поглощения проводились на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915М фирмы Люмэкс ООО "Атомприбор" (рисунок 1). В качестве атомизатора использовалась графитовая печь с пиро-покрытием, и платформой Львова. Растворы проб моторного масла готовились их разбавлением метил-изобутил-кетоном (МИБК) квалификации «хч» в 20 и 200 раз. Это позволило определять всю группу исследуемых элементов.

Рисунок 1 - Атомно-абсорбционный спектрометр МГА-915М

Результаты и их обсуждение. Эффективность промывочного масла на основе отработанного очищенного масла демонстрируют данные, приведенные в таблице 1. Промывочное масло эффективно удалило элементы износа из двигателя. Содержание железа уменьшилось в 2,5 раза, алюминия в 1,5 раза, меди в 5 раз, а хрома в 3 раза.

Таблица 1 - Результаты атомно-абсорбционного анализа элементов- индикаторов износа в промывочном моторном масле

Элемент	Промывочное масло исходное		Промывочное масло после промывки двигателя	
	мг/л	p.p.m.	мг/л	p.p.m.
Fe	1,96	2,16	4,83	5,31
Al	1,02	1,12	1,61	1,77
Cu	0,04	0,05	0,24	0,26
Cr	0,12	0,13	0,35	0,38

Приготовлены промывочные масла из отработанных моторных масел с различными чистящими реагентами: образец № 1 - отработанное очищенное масло с помощью гидроксида аммония и карбамида и добавлением диметилсульфоксида (2,5%), изопропилата калия (2,5%) и дизельного топлива (2,5%) из двигателя № 1; образец № 2 - отработанное очищенное масло (с помощью изопропанола (3 %) и моно-этаноламина 3 %)) моторное масло с добавлением диметилсульфоксида (2,5 %), изопропилата калия (2,5 %) и дизельного топлива (2,5%) из двигателя №2. Исследовали 2 пробы каждого образца: одну до промывки двигателя (двигателя №1 для первого образца, двигателя №2 – для второго образца), вторую-после. В таблице 2 показаны результаты атомно-абсорбционного анализа этих проб.

Наилучшими промывочными свойствами обладает масло образца №1. Концентрация железа в образце №1 увеличивается в промывочном масле со 130 мг/л до 294 мг/л, а в образце №2 со -138 мг/л до 150 мг/л. Образец №2 в некоторых случаях (алюминий, хром) десорбирует элементы износа и незначительно сорбирует железо и медь. Вероятнее всего, это связано с частичным осаждением алюминия и хрома на поверхностях цилиндропоршневой группы двигателя

Эффективность обкатки двигателя после капитального ремонта оценивали по изменению элементов износа до и после обкатки двигателя. По завершении обкатки двигателя Д-240, слитое

из картера двигателя обкаточное масло, а также образец экспериментального обкаточного масла контролировались на содержание элементов износа: железо, алюминия, меди и хрома [10].

Таблица 2 - Результаты атомно-абсорбционного анализа элементов- индикаторов износа в промывочном моторном масле с различными чистящими агентами

Элемент	Образец	Промывка двигателя	Концентрация	
			мг/л	p.p.m
Железо	№1	до промывки	130,0	143,0
		после промывки	294,9	324,4
	№2	до промывки	138,7	153,7
		после промывки	150,6	165,7
Алюминий	№1	до промывки	54,3	59,8
		после промывки	160,3	176,3
	№2	до промывки	153,1	168,4
		после промывки	80,9	89,0
Медь	№1	до промывки	5,5	6,0
		после промывки	19,1	21,0
	№2	до промывки	4,0	4,4
		после промывки	14,2	15,7
Хром	№1	до промывки	12,9	14,1
		после промывки	20,9	23,0
	№2	до промывки	14,4	15,8
		после промывки	11,4	12,6

Исследовались две пробы масла:

- проба 1 – экспериментальное обкаточное масло до проведения обкатки. Состав отработанного очищенного масла: 1% масс. карбамида + 0,5% масс. графенового концентрата + 1% масс. олеиновой кислоты - остальное очищенное масло;
- проба 2 - экспериментальное обкаточное масло после обкатки в двигателе.

Результаты проведенного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты атомно-абсорбционного анализа элементов- индикаторов износа в обкаточном моторном масле

Элемент	№ пробы	Концентрация	
		мг/л	ppm
Fe	1	5,05	5,51
	2	6,88	7,50
Al	1	0,52	0,57
	2	2,48	2,70
Cu	1	1,13	1,23
	2	3,79	4,14
Cr	1	0,16	0,17
	2	0,99	1,08

Увеличение концентрации железа Fe с 5,05 мг/л до 6,88 мг/л, а также Cr с 0,16 мг/л до 0,99 мг/л в масле свидетельствует о том, что в период обкатки происходила интенсивная приработка сопряжения «кольцо – гильза» (что подтверждается зависимостью изменения средней величины компрессии по цилиндрам), а также поверхностей шеек коленчатого вала, что вызвано вероятнее всего, абразивным действием карбамида в период холодной обкатки. Изменение показателей значений содержания Al с 0,52 мг/л до 2,48 мг/л (почти в 5 раз) а также Cu с 1,13 мг/л до 3,79 мг/л (почти в 3 раза), говорит о высоком качестве приработки поверхностей вкладышей коленчатого вала, то есть за время приработки был снят лишний метал с поверхностей трения [10].

В процессе работы моторных масел в узле трения, как правило, образуются элементы износа трущихся деталей. Чем эффективнее масло, тем, соответственно, данных примесей меньше. Были проведены исследования моторных масел комбайнов до и после хранения в узлах трения. Анализ проводился в сравнительном режиме – в моторном масле перед установкой комбайнов на хранение и после хранения в течении шести месяцев. После завершения этапа производственных испытаний анализировался элементный состав моторных масел. Анализ содержания железа проводился как за период наработки комбайнов в течение 200 часов, в сравнении с исходным маслом М–10ДМ. Пробы масел отбирались из двигателей комбайнов «Полесье» GS-12,18 первого года эксплуатации и более 10 лет использования в условиях АО ПЗ «Пригородный» Тамбовского района Тамбовской области. В таблице 4 представлены результаты определения содержания железа и алюминия в товарном масле М–10ДМ и масле М–10ДМ после 200 часов наработки в двигателе комбайна «Полесье» и этом же масле (работавшем) после его очистки предлагаемым способом.

Таблица 4 – Содержание элементов металлов (железа, алюминия) в моторных маслах

Наименование образца масла	Железо		Алюминий	
	мг/л	ppm	мг/л	ppm
Товарное масло М–10ДМ	0,83	0,91	1,39	1,53
Масло М–10ДМ после наработки 200 часов	26,2	28,82	4,07	4,48
Масло М10–ДМ после 200 часов работы в ДВС и последующей очистки	2,20	2,30	1,05	1,96

В результате спектрального анализа установлено, что содержание железа в масле, проработавшем в двигателе 200 часов, увеличилось более чем в 30 раз, алюминия – почти в 3 раза. Удаление загрязнений разработанным способом из масла позволяет снизить содержание железа и алюминия до значений, приближенных к товарному маслу (на момент его заправки до начала работы двигателя).

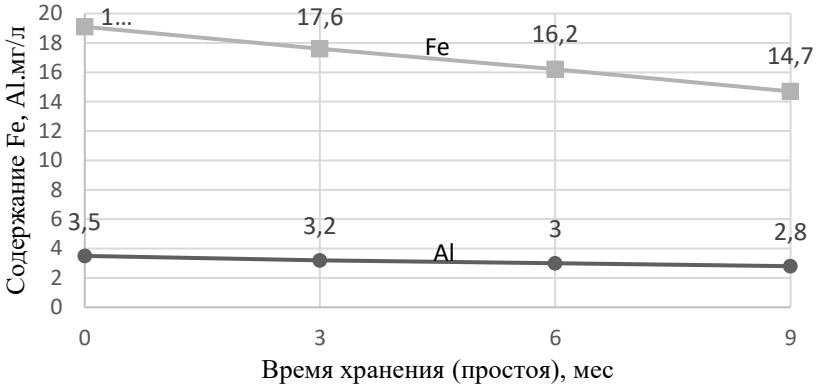
Как отмечалось ранее, содержание железа и алюминия в моторном масле после завершения работ может быть различным в зависимости от технического состояния двигателя и ряда других причин. На основе очищенного моторного масла М–10ДМ готовилось рабоче-консервационное масло, содержащее дополнительно 6 % полимеризованного рапсового масла и 6 % пушечной смазки. В результате определения содержания цинка в предлагаемом составе и товарном рабоче-консервационном масле К–17 установлены некоторые противоречия (таблица 5). Увеличенное содержание цинка в предлагаемом составе, по сравнению с консервационным маслом К–17, для наших условий работы двигателя в ограниченном временном режиме возможно рассматривать как положительный элемент состава. Цинк участвует в формировании защитной пленки, является ингибитором коррозии и используется в составах моторных масел как составляющая, улучшающая противоизносные свойства масел. Цинк является важной составляющей присадки ДФ–11, входящей в составы большинства моторных и трансмиссионных масел

Таблица 5 – Содержание цинка в консервационном масле К–17 и составе масла на основе очищенного отработавшего моторного масла

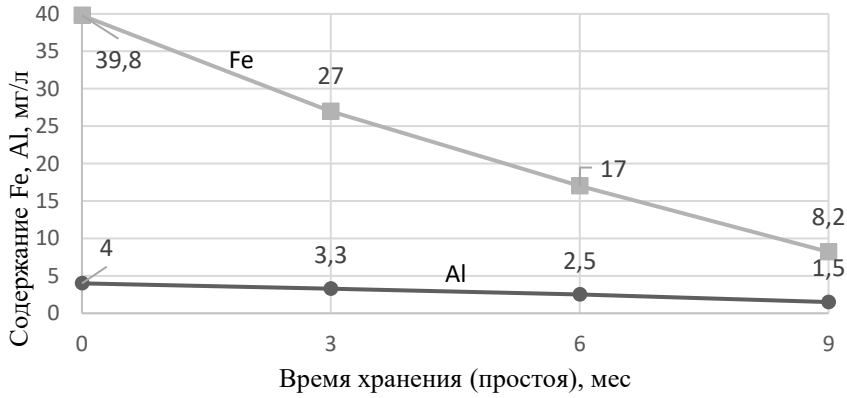
Наименование образца масла	Содержание цинка	
	мг/л	ppm
Масло К–17 (товарное)	4,4	4,8
Очищенного моторное масло М–10ДМ с добавками 6% полимеризованного рапсового масла и 6% ПВК	28,0	30,8

В большей степени представляет научный и практический интерес анализ изменения элементного состава масел по содержанию железа (Fe) и алюминия (Al) в период длительного простоя. Общеизвестно и логично, что по мере наработки содержание железа и алюминия в масле

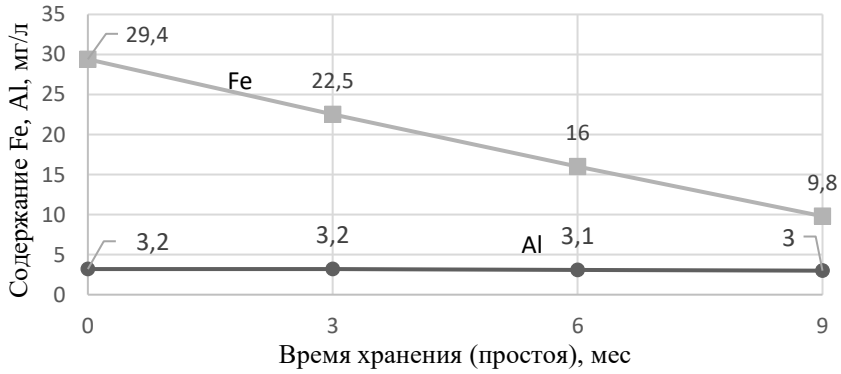
увеличивается. В период простоя техники происходит осаждение некоторой части металлических частиц (рисунок 2).



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Изменение содержания металлов в моторном масле от времени хранения: а) комбайн № 1; б) комбайн № 2; в) комбайн № 3

Анализируя изменение содержания железа и алюминия после завершения периода эксплуатации комбайнов необходимо отметить раличия в количестве продуктов износа в масле и прежде всего железа. Наибольшее количество железа в масле обнаружено в двигателе комбайна №2 и наименьшее в двигателе комбайна №1. В процессе длительного простоя техники

наблюдается общая закономерность -снижения количества железа в масле. В данном случае происходит осаждение металлических частиц на дно картера двигателя. Однако при запуске двигателя часть частиц возвратится в состав масла. В зависимости от плотности осадка в картере с маслом, при сливе и замене масла на свежее не все загрязнения (металлические частицы) удалятся вместе с маслом. Часть их попадает в свежее масло, тем самым интенсифицируется процесс износа деталей цилиндро – поршневой группы.

Рассматриваемая разрабатанная технология консервации ДВС зерноуборочных комбайнов предусматривает очистку работавших моторных масел с последующим использованием в ДВС, что значительно снижает количество загрязнеий и не представляет угрозы при замене состава рабоче-консервационного масла на товарное моторное масло. Для продления сроков службы двигателей комбайнов и снижения износа рассматривалось содержание элементов износа (железа, алюминия) в масле после обкатки комбайна первого года эксплуатации в течение 50 часов, последующей работы комбайна в течение 150 часов и работы комбайна (той-же марки «Полесье» сроком эксплуатации более 10 лет) после 150 часов наработки.В таблице 6 представлены результаты определения содержания металлов в масле для этих комбайнов. Следует отметить, что в период уборочных работ комбайны работали в аналогичных условиях, на одинаковом по составу дизельном топливе и моторном масле М–10ДМ. С увеличением срока эксплуатации комбайна происходит ожидаемое увеличение содержания металлов износа.

Таблица 6 – Содержание частиц износа (железо, алюминия в моторном масле М–10ДМ)

Наименование образца масла	Железо		Алюминий	
	мг/л	ppm	мг/л	ppm
Масло М–10ДМ после обкатки в течение 50 часов в двигателе комбайна «Полесье» первого года эксплуатации	8,7	9,6	1,1	1,2
Масло М–10ДМ комбайна «Полесье» первого года эксплуатации после обкатки и последующей эксплуатации в течение 150 часов	10,5	11,6	1,0	1,1
Масло М–10ДМ комбайна «Полесье» более 10 лет эксплуатации после наработки 150 часов	18,1	17,8	2,6	2,9

В масле в процессе обкатки за период 50 часов работы на холостом ходу содержание железа приближается к периоду работы комбайна под нагрузкой в течение 150 часов.

В целом, обобщая полученные результаты по определению элементов продуктов износа в работавших в двигателях комбайнов моторных маслах, их осаждении в процессе хранения (простоя), следует сделать вывод о целесообразности замены масел перед постановкой на хранение.

Заключение. Представленные результаты применения атомно-абсорбционного метода анализа металлов износа (железо, алюминий, медь и хром) в моторных маслах показывают, что метод позволяет оценить эффективность применения промывочных и обкаточных масел, контролировать процесс очистки моторных масел и процесс изменения моторных масел в результате хранения сельхозтехники (комбайнов).

Список источников

1. Дунаев А.В. Масла как средство диагностирования машин и оборудования // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 6. С. 33-37.

2. Глущенко А.А. Диагностирование двигателя по содержанию продуктов износа в картерном масле // Изв. С.-Петерб. Гос. Аг. Ун-та. - 2015. № 41. С. 241-244.

3. Новиков Е.А., Кирюхин М.В. Анализ масел в процессе их эксплуатации. Неизведанная территория // Аналитика. – 2015. - №3 (22). – С.36 – 47.

4. Владимиров Д.И., Никоноров А.Н. Диагностирование дизелей по соотношению концентраций продуктов изнашивания в работавшем моторном масле // Евразийский научный журнал. - 2016. №10. С. 294-296.

5. Пелипасов О.В., Путьмаков А.Н. Анализ моторных масел с использованием спектрометра «Экспресс» и источника микроволновой плазмы// Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. - №1(85). – С.91 – 95.

6. Кюрегян, С. К. Эмиссионный спектральный анализ нефтепродуктов [Текст] / С. К. Кюгерян. – М.: Химия, 1969. – 296 с.

7. Lundholm A. Determination of trace and major elements in oil by ICP-AES after microwave digestion // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2014. № 9. P. 112–117.

8. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М., Техносфера. 2009. 783 с.

9. Кацков Д.А. Одновременное определение элементов в атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2019 - №1(85). – С.5-17.

10. Остриков В.В., Афанасьев Д.И. Результаты исследований по разработке состава обкаточного масла на базе отработанного масла // Научное обозрение. - 2017. №1. С. 30 – 35.

References

1. Dunaev A.V. Oils as a means of diagnosing machines and equipment // Tractors and agricultural machines. 2015. No. 6. Pp. 33-37.

2. Glushchenko A.A. Engine diagnostics by the content of wear products in crankcase oil // Izv. S.-Petersburg State Ag. Un-ta. 2015. No. 41. Pp. 241-244.

3. Novikov E.A., Kiryukhin M.V. Analysis of oils during their operation. Uncharted territory // Analytics. – 2015. - №3 (22). – Pp.36-47.

4. Vladimirov D.I., Nikonorov A.N. Diagnostics of diesels by the ratio of concentrations of wear products in running engine oil // Eurasian Scientific Journal. 2016. No. 10. Pp. 294-296.

5. Pelipasov O.V., Putmakov A.N. Analysis of motor oils using an Express spectrometer and a microwave plasma source// Factory laboratory. Diagnostics of materials. – 2019. - №1(85). – Pp.91-95.

6. Kyuregyan, S. K. Emission spectral analysis of petroleum products [Text] // S. K. Kyugerian. – M.: Chemistry, 1969. – 296 p.

7. Lundholm A. Determination of trace and major elements in oil by ICP-AES after microwave digestion // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2014. No. 9. P. 112-117.

8. Pupyshev A.A. Atomic absorption spectral analysis. M., Technosphere. 2009. 783 p

9. Katskov D.A. Simultaneous determination of elements in atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization // Factory laboratory. Diagnostics of materials. – 2019 - №1(85). – Pp.5-17.

10. Ostrikov V.V., Afanasyev D.I. Results of research on the development of the composition of the running-in oil based on used oil // Scientific review. - 2017. No. 1. pp. 30-35.

Информация об авторах

В.К. Нагдаев – кандидат химических наук; В.В. Остриков – доктор технических наук, профессор; А.В. Кошелев – младший научный сотрудник; Д.Н. Жерновников – младший научный сотрудник.

Information about the authors

V. Nagdaev – Candidate of Chemical Sciences; V. Ostrikov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Koshelev - junior researcher; D. Zhernovnikov - 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): 14.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.04.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-135-147

ТРУДОЕМКОСТЬ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТЕХНИКИ

Алексей Алексеевич Бородин [1], Юрий Викторович Родионов [2], Александр Егорович Ломовских [3], Василий Сергеевич Январев [4], Евгений Андреевич Деревянко [5], Анастасия Игоревна Скоморохова[6]

[1,3,4,5] *ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Россия*
[3]lomovskih1979@yandex.ru
[4]leader531@rambler.ru
[2,6] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[2]*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[2]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[6]nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X

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

Реферат. *Управление техническим состоянием машинно-тракторного парка, с целью обеспечения его достаточной работоспособности и исправности, предлагается реализовывать на основе научно обоснованной системы ремонта автотракторной техники (АТ). Производственные возможности ремонтного органа, входящего в систему технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) предприятия, по восстановлению вышедшей из строя техники определены теоретическим расчётом таким образом, чтобы ремонтный орган был в состоянии отремонтировать неисправную технику в кратчайшие сроки и в полном объёме. Представлен метод теории массового обслуживания, в котором подробно изложен расчёт критериев системы ремонта предприятия. Рассмотрены два метода расчёта трудоёмкости ремонтных работ при восстановлении АТ, позволяющие определять необходимую производительность ремонтного органа, чтобы обеспечить заданный коэффициент технической готовности парка техники предприятия. Совместная реализация разработанных методов позволит расширить возможности функционирования системы ремонта предприятия, по своевременному восстановлению АТ, в зависимости от количества вышедшей из строя АТ, а также выработать теоретические основы и практические рекомендации, которые обеспечат руководству предприятий и их ремонтным органам возможности решать различные задачи. Они позволят по данным о вышедшей из строя техники определять требующееся количество и состав ремонтных бригад, данные о которых позволят определять возможности ремонтного органа по восстановлению техники за различные промежутки времени. По данным о количестве ремонтных бригад, их составу, имеющемуся выходу техники из строя предполагается определять время, за которое она будет восстановлена; По данным о количестве подлежащей ремонту техники и желаемой продолжительности выполнения работ предполагается определять требующееся количество и состав ремонтных бригад для её восстановления; оптимальные условия, когда рационально перевозить технику в ремонтный орган, или, наоборот, ремонтную бригаду к месту стоянки вышедшего из строя образца; определять состав требующихся для выполнения ремонтных работ технических средств.*

Ключевые слова: *коэффициент технической готовности, трудоёмкость, ремонтная бригада, статистический метод, система массового обслуживания, поток отказов, очередь на обслуживание.*

LABOR-INDUSTRY OF REPAIR WORKS DURING RESTORATION OF EQUIPMENT

***Alexey Borodin*[1], *Yuri Rodionov*[2], *Alexandr Lomovskih*[3], *Vasiliy Yanvarev*[4], *Evgeniy Derevyanko*[5], *Anastasia Skomorokhova*[6]**

[1,3,4,5] *Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia*

[3]lomovskih1979@yandex.ru

[4]leader531@rambler.ru

[2]*Tambov state technical university, Tambov, Russia*

[2,6]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*

[2]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555

[6]nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X

Abstract. *The management of the technical condition of the machine and tractor fleet, in order to ensure its sufficient performance and serviceability, is proposed to be implemented on the basis of a scientifically based system for the repair of automotive equipment (AT). The production capabilities of the repair body, which is part of the maintenance and repair (M&R) system of the enterprise, for the restoration of failed equipment are determined by theoretical calculation in such a way that the repair body is able to repair faulty equipment as soon as possible and in full. The method of the theory of queuing, which details the calculation of the criteria for the repair system of an enterprise, is proposed. Two methods for calculating the labor intensity of repair work during the restoration of AT, which make it possible to determine the necessary performance of the repair body in order to provide a given coefficient of technical readiness of the enterprise's fleet of vehicles, are considered. The joint implementation of the developed methods will expand the capabilities of the enterprise repair system, for the timely restoration of AT, depending on the number of failed AT, as well as develop theoretical foundations and practical recommendations that will provide the management of enterprises and their repair bodies with the ability to solve various problems. They will allow, according to the data on the failed equipment, to determine the required number and composition of repair teams, the data on which will make it possible to determine the capabilities of the repair body to restore equipment for various periods of time. Based on the data on the number of repair teams, their composition, and the existing failure of equipment, it is supposed to determine the time during which it will be restored. Based on the data on the number of equipment to be repaired and the desired duration of the work, it is supposed to determine the required number and composition of repair teams for its restoration; optimal conditions when it is rational to transport equipment to a repair body, or, conversely, a repair team to the parking lot of a failed sample; determine the composition of the technical means required for the repair work.*

Keywords: *technical readiness coefficient, labor intensity, repair team, statistical method, queuing system, failure flow, service queue.*

Для цитирования: Бородин А.А., Родионов Ю.В., Ломовских А.Е., Январев В.С., Деревянков Е.А., Скоморохова А.И. Трудоемкость ремонтых работ при восстановлении техники // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 62, № 2. С. 135-147. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-135-147.

For citation: Borodin A., Rodionov Yu., Lomovskih A., Yanvarev V., Derevyanko E., Skomorokhova A. Labor-undustry of repair works during restoration of equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 135-147. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-135-147.

Введение. Интенсивная эксплуатация современного машинно-тракторного парка (МТП), представляющего собой совокупность автотракторных средств (АТС), энергетических средств (ЭС), вспомогательных устройств и др., приводит к выходу их из строя, что в свою очередь отражается на сроках и качестве выполнения задач, стоящих перед сельскохозяйственным предприятием (СХП). Для своевременного и успешного достижения стоящих перед СХП задач, техническая готовность МТП должна находиться на достаточно высоком уровне, что

подразумевает создание эффективно функционирующей системы технического обслуживания и ремонта.

Таким образом, управление техническим состоянием АТС, ЭС и др. в сельском хозяйстве осуществляется на базе научно обоснованной системы технического обслуживания и ремонта, позволяющей обеспечивать достаточную работоспособность и исправность машин.

Комплексная система технического обслуживания и ремонта МТП предназначена для решения следующих основных задач.

1) Повышение производительности труда в сельском хозяйстве и увеличение производства продукции на основе обеспечения надлежащей технической готовности машин (в том числе тракторов) при минимальных трудовых и денежных затратах на эти цели.

2) Улучшение организации и повышение качества работ по техническому обслуживанию и ремонту АТС, обеспечение их надлежащей сохранности и продления сроков их службы.

3) Оптимизация структуры и состава ремонтно-обслуживающей базы (РОБ), ее сбалансированного развития в условиях современного агропромышленного комплекса (АПК).

4) Ускорение научно-технического прогресса при эксплуатации МТП.

Ремонтно-обслуживающая база предназначена для проведения ремонта и технического обслуживания машин, при наличии необходимых средств технического оснащения и обслуживающего персонала.

Техническое оснащение РОБ включает совокупность соответствующего оборудования, приспособлений и инструмента, предназначенных для механизации процессов ремонта и технического обслуживания машин предприятия. Ремонтно-обслуживающая база должна соответствовать техническому уровню машин и полностью удовлетворять потребности в техническом обслуживании и ремонте (ТО и Р) при минимальных затратах труда и средств [1].

Материалы и методы. Производственные возможности ремонтного органа, входящего в систему ТО и Р предприятия, по восстановлению вышедшей из строя техники должны быть определены с таким расчётом, чтобы ремонтный орган был в состоянии отремонтировать неисправную технику в кратчайшие сроки и в полном объеме. Изложению решения данного вопроса посвящена настоящая статья.

1. Определение количества и состава ремонтных бригад статическим методом. Производственные возможности ремонтного органа определяются их производительностью – количеством выполненных ремонтов за определенное календарное время $T_{\text{к}}$ (сутки, неделю, месяц, год).

Производительность специалиста-ремонтника, ремонтной бригады и отделения, мастерской или ремонтного органа это их возможности по выполнению определённого объема (перечня) ремонтных работ за единицу времени. Численно производительность равна количеству выполняемых ремонтных операций или работ в единицу времени. Следовательно, по определению производительность есть интенсивность ремонтов μ.

Производительность как характеристика ремонтного органа определяется уровнем квалификации специалистов-ремонтников, структурой построения технологического процесса и обеспеченностью каждого рабочего места, ремонтного участка и ремонтного органа всем необходимым для успешного выполнения работ [2–6]. Она характеризует достигнутый организационно-технический уровень и качество технологического процесса производства ремонта, а также возможности ремонтного органа по выполнению восстановительных работ на неисправной технике.

Для восстановления работоспособности техники в каждом конкретном случае назначается ремонтная бригада. Состав ремонтной бригады определяется на основе данных о трудозатратах на производство данного вида ремонта.

Зная трудоемкость выполнения текущего ($T_{\text{тр}}^{\text{т}}$), среднего ($T_{\text{тр}}^{\text{с}}$) и капитального ($T_{\text{тр}}^{\text{к}}$) ремонтов, можем определить необходимое количество специалистов-ремонтников для выполнения данного вида ремонта: $N_{\text{рем}}^{\text{т}}$ – на текущий ремонт, $N_{\text{рем}}^{\text{с}}$ – на средний ремонт, $N_{\text{рем}}^{\text{к}}$ – на капитальный ремонт) по формуле:

$$N^{i}_{\text{рем}} = \frac{T^{i}_{\text{тр}}}{t_{\text{рд}} \cdot K_{\text{рс}} \cdot Д \cdot \eta_{\text{рв}}}, \quad (1)$$

где $i = \text{т, с, к}$ – индексы текущего, среднего и капитального ремонтов; $T^{i}_{\text{тр}}$ – трудоемкость текущего, среднего и капитального ремонтов соответственно; $t_{\text{рд}}$ – продолжительность рабочего дня одной смены; $K_{\text{рс}}$ – планируемое количество смен для выполнения работ в течение одних суток; Д – число рабочих суток (дней), отводимых на выполнение работ согласно плану; $\eta_{\text{рв}}$ – коэффициент потерь рабочего времени за одну смену.

Распределение привлекаемых для выполнения работ ремонтников по специальностям в составе ремонтной бригады определяется по формуле:

$$N_{\text{рем}\,j} = N^{i}_{\text{рем}} \cdot C_j, \quad (2)$$

где $N^{i}_{\text{рем}}$ – количество ремонтников в i-й ремонтной бригаде, которое определяется по формуле (1); C_j – коэффициент, учитывающий ту часть общих трудозатрат в %, которую выполняют ремонтники *j*-й специальности; $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ – номера индексов коэффициента C_j, показанные в таблице 1.

Распределение трудозатрат по видам ремонтных работ, выполняемых на технике, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение трудозатрат по видам ремонтных работ, выполняемых на технике

№ п/п	Наименование видов ремонтных работ	Обозначение коэффициента C_j	% трудозатрат
1	Механические и слесарные работы	C_1	25
2	Кузнечные, правочные и газосварочные работы	C_2	15
3	Ремонт блоков, узлов и агрегатов	C_3	25
4	Электротехнические и электромеханические работы	C_4	15
5	Настройка и стыковка блоков, узлов и агрегатов специального оборудования в целом	C_5	15
6	Вспомогательные, подготовительные и регулировочные работы	C_6	5
		Итого:	100%

Число включаемых в состав ремонтной бригады вспомогательного рабочего и административно-хозяйственного персонала в каждом конкретном случае определяется начальником ремонтного органа.

Количество текущих $N^{\text{т}}_{\text{рв}}$, средних $N^{\text{с}}_{\text{рв}}$, капитальных $N^{\text{к}}_{\text{рв}}$ ремонтов, которое может выполнить данный ремонтный орган за время $\overline{T}_{\text{рв}}$, определяется по формуле:

$$N^{i}_{\text{рв}} = \mu_i \cdot \overline{T}_{\text{рв}} = \frac{\overline{T}_{\text{рв}}}{T^{i}_{\text{цр}}}, \quad (3)$$

где $i = \text{т, с, к}$ – индексы видов ремонтов; $\overline{T}_{\text{рв}}$ – среднее время ремонта; $N^{i}_{\text{рв}}$ – количество текущих, средних, капитальных ремонтов, которое может выполнить за время $T_{\text{рв}}$ ремонтный орган (ремонтная бригада), обладающий производительностью (интенсивностью ремонтов), равной μ_i.

Если во время эксплуатации вышла из строя и требует текущего, среднего, капитального ремонтов $N^{i}_{\text{АТ}}$ например, автотракторная техника (АТ), то для их восстановления потребуется $n^{i}_{\text{рб}}$

ремонтных бригад. Так как одна ремонтная бригада может отремонтировать $N^i_{\text{рв}}$ автотракторной техники, то $n^i_{\text{рб}}$ смогут отремонтировать $n^i_{\text{рб}} \cdot N^i_{\text{рв}} = N^i_{\text{АТ}}$. Следовательно, с учетом (3), получим:

$$n^i_{\text{рб}} = \frac{N^i_{\text{АТ}}}{N^i_{\text{рв}}} = \frac{N^i_{\text{АТ}}}{T_{\text{рв}} \cdot \mu_i}, \quad (4)$$

Состав каждой ремонтной бригады определяется по формулам (1) и (2).

Уравнения (1) – (4) позволяют определять:

- необходимое число ремонтных бригад для выполнения ремонта $N^i_{\text{АТ}}$ по заданным $\overline{T}_{\text{рв}}$ и μ_i;

-продолжительность времени $\overline{T}_{\text{рв}}$ выполнения ремонта $N^i_{\text{АТ}}$ по заданным $n^i_{\text{рб}}$ и μ_i.

Предложенные расчетные формулы основаны на статистических нормах затрат времени на производство ремонтных работ. При выводе этих формул не учитывалась динамика поступления АТ в ремонт и динамика функционирования системы ремонта. Поэтому полученные по приведенным формулам данные являются первым приближением и рекомендуются для проведения технических расчетов при оценке возможностей ремонтного органа по восстановлению неисправной (требующей ремонта) АТ.

2. Определение количества и состава ремонтных бригад методами теории массового обслуживания. Процесс эксплуатации АТ предприятием характеризуется множеством случайных, меняющихся по произвольным законам, условий и потоков событий, основными из которых являются:

- потоки отказов элементов, из которых изготовлена АТ;
- изменение метеоусловий, которые оказывают влияние на надежность работы АТ;
- различная профессиональная подготовка механиков и водителей;
- различная степень специального оборудования и различных условий расположения АТ на местности;
- различные условия работы и обеспеченность предприятия и его ремонтного органа всем необходимым для восстановления неисправной АТ и многие другие [7].

Совокупность всех этих случайных событий и условий придает всем процессам работы предприятия вероятностный характер, и для оценки происходящих во времени этих процессов, в том числе, работы по восстановлению АТ, наиболее приемлемы вероятностные оценки.

Существующая система ремонтного органа предприятия по характеру протекающих в них процессов смены состояний являются типичными системами массового обслуживания (СМО). Обслуживающими аппаратами при выполнении восстановлений АТ являются ремонтные органы и отдельные ремонтники. Входящими потоками требований в эти СМО являются потоки отказов и эксплуатационных неисправностей АТ. Выходящие из системы потоки составляют отремонтированные узлы, агрегаты, механизмы и АТ в целом.

Система ремонта предприятия является пуассоновской СМО. По своей структуре она является замкнутой СМО, так как источники требований на ремонт АТ входят в состав самой системы, и интенсивность потока требований зависит от состава обслуживаемой группы АТ (трактор, автомобиль и др.).

Автотракторная техника или ее отдельные части, как элементы СМО, могут находиться в одном из трех состояний (рисунок 1): рабочем, в очереди на обслуживание (на ремонт), на обслуживании (на ремонте).

При исследовании модели замкнутой СМО принимаем, что группа АТ состоит из $N_{\text{АТ}}$ автотракторной техники.

Характеристиками качества замкнутых СМО являются следующие показатели:

а) коэффициент технической готовности группы АТ, или вероятность того, что АТ находится в исправном состоянии:

$$K^{\text{г}}_{\text{тг}} = 1 - \frac{\overline{r} + \overline{s}}{N_{\text{АТ}}} = 1 - \frac{\overline{N}_{\text{пр}}}{N_{\text{АТ}}}, \quad (5)$$

где $\overline{N}_{\text{ор}} = \overline{r}$ – среднее число АТ в очереди на ремонт; $\overline{N}_{\text{нр}} = \overline{s}$ – среднее число АТ на ремонте; $\overline{N}_{\text{пр}} = \overline{r} + \overline{s}$ – количество неисправной АТ.

б) коэффициент простоя АТ в неисправном состоянии, или вероятность ее неисправного состояния (нахождения в ремонтном органе):

$$\varepsilon_{\text{с}} = \frac{\overline{r} + \overline{s}}{N_{\text{АТ}}} = 1 - K_{\text{тг}}^{\text{г}} . \quad (6)$$

в) вероятность того, что АТ находится в очереди на ремонт:

$$\varepsilon_{\text{о}} = \frac{\overline{r}}{N_{\text{АТ}}} = \frac{N_{\text{ор}}}{N_{\text{АТ}}} . \quad (7)$$

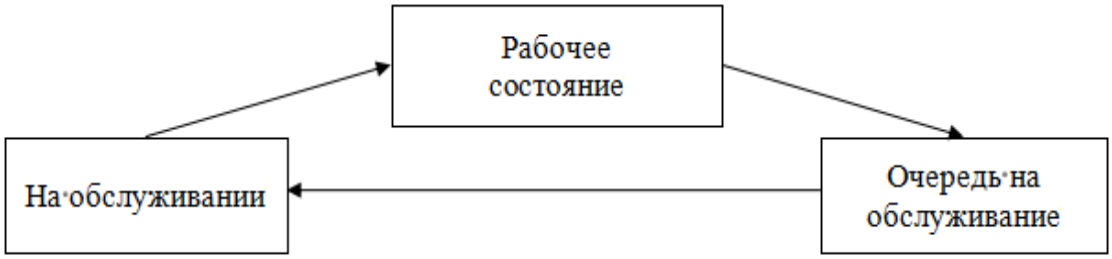


Рисунок 1 – Модель замкнутой системы массового обслуживания

Система ремонта может находиться в следующих состояниях: работы – при производстве ремонта, простоя – при отсутствии требований на ремонт.

Производственные возможности системы ремонтного органа предприятия на практике оцениваются следующими показателями [4]:

а) коэффициентом, или вероятностью, простоя АТ в очереди на ремонт $\varepsilon_{\text{о}}$, который определяется по формуле (7);

б) коэффициентом, или вероятностью, простоя ремонтного органа (ремонтной бригады, мастерской, отдельного ремонтника) без работы $\varepsilon_{\text{б}}$, который равен отношению среднего числа простаивающих бригад $\overline{n}_{\text{р б пр}}$ без работы к их числу $n_{\text{р б}}$ в данной системе ремонта:

$$\varepsilon_{\text{б}} = \frac{\overline{n}_{\text{р б пр}}}{n_{\text{р б}}} . \quad (8)$$

При выводе аналитических зависимостей для оценки эффективности функционирования системы ремонта предприятия полагаем, что вся АТ имеет примерно равные (сравнимые по величине) интенсивности отказов и эксплуатационных неисправностей $\lambda_{\text{э н}}$. Тогда суммарная интенсивность эксплуатационных неисправностей АТ в группе определяется по формуле:

$$\Lambda_{\text{э н}} = (N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}})\lambda_{\text{э н}} , \quad (9)$$

где $N_{\text{пр}}$ – текущее значение количества АТ, имеющей неисправности.

Производительность всей системы ремонта μ_{Σ} определяется через производительность одной, взятой за эталон, ремонтной бригады по формуле:

$$\mu_{\Sigma} = n_{\text{р б}} \cdot \mu , \quad (10)$$

где $n_{\text{р б}}$ – число ремонтных бригад; μ – интенсивность ремонтов одной ремонтной бригады.

При этих условиях работа такой системы ремонта, как замкнутая СМО, описывается следующей системой алгебраических уравнений:

$$\left.\begin{array}{c} N_{\text{АТ}} \cdot \lambda \cdot P_{\text{о}} = \mu \cdot P_1; \\ [(N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}}) \cdot \lambda + \mu \cdot N_{\text{пр}}] \cdot P_N = (N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}} + 1) \cdot \lambda \cdot P_{N-1} + (N_{\text{пр}} + 1) \cdot \mu \cdot P_{N-1} \\ \text{при } 0 < N_{\text{пр}} < n_{\text{р б}}; \\ [(N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}}) \cdot \lambda + n_{\text{р б}} \cdot \mu] \cdot P_N = (N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}} + 1) \cdot \lambda \cdot P_{N-1} + n_{\text{р б}} \cdot \mu \cdot P_{N+1} \\ \text{при } n_{\text{р б}} < N_{\text{пр}} < N_{\text{АТ}}; \\ \lambda \cdot P_{N-1} = n_{\text{р б}} \cdot \mu \cdot P_{N\,\text{АТ}} \end{array}\right\}, \tag{11}$$

где P_N – вероятность поступления N АТ и ее отдельных элементов, узлов, агрегатов и механизмов в ремонтный орган.

Решая эту систему при условии, что $\sum_{N=0}^{N_{\text{АТ}}} P_N = 1$, определяем следующие основные характеристики системы ремонтного органа предприятия:

а) вероятность появления $N_{\text{пр}}$ неисправной автотракторной техники и ее отдельных элементов, узлов, агрегатов и механизмов в системе ремонта:

$$\frac{P_N}{P_{\text{о}}} = C_{N_{\text{АТ}}}^{N} \cdot \left(\frac{\lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}\right)^N \text{ при } 0 \le N_{\text{пр}} \le n_{\text{р б}},$$

$$\frac{P_N}{P_{\text{о}}} = \frac{N_{\text{пр}}! \left(\frac{\lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}\right)^N}{n_{\text{р б}}^{N-n_{\text{р б}}} \cdot n_{\text{р б}}!(N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}})} \text{ при } n_{\text{р б}} < N_{\text{пр}} \le N_{\text{АТ}}, \tag{12}$$

где λ – параметр (интенсивность) потока эксплуатационных неисправностей (отказов) автотракторной техники; μ – параметр (интенсивность) восстановлений автотракторной техники.

б) вероятность того, что вся техника исправна будет определяться по формуле:

$$P_{\text{о}} = \frac{1}{\sum_{N=0}^{n_{\text{р б}}-1} C_{N_{\text{АТ}}}^{N} \cdot n_{\text{р б}}^{N} \cdot \left(\frac{\lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}\right)^N + \sum_{N=n_{\text{р б}}}^{N_{\text{АТ}}} C_{N_{\text{АТ}}}^{N} \cdot \frac{N! n_{\text{р б}}^{n_{\text{р б}}}}{n_{\text{р б}}!} \cdot \left(\frac{\lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}\right)^N}. \tag{13}$$

в) среднее число автотракторной техники в очереди на ремонт определяется по формуле:

$$\bar{r} = \overline{N}_{\text{пр}}\left(1 + \frac{n_{\text{р б}} \cdot \lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}\right) - \frac{N_{\text{АТ}} \cdot n_{\text{р б}} \cdot \lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}. \tag{14}$$

г) среднее число простаивающих ремонтных бригад без работы определяется по формуле:

$$\bar{n}_{\text{р б пр}} = \frac{n_{\text{р б}} \cdot \lambda_{\text{э н}} \cdot (\overline{N}_{\text{пр}} - N_{\text{АТ}})}{\mu_{\text{э н}}} + n_{\text{р б}}. \tag{15}$$

д) среднее число автотракторной техники на ремонте определяется по формуле:

$$\bar{s} = \frac{(N_{\text{АТ}} - \overline{N}) \cdot n_{\text{р б}} \cdot \lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}. \tag{16}$$

е) вероятность, или коэффициент, простоя ремонтной бригады без работы определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{б}} = \frac{\bar{n}_{\text{р б пр}}}{n_{\text{р б}}} = 1 - \frac{\lambda_{\text{э н}} \cdot (N_{\text{АТ}} - \overline{N})}{\mu_{\text{э н}}}. \tag{17}$$

ж) вероятность, или коэффициент, простоя автотракторной техники в очереди на ремонт определяется следующим образом:

$$\varepsilon_{\text{о}} = \frac{\bar{r}}{N_{\text{АТ}}} = \frac{\overline{N}_{\text{пр}}}{N_{\text{АТ}}} \cdot \left(1 + \frac{n_{\text{р б}} \cdot \lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}\right) - \frac{n_{\text{р б}} \cdot \lambda_{\text{э н}}}{\mu_{\text{э н}}}. \tag{18}$$

Результаты и их обсуждение. Представленные выше уравнения справедливы при установившемся режиме работы СМО, который имеет место при любых $\lambda_{эн}$ и $\mu_{эн}$, так как СМО является замкнутой. Сходимость процесса к установившемуся режиму определяется отношением:

$$\frac{\lambda_{эн}}{\mu_{эн}} < 1. \quad (19)$$

Естественно, что чем меньше $\varepsilon_о$ и $\varepsilon_б$, тем более экономично, эффективно и рационально построена система ремонта. Поэтому $\varepsilon_о$ и $\varepsilon_б$ являются одними из основных показателей качества системы ремонта предприятия.

Для оценки качества функционирования, оптимизации структуры и состава системы ремонта предприятия целесообразно использовать следующие критерии:

- коэффициент технической готовности группы АТ $K_{тг}^{г}$ и отдельного образца АТ входящей в ее группу $K_{тг}$;

- коэффициент простоя АТ в ремонтном органе в ожидании очереди на ремонт $\varepsilon_о$;

- коэффициент простоя ремонтной бригады (ремонтного органа) без работы $\varepsilon_б$;

- коэффициент простоя АТ в неисправном состоянии в ремонтном органе $\varepsilon_с$;

- коэффициент простоя (нахождения) АТ в неисправном состоянии при транспортировке в ремонт (или ремонтной бригады к месту стоянки неисправной АТ) $\varepsilon_т$ [3, 5].

Система ремонта предприятия по своему составу и возможностям будет оптимальной в том случае, если она обеспечивает:

1) заданный уровень (значение) коэффициента технической готовности группы АТ предприятия $K_{тг}^{г}$;

2) минимальное значение коэффициентов простоя АТ в очереди на ремонт, при транспортировке в ремонт и ремонтной бригады без работы – $\varepsilon_о$, $\varepsilon_т$ и $\varepsilon_б$.

Наиболее общей технической характеристикой состояния АТ, а также основным критерием оптимизации решения задачи по выбору оптимального числа ремонтных бригад $n_{рб}$ в системе ремонта предприятия является коэффициент технической готовности, который показывает:

а) для одной единицы АТ – относительное время (в процентах) пребывания техники в исправном состоянии $K_{тг}$;

б) для группы АТ – относительное число (в процентах) исправной АТ в течение $T_к$ – выбранного для оценки календарного времени эксплуатации техники $K_{тг}^{г}$.

Коэффициент технической готовности одной единицы АТ определяется по формуле:

$$K_г = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{\mu_{эн}}{\lambda_{эн} + \mu_{эн}}. \quad (20)$$

Коэффициент технической готовности группы АТ может быть определен через коэффициент технической готовности одной единицы АТ и коэффициент простоя техники в очереди на ремонт. Из (18), с учетом (5) после преобразований получим следующую формулу для определения коэффициента технической готовности группы АТ:

$$K_г^{г} = K_г \cdot (1 - \varepsilon_о), \quad (21)$$

где $K_{тг}$ определяется по формуле (20), а $\varepsilon_о$ – по формуле (18).

Уравнение (21) показывает, что коэффициент технической готовности группы АТ по своему значению приближается к коэффициенту технической готовности единицы АТ по мере сокращения количества АТ в очереди на ремонт (при уменьшении $\varepsilon_о$).

Сокращения очереди на входе в ремонтном органе, возможно, достигнуть за счет выбора оптимального количества ремонтных бригад на предприятии – $n_{\text{р б opt}}$ и повышения интенсивности ремонтов каждой из них – μ.

Так как рассматриваемая СМО является замкнутой, то общее количество АТ предприятия, находящихся в различных степенях технической готовности, возможно, записать формулой:

$$N_{\text{АТ}} = \overline{N}_{\text{ис}} + \overline{N}_{\text{ор}} + \overline{N}_{\text{нр}} + \overline{N}_{\text{тс}}, \tag{22}$$

где $\overline{N}_{\text{тс}}$ – среднее число АТ, находящейся в состоянии транспортировки в ремонт; $\overline{N}_{\text{ис}}$ – среднее число исправной АТ.

На основании этой формулы величину коэффициента технической готовности группы АТ возможно записать следующей формулой:

$$K_{\text{тг}}^{\text{г}} = \frac{\overline{N}_{\text{ис}}}{\overline{N}_{\text{ис}} + \overline{N}_{\text{ор}} + \overline{N}_{\text{нр}} + \overline{N}_{\text{тс}}}. \tag{23}$$

Одной из характеристик АТ по эксплуатации является $\overline{T}_{\text{пр}}$ – среднее время простоя АТ в неисправном состоянии. Чем меньше это время, тем выше её техническая готовность.

Время простоя АТ в неисправном состоянии определяется, как сумма:

- среднего времени транспортировки техники в ремонтный орган или ремонтной бригады к месту стоянки неисправной АТ $\overline{T}_{\text{т}}$;
- среднего времени пребывания АТ в очереди на ремонт $\overline{T}_{\text{ор}}$;
- среднего времени производства ремонта $\overline{T}_{\text{в}}$.

Следовательно, средняя продолжительность простоя АТ в неисправном состоянии (при транспортировке техники в ремонт и из ремонта) равна:

$$\overline{T}_{\text{нс}} = \overline{T}_{\text{в}} + \overline{T}_{\text{ор}} + 2\overline{T}_{\text{т}}. \tag{24}$$

При транспортировке ремонтной бригады к месту неисправной АТ определяется по формуле:

$$\overline{T}_{\text{нс}} = \overline{T}_{\text{в}} + \overline{T}_{\text{ор}} + \overline{T}_{\text{т}}. \tag{25}$$

Определить продолжительность простоя АТ в неисправном состоянии (в очереди и на ремонте) возможно также через коэффициент простоя $\varepsilon_{\text{с}}$ по формуле (6).

Если учесть то, что $1 - K_{\text{тг}}^{\text{г}} = \varepsilon_{\text{с}} = \dfrac{\overline{T}_{\text{нс}}}{T_{\text{к}}}$, то

$$\overline{T}_{\text{нс}} = \overline{T} \cdot (1 - K_{\text{тг}}^{\text{г}}), \tag{26}$$

где $T_{\text{к}}$ – календарное время, за которое определяется $\overline{T}_{\text{нс}}$.

Эта формула справедлива при условии, что техника после отказа немедленно поступает в ремонтный орган и на ее доставку в ремонт, подготовку к ремонту время не затрачивается.

Учет времени пребывания техники в неисправном состоянии при транспортировке в ремонт и из ремонта производится с помощью коэффициента (вероятности) простоя АТ в нерабочем состоянии при транспортировке в ремонтный орган $\varepsilon_{\text{т}}$. Величина $\varepsilon_{\text{т}}$ равна отношению среднего числа АТ, находящейся на пути в ремонтный орган и из ремонтного органа на предприятие $\overline{N}_{\text{тс}}$, к их общему числу на предприятие $N_{\text{АТ}}$, или среднего времени транспортировки техники в ремонт и из ремонта $2\overline{T}_{\text{т}}$ к продолжительности времени эксплуатации АТ $T_{\text{к}}$, за которое производится оценка системы ремонта. Следовательно, величина $\varepsilon_{\text{т}}$ для случая транспортировки АТ в ремонт определяется формулой:

$$\varepsilon_{\text{т}} = \frac{\overline{N}_{\text{тс}}}{N_{\text{АТ}}} = \frac{2\overline{T}_{\text{т}}}{T_{\text{к}}}. \tag{27}$$

При транспортировке ремонтной бригады к месту стоянки неисправной АТ:

$$\varepsilon_{\text{т}} = \frac{\overline{T}_{\text{т}}}{T_{\text{к}}} = \frac{0{,}5\overline{N}_{\text{тс}}}{N_{\text{АТ}}}. \tag{28}$$

Величины $\varepsilon_{\text{б}}$ и $\varepsilon_{\text{о}}$ при оценке системы ремонта определяются по формулам (17) и (18).

Из уравнения (17) с учетом (5) и (21) можем определить необходимое число ремонтных бригад, которые могут обеспечить восстановление появляющихся с интенсивностью $\lambda_{\text{эн}}$ эксплуатационных неисправностей техники в группе автотракторной техники, состоящей из $N_{\text{АТ}}$ автотракторной техники. Если известны или заданы руководством предприятия $K^{\text{г}}_{\text{тг}}$ (или $K_{\text{тг}}$) $\varepsilon_{\text{о}}$, $\varepsilon_{\text{б}}$ и $\mu_{\text{эн}}$, то число ремонтных бригад определяется по формуле:

$$n_{\text{рб}} = \frac{N_{\text{АТ}} \cdot \lambda_{\text{эн}} \cdot K^{\text{г}}_{\text{тг}}}{\mu_{\text{эн}} \cdot (1-\varepsilon_{\text{б}})} = \frac{N_{\text{АТ}} \cdot \lambda_{\text{эн}} \cdot K_{\text{тг}} \cdot (1-\varepsilon_0)}{\mu_{\text{эн}} \cdot (1-\varepsilon_{\text{б}})}. \tag{29}$$

Состав специалистов-ремонтников каждой ремонтной бригады определяется по формулам (1) и (2).

Формула (29) позволяет также определить необходимую суммарную производительность ремонтного органа предприятия для обслуживания $N_{\text{АТ}}$ и обеспечения заданного $K^{\text{г}}_{\text{тг}}$ при данной интенсивности эксплуатационных неисправностей $\lambda_{\text{эн}}$ и заданном коэффициенте простоя ремонтной бригады $\varepsilon_{\text{б}}$.

Так как $\mu_{\Sigma} = n_{\text{рб}} \cdot \mu_{\text{эн}}$, то

$$\mu_{\Sigma} = \frac{N_{\text{АТ}} \cdot \lambda_{\text{эн}} \cdot K^{\text{г}}_{\text{тг}}}{(1-\varepsilon_{\text{б}})} = \frac{N_{\text{АТ}} \cdot \lambda_{\text{эн}} \cdot K_{\text{тг}} \cdot (1-\varepsilon_0)}{(1-\varepsilon_{\text{б}})}. \tag{30}$$

Таким образом, выбранные критерии $K^{\text{г}}_{\text{тг}}$, $K_{\text{тг}}$ $\varepsilon_{\text{о}}$, $\varepsilon_{\text{с}}$, $\varepsilon_{\text{б}}$, $\varepsilon_{\text{т}}$ для оптимизации решения задачи позволяют найти оптимальное число ремонтных бригад предприятия – $n_{\text{рб opt}}$, которое обеспечивает заданный коэффициент готовности техники к выполнению задач по предназначению $K_{\text{г}}$ или $K^{\text{г}}_{\text{г}}$.

Задача по определению $n_{\text{рб opt}}$ также может быть решена методом проб путем задания ряда значений $n_{\text{рб}}$. В этом случае назначаются следующие исходные данные: $N_{\text{АТ}}$, $\lambda_{\text{эн}}$, $\mu_{\text{эн}}$, $n_{\text{рб}}$.

Задаваясь рядом значений $n_{\text{рб}}$, решаем систему уравнений (11) и определяем коэффициенты оптимизации: $\varepsilon_{\text{о}}$, $\varepsilon_{\text{б}}$, $\varepsilon_{\text{с}}$, $\varepsilon_{\text{т}}$, $K_{\text{тг}}$, $K^{\text{г}}_{\text{тг}}$.

Из рассчитанных вариантов по заданному руководством предприятия $K^{\text{г}}_{\text{тг}}$ находим наиболее оптимальный вариант и таким способом определяем $n_{\text{рб opt}}$ для заданных условий.

Коэффициент технической готовности группы АТ с учетом затрат времени на ее транспортировку в ремонт и из ремонта определяется формулой:

$$K^{\text{г}}_{\text{тг}t} = \frac{\varepsilon_{\text{т}}}{2\lambda_{\text{эн}} \cdot \overline{T}_{\text{т}} \cdot (1-\varepsilon_{\text{т}})} = \frac{1}{\lambda_{\text{эн}} \cdot (T_{\text{к}} - 2\overline{T}_{\text{т}})}. \tag{31}$$

Если ремонтная бригада выезжает к месту стоянки неисправной АТ, то величина $K^{\text{г}}_{\text{тг}t}$ определяется по формуле:

$$K^{\text{г}}_{\text{тг}t} = \frac{1}{\lambda_{\text{эн}} \cdot (T_{\text{к}} - \overline{T}_{\text{т}})}. \tag{32}$$

В восстановлении работоспособности одной группы АТ, как правило, будут принимать участие ремонтный состав ремонтного органа предприятия, который в каждом конкретном случае будет составлять одну ремонтную бригаду.

Оценка качества системы ремонта предприятия производится по следующим расчётным формулам, которые получаем из системы уравнений (11) при $n_{\text{рб}} = 1$:

а) вероятность того, что на ремонте в ремонтном органе предприятия находится N неисправной АТ, определяется по формуле:

$$P_N = \frac{N_{\text{АТ}}!\rho^N}{(N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}})!} \cdot P_{\text{о}}, \tag{33}$$

где $N_{\text{АТ}}$ – количество образцов в группе АТ на предприятии;

б) вероятность того, что в группе АТ, на предприятии вся техника исправна, определяется по формуле:

$$P_{\text{о}} = 1 - \frac{\lambda_{\text{эн}}}{\mu_{\text{эн}}} N_{\text{АТ}} \cdot K_{\text{тг}}^{\text{г}}. \tag{34}$$

в) коэффициент простоя АТ в очереди на ремонт:

$$\varepsilon_{\text{о}} = 1 - \frac{K_{\text{тг}}^{\text{г}}}{K_{\text{тг}}}. \tag{35}$$

г) коэффициент простоя ремонтной бригады без работы определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{б}} = 1 - \frac{\lambda_{\text{эн}}}{\mu_{\text{эн}}} N_{\text{АТ}} \cdot K_{\text{тг}}^{\text{г}}. \tag{36}$$

д) коэффициент простоя АТ в неисправном состоянии при транспортировке техники в ремонт и из ремонта:

$$\varepsilon_{\text{т}} = \frac{2\lambda_{\text{эн}} \cdot \overline{T}_{\text{т}}}{1 + 2\lambda_{\text{эн}} \cdot \overline{T}_{\text{т}} + \dfrac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{АТ}} - N_{\text{пр}}}} = \frac{2\lambda_{\text{эн}} \cdot \overline{T}_{\text{т}} \cdot K_{\text{тг}}^{\text{г}}}{1 + 2\lambda_{\text{эн}} \cdot \overline{T}_{\text{т}} \cdot K_{\text{тг}}^{\text{г}}}. \tag{37}$$

Приведённые формулы позволяют решать на предприятии следующие задачи:

1) по заданным значениям величин $N_{\text{АТ}}$ $\lambda_{\text{эн}}$, $\overline{T}_{\text{т}}$, $K_{\text{тг}}$ и $K_{\text{тг}}^{\text{г}}$ определять $\varepsilon_{\text{о}}$, $\varepsilon_{\text{б}}$, $\varepsilon_{\text{т}}$, $\overline{T}_{\text{в}}$;

2) по значениям величин $N_{\text{АТ}}$, $\varepsilon_{\text{о}}$, $\varepsilon_{\text{б}}$, $K_{\text{тг}}$, $\lambda_{\text{эн}}$ определять необходимую производительность ремонтного органа $\mu_{\text{эн}}$, чтобы обеспечить заданный $K_{\text{тг}}^{\text{г}}$ – коэффициент технической готовности АТ предприятия и каждой АТ в отдельности $K_{\text{тг}}$.

Состав специалистов-ремонтников ремонтной бригады предприятия по специальностям определяется по формулам (1) и (2).

Заключение.

В статье представлены два метода расчета трудоемкости ремонтных работ при восстановлении автотракторной техники: статистический метод; метод с использованием теории массового обслуживания. Первый метод основывается на статистических нормах затрат времени на производство ремонтных работ. В этом методе не учитывалась динамика поступления автотракторной техники в ремонт и динамика функционирования системы ремонта. Поэтому полученные данные рекомендуются для проведения технических расчётов при оценке возможностей ремонтного органа по восстановлению неисправной автотракторной техники. Второй метод, дополняет первый и позволяет определить количество восстановленной автотракторной техники каждого типа за время, не превышающее располагаемое при различных трудоемкостях работы. Реализация данных методов позволит расширить возможности функционирования системы ремонта предприятия, по своевременному восстановлению автотракторной техники. Использование разработанных методов возможно раздельно, в зависимости от количества вышедшей из строя автотракторной техники, а также возможностей ремонтного органа по её восстановлению, но не позволит комплексно определить трудоёмкость ремонтных работ при восстановлении автотракторной техники на сельскохозяйственном предприятии.

Таким образом, изложенные в данной статье теоретические основы и практические рекомендации обеспечат руководству предприятий и их ремонтным органам возможности решать следующие задачи:

- по данным о вышедшей из строя АТ определять требующееся количество и состав ремонтных бригад, которые необходимо иметь на предприятии, чтобы за кратчайшее время восстановить неисправную технику;
- по данным о количестве имеющихся ремонтных бригад и их составу определять возможности ремонтного органа по восстановлению АТ за различные промежутки времени;
- по данным о количестве ремонтных бригад, их составу, имеющемуся выходу АТ из строя определять время, за которое она будет восстановлена;
- по данным о количестве подлежащей ремонту АТ и желаемой продолжительности выполнения работ определять требующееся количество и состав ремонтных бригад для её восстановления;
- определить оптимальные условия, когда рационально перевозить АТ в ремонтный орган, а когда целесообразно ремонтную бригаду к месту стоянки вышедшего из строя образца АТ;
- определять состав требующихся для выполнения ремонтных работ технических средств: запасных частей и принадлежностей, контрольно-измерительной аппаратуры, инструментов, оборудования, оснастки и материалов.

Список источников

1. Апробированное совершенствование сервиса автотракторных двигателей / А.Е. Ломовских [и др.] // Наука в Центральной России. 2020. № 6. С. 81–91.

2. Алябьев В.А., Бердов Е.И., Барышников С.А. Основы теории и методика определения параметров надежности сельскохозяйственных машин: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 248 с.

3. Захаров Н.С., Елесин С.В. Технологические процессы технического обслуживания и ремонта транспортных машин. Диагностирование узлов и механизмов, обеспечивающих безопасность: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2018. 118 с.

4. Кокорева Е.Б. Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 2. С. 320–325.

5. Макаров В.Б. Техническое обслуживание и ремонт машин. М.: Агропромиздат, 2019. 521 с.

6. Никитченко С.Л., Воронов Е.В. Причинные факторы снижения эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники // Вестник НГИЭИ. 2020. №2 (105).

7. Соломкин А.П., Мяло О.В., Прокопов С.П. Влияние фактора старения на показатели надежности сельскохозяйственной техники // Достижения науки и техники АПК. 2015. №1.

8. Ломовских А.Е., Томилов А.А., Баглаев А.А. Способ повышения технической готовности машин // Специальные вопросы моделирования систем и процессов. 2021. С. 54–63.

References

1. A.E. Lomovskih et al. Approbated improvement of the service of autotractor engines // Science in Central Russia. 2020. No. 6. P. 81–91.

2. Aljab'ev V.A., Berdov E.I., Baryshnikov S.A. Fundamentals of the theory and methodology for determining the parameters of the reliability of agricultural machines: a textbook. Sankt-Peterburg: Lan', 2018. 248 p.

3. Zaharov N.S., Elesin S.V. Technological processes of maintenance and repair of transport vehicles. Diagnosis of nodes and mechanisms that ensure security: a tutorial. Tjumen': TjumGNGU, 2018. 118 p.

4. Kokoreva E.B. Improving the efficiency of using agricultural machinery. *Bjulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice, 2018; 4(2):320–325.

5. Makarov V.B. Maintenance and repair of machines. M.: Agropromizdat, 2019. 521 p.

6. Nikitchenko S.L., Voronov E.V. Causal factors for reducing the operational reliability of agricultural machinery. *Vestnik NGIJeI*, 2020; 2(105).

7. Solomkin A.P., Mjalo O.V., Prokopov S.P. Influence of the aging factor on the reliability indicators of agricultural machinery. *Dostizhenija nauki i tehniki APK* = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex, 2015; (1).

8. Lomovskih A.E., Tomilov A.A., Baglaev A.A. A way to increase the technical readiness of machines. *Special'nye voprosy modelirovanija sistem i processov*, 2021; 54–63.

Информация об авторах

А.А. Бородин – доктор технических наук; Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; А.Е. Ломовских - кандидат технических наук, доцент; В.С. Январев – адъюнкт кафедры; Е.А. Деревянко – адъюнкт кафедры; А.И. Скоморохова - аспирант.

Information about the authors

A. Borodin - Doctor of Technical Sciences; Yu. Rodionov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Lomovskikh - candidate of technical sciences, associate professor; V. Yanvarev - adjunct of the department; E.A. Derevianko - adjunct of the department; A.I. Skomorokhova - 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): 11.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 15.04.2023

Тип статьи: обзорная
УДК 631.372
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-148-153

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТРАКТОРОВ ДЛЯ РАБОТЫ НА СКЛОНАХ

Подрубалов Максим Валерьевич[1]. Мехедов Михаил Алексеевич[2]
[1,2] *Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*
[1] mpodrubalov@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-2589-5659, [2] mekhedov@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-0402-0132

Автор, ответственный за переписку: Максим Валерьевич Подрубалов, mpodrubalov@rgau-msha.ru
Corresponding author: Maxim Podrubalov, mpodrubalov@rgau-msha.ru

Реферат. *В работе рассмотрены проблемы создания тракторов, самоходных шасси, лесных и сельскохозяйственных машин специальных конструкций для механизации растениеводства, мелиоративных работ и строительства в труднодоступных условиях лесных, сельскохозяйственных и горных неугодий. Приводится сравнительный анализ конструкторских решений, нашедших применение в отечественных и зарубежных тракторах, используемых при выполнении технологических и транспортных операций на склоновых землях и неугодьях в сельском и лесном хозяйстве. Отмечается, что ряд моделей универсально-пропашных тракторов предусматривает возможность повышение устойчивости путём поворота корпусов вынесенных конечных передач относительно корпуса заднего моста. У тракторов при этом увеличивается колёсная база и уменьшается клиренс (дорожный просвет). Указано, что анализ особенностей эксплуатации колесных тракторов на склонах позволил обосновать приёмы и средства, улучшающие их основные показатели: блокировку дифференциала; понижение центра тяжести; применение шин с высокими грунтозацепами, дополнительных стальных колес, почвозацепов, уширителей; использование полугусеничного хода и колёсных тракторов с колёсной формулой 4К4. Установлены преимущества и недостатки применения в качестве базовой машины гусеничных и колёсных тракторов. Указано предпочтение для работы на склонах тракторов с передним ведущим мостом. Такие тракторы, оснащенные ранее перечисленными приспособлениями, обладают лучшими тягово-сцепными свойствами, проходимостью и управляемостью, приближаясь по этим показателям к гусеничным тракторам. В работе даны рекомендации по исполнению на склонах, лесных и сельскохозяйственных неугодьях полноприводных низкоклиренсных колёсных тракторов. В заключении указано, что несмотря на рассмотренные особенности при создании тракторов для работы на мелкоконтурных участках, располагаемых на склонах до 25°, предпочтение отдается колёсным низкоклиренсным тракторам, что вызвано дешевизной конструкции в силу незначительных конструкторских изменений по сравнению с базовыми моделями.*

Ключевые слова: *трактор, устойчивость, центр тяжести, клиренс, дорожный просвет, склоноход.*

DESIGN FEATURES OF TRACTORS FOR WORK ON SLOPES

Maxim Podrubalov [1], Mikhail Mekhedov [2]
[1,2] *Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia*
[1] mpodrubalov@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-2589-5659,
[2] mekhedov@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-0402-0132

Abstract*. The problems of creating tractors, self-propelled chassis, forestry and agricultural machines of special designs for the mechanization of crop production, land reclamation and construction in hard-to-reach conditions of forest, agricultural and mountain lands are considered in the work. A*

comparative analysis of design solutions that have found application in domestic and foreign tractors used in the performance of technological and transport operations on sloping lands and badlands in agriculture and forestry is given. It is noted that a number of models of universal row-crop tractors provide for the possibility of increasing stability by turning the housings of the remote final drives relative to the rear axle housing. For tractors, at the same time, the wheelbase increases and the ground clearance (ground clearance) decreases. It is indicated that the analysis of the features of the operation of wheeled tractors on the slopes made it possible to substantiate the methods and means that improve their main indicators: differential lock; lowering the center of gravity; the use of tires with high lugs, additional steel wheels, lugs, expanders; the use of half-tracks and wheeled tractors with a 4K4 wheel arrangement. The advantages and disadvantages of using tracked and wheeled tractors as the base machine have been established. Slope preference for tractors with front drive axle. Such tractors, equipped with the previously listed devices, have better traction properties, maneuverability and controllability, approaching caterpillar tractors in these indicators. Recommendations for the implementation on slopes, forest and agricultural lands of all-wheel drive low-clearance wheeled tractors are given in the work. In conclusion, it is indicated that, despite the considered features, when creating tractors for working on small-contour plots located on slopes up to 25 °, preference is given to wheeled low-clearance tractors, which is caused by a cheap design due to minor design changes compared to the basic models.

Key words: *tractor, stability, center of gravity, clearance, ground clearance, slope walker.*

Для цитирования: Подрубалов М.В., Мехедов М.А. Особенности конструкции тракторов для работы на склонах // Наука в Центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 148-153. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-148-153.

For citation: Podrubalov M., Mekhedov M. Design features of tractors for work on slopes. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 148-53. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-148-153.

Введение. Работа в труднодоступных местах требует при создании техники для механизации растениеводства, мелиоративных работ и строительства специальных энергетических средств [1-13]. Следует отметить три основные тенденции при разработке

В нашей стране и за рубежом наметились три основных тенденции в создании средств механизации горного земледелия [14]:

- первая связана с повышением устойчивости равнинных тракторов путём снижения высоты центра тяжести и увеличение ширины колеи;
- вторая – с использованием ходовых систем, обеспечивавшими вертикальное положение остова трактора на склоне;
- третья – предполагает использование канатной тяги.

Для снижения высоты расположения центра тяжести равнинных колёсных тракторов устанавливают колёса уменьшенного диаметра. Ряд моделей универсально-пропашных тракторов предусматривает возможность повышение устойчивости путём поворота корпусов вынесенных конечных передач относительно корпуса заднего моста. У тракторов при этом увеличивается колёсная база и уменьшается клиренс (дорожный просвет).

Создание низкоклиренсного трактора является наиболее распространеным, так как практически не превышает стоимости равнинного. В крутосклонных тракторах со стабилизацией остова или склоноходах вертикальное положение обеспечивается перемещением передних и задних колёс относительно остова по высоте. Стабилизация остова предполагает одинаковое распределение массы по колёсам трактора, что улучшает устойчивость курсового движения и обеспечивает высокий дорожный просвет.

Применение канатной тяги позволяет механизировать работы на горных склонах крутизной до 50°. Ее достоинства - в отсутствии взаимодействия с почвой стационарных и мобильных двигателей и осуществлении технологических операций вспашки, культивации, посева, внесения удобрений и др. на крутых склонах без негативного влияния на почву, возможность

использования в садах и цитрусовых насаждениях с низкорасположенными и (или) сомкнутыми кронами. Недостатки использования канатной тяги: возможность водной эрозии почвы вдоль склонов, сложность движения технологических машин и орудий по заданной траектории, высокая стоимость работ.

Решение проблемы горных мобильных энергетических средств связано с созданием тракторов, самоходных шасси, лесных и сельскохозяйственных машин специальных конструкций.

Гусеничные тракторы с нормальной и увеличенной шириной колеи из-за их устойчивости широко применяют для выполнения энергоёмких лесных и сельскохозяйственных работ на склонах и, особенно, на равнинных участках гористой местности в РФ, Италии, США, Швейцарии и других странах. Дополнительным оборудованием таких тракторов являются прочный каркас кабины для защиты водителя в случае опрокидывания, креномер, предохранительные ремни, специальная система смазки двигателя, натяжные колеса увеличенного диаметра, защитные шиты на картере двигателя и ходовых тележках, а также накладки на башмаках гусениц, уменьшающие боковое скольжение тракторов на склонах и порчу дорог.

Целью работы является сравнительный анализ конструкторских решений, нашедших применение в отечественных и зарубежных тракторах, используемых при выполнении технологических и транспортных операций на склоновых землях и неугодьях в сельском и лесном хозяйстве.

Результаты исследований. На Волгоградском тракторном заводе был создан крутосклонный гусеничный трактор класса тяги 30 кН под маркой ДТ-75К (модификация базовой модели трактора ДТ-75) и выпускался серийно. В настоящее время он снят с производства. Трактор предназначался для выполнения технологических операций на склонах крутизной до 15° (вспашка, посев, культивация, боронование, нарезка террас и т.п.).

Недостатками данной модели являются [11]:

- установка на тракторе двух навесных систем (спереди и сзади), что делает его сложным и тяжёлым;
- использование его на транспортных операциях (по сравнению с базовой моделью ДТ-75) нерентабельно из-за большой массы;
- реверсивный ход обуславливает наличие дополнительных узлов в трансмиссии, органах и механизмах управления, увеличивает жёсткость натяжных устройств гусениц;
- реверсивный ход значительно уменьшает КПД трактора, так как при этом верхняя ветвь гусеничного полотна становится ведущей;
- при движении с челночным плугом (фактически двумя навесными плугами) в транспортном положении габаритная длина агрегата составляет примерно 12…13 м, что осложняет переезды и затрудняет преодоление препятствий (речки, овраги, узкие дороги);
- при работе трактора и движении челночным способом элементы ходовой части перегружены (как следствие быстро изнашиваются).

Фирмой «Катерпиллар» (США) разработаны специальные тракторы D4DSA, D55A, D6CSA для выполнения энергоёмких в том числе и сельскохозяйственных работ на холмистой в пересеченной местности, засоренных камнями участках и грунтах со слабой несущей способностью.

Основными недостатками гусеничных тракторов, сдерживающими их применение в горном земледелии, зарубежные специалисты считают [15]:

- ограниченность использования (чаще – невозможность) для выполнения транспортных операций;
- сложность устройства, быстрое изнашивание элементов ходовой системы, низкая эксплуатационная надежность, относительно высокая стоимость и металлоёмкость, кинематическое несовершенство гусеничного движителя по сравнению с колёсным;
- сложность реализации технических решений по обеспечению поперечной устойчивости на склоне, например, выравниванием остова посредством следящей гравитационной гидравлической системы выравнивания;
- худшие условия труда тракториста.

На склонах и равнинных участках горной местности широкое применение находят тракторы с низким расположением центра тяжести, увеличенной колеёй колес, спаренными колесами, подвижным балансированным грузом.

Анализ особенностей эксплуатации колесных тракторов на склонах позволил обосновать приёмы и средства, улучшающие их основные показатели: блокировку дифференциала; понижение центра тяжести; применение шин с высокими грунтозацепами, дополнительных стальных колес, почвозацепов, уширителей; использование полугусеничного хода и колёсных тракторов с колёсной формулой 4К4.

Понижение центра тяжести колёсного трактора и, следовательно, повышение его устойчивости на склоне достигается заливкой воды в шины, балластировкой всех ходовых колёс и переднего моста. Балластировка наиболее распространена за рубежом, причем массы балластных грузов достигают 20% массы трактора, что приводит к увеличению расхода топлива.

На базе трактора Т-40А был создан и серийно выпускался низкоклиренсный трактор Т-40АН тягового класса 0,9 кН, предназначенный главным образом для механизации процессов заготовки кормов на склонах крутизной до 15°.

На Минском тракторном заводе, на базе семейства тракторов тягового класса 14кН созданы низкоклиренсные тракторы МТЗ-52Н, МТЗ-82Н и МТЗ-102Н.

Повышение поперечной устойчивости и тягово-сцепных свойств трактора обеспечивается установкой дополнительных пневматических (сдвоенных) или решётчатых металлических колёс, которые особенно подходят для работы на рыхлых и влажных почвах пониженной несущей способности. Решётчатые колёса, как правило, шире основных пневматических, но имеют несколько меньший диаметр, что позволяет при передвижении по дорогам не снимать дополнительные колёса, а при работе в поле уменьшить давление ходовой системы трактора на почву в несколько раз, увеличить сцепление (снизить буксование) и повысить устойчивость машины, так, чтобы обеспечивалась безопасная работа на склонах большой крутизны [16, 17].

Для работы на склонах больше подходят тракторы с передним ведущим мостом, которые особенно при оснащении ранее перечисленными приспособлениями, обладают лучшими тягово-сцепными свойствами, проходимостью и управляемостью, близкими по этим показателям к гусеничным.

Для работы в гористой местности ведущие тракторостроительные фирмы Италии, США, Германии и Франции выпускают значительное количество моделей тракторов с колёсной формулой 4К2 и 4К4. Такие модификаци равнинных тракторов имеют колёса уменьшенного диаметра, малую высоту, высокую маневренность, приспособлены для балластировки, изменения колеи в 1,5...1,8 раза и установке сдвоенных или решётчатых колёс [18].

Модификации горных тракторов-склоноходов: МТЗ-82К, Т-50К, СШ-0611, Т-16МЧГ и др. с надежной автоматической системой для выравнивания в вертикальном положении остова трактора и его стабилизации независимо от изменения крутизны склона созданы и внедрены в производство в результате многолетних работ.

Крутосклонный колесный трактор МТЗ-82К, хотя нереверсивный, но с автоматическим выравниванием рамы для повышения поперечной устойчивости, предназначен для выполнения работ общего назначения на склонах, а также для междурядной обработки. Но использование этого трактора, как и трактора МТЗ-50К в горных условиях неэффективно из-за необходимости слишком широкой поворотной полосы (8...10 м), при мелкоконтурности обрабатываемых участков и работе на участках неправильной формы [13].

Заключение. В результате проведенного анализа установлено, что конструкторские особенности техники, используемой при выполнении технологических и транспортных операций на склоновых землях и неугодьях в сельском и лесном хозяйстве учитывают специфику выполнения операций, состоящую в том что остов трактора не находится в вертикальном положении, а расположен перпендикулярно склону, следовательно иначе протекает динамика машинно-тракторного или транспортно-технологического агрегата, приходится приспосабливать по иному и пост управления, чтобы тракторист занимал вертикальное положение. Несмотря на эти особенности при создании горной техники, в частности, при создании тракторов для работы на мелкоконтурных участках, располагаемых на склонах до 25° отдают предпочтение колёсным

низкоклиренсным тракторам. Вызвано это дешевизной конструкции в силу незначительных конструкторских изменений по сравнению с базовыми моделями.

Список источников

1. Доценко, А.И. Строительные машины и оборудование: Учебник для строительных вузов М.: ИНФА-М. 2014. – 533 с.

2. Суриков, В.В. Строительные машины и оборудование для механизации мелиоративных работ. М.: Агропромиздат, 1991. – 463 с.

3. Ревин, Ю.Г. и др. Наземные транспортно-технологические комплексы природообустройства. - М.: РГАУ-МСХА, 2016. – 230с.

4. Практикум по мелиоративным машинам. Учебное пособие / под ред. Ю.Г.Ревина – М. Колос. 1995, – 208 с.

5. Поддубный, В.И. и др. Машины и оборудование для свайных работ. Учебное пособие, М.: РГАУ-МСХА, 2016, – 75с.

6. Крикун, В.Я. Строительные машины и оборудование/ В.Я. Крикун М.: Ассоциация строительных вузов. 2006, 232 с.

7. Поддубный, В.И. и др. Расчет основных параметров скреперов. Учебное пособие, М.: МГУП, 2009, – 56 с.

8. Поддубный, В.И. и др. Машины и средства гидромеханизации в водохозяйственном строительстве.- М.: МЭСХ, 2019, – 84 с.

9. Балабанов, В.И., Башкирцев, Ю.В. Малогабаритные и альтернативные энергетические средства. С.-Пб.: РИАМА. 2014. – 32 с.

10. Балабанов, В.И., Усманов, Н.К., Худаев, И.Ж., Мартынова, Н.Б., Абдулмажидов, Х.А. Машины для строительства и эксплуатации гидромелиоративных систем /Учебник / Саратов, 2023. – 278 с.

11. Подрубалов М.В. Совершенствование виброзащиты оператора транспортного мотоблока в системе малой механизации лесохозяйственной и лесопарковой деятельности. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. М.: ФГБУ ВПО МГУЛ, 2012.

12. Подрубалов М.В. Характеристики воздействий от эталонных искусственных треков для испытаний мобильных машин. /М.В. Подрубалов, В.К. Подрубалов, Д.В. Тулузаков, Ю.Г. Лапшин / Вестник МГУл – Лесной вестник. № 3 (79). Москва. 2011. С.102-106.

13. Эминбейли З.Н. Основы создания энергетических и технологических средств машинно-тракторных агрегатов для обработки склоновых земель: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.20.01. - Кировабад, 1978. 334 с.

14. Халанский, В.М. Механизация растениеводства: учебник / В.М. Халанский, В.И. Балабанов, Б.С. Окнин и др. –М.: Изд–во РГАУ–МСХА, 2014. 524 с.

15. Sleg Romar. Jasatzrouoe fur einer Weinbauschlepper. - Der Traktor und die Landmaschinen, 1971, №7.

16. Мартынова, Н.Б., Абдулмажидов, Х.А., Балабанов, В.И. Расчет машин и оборудования природообустройства. М.: МЭСХ. 2020. 86 с.

17. Мартынова, Н.Б., Балабанов, В.И., Абдулмажидов, Х.А. Машины и оборудование для производства культуртехнических работ. М.: Издательство «Перо». 2021. 84 с.

18. Гольтяпин В.Я., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Соловьев С.А., Балабанов В.И., Алдошин Н.В. Инновационные технологии и сельскохозяйственная техника за рубежом: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 186 с.

References

1.Dotsenko, A.I. Construction machines and equipment: Textbook for construction universities M.: INFA-M. 2014. - 533 p.

2. Surikov, V.V. Construction machines and equipment for mechanization of reclamation works. M.: Agropromizdat, 1991. - 463 p.

3. Revin, Yu.G. and other Ground transport-technological complexes of nature management. - M.: RGAU-MSHA, 2016. ¬– 230s.

4. Workshop on ameliorative machines. Textbook / ed. Yu.G. Revina - M. Kolos. 1995, ¬– 208 p.

5. Poddubny, V.I. and other Machines and equipment for pile work. Textbook, M.: RGAU-MSHA, 2016, - 75p.

6. Krikun, V.Ya. Construction machines and equipment / V.Ya. Krikun M.: Association of Construction Universities. 2006, 232 p.

7. Poddubny, V.I. and other Calculation of the main parameters of scrapers. Textbook, M.: MGUP, 2009, - 56 p.

8. Poddubny, V.I. and others. Machines and means of hydromechanization in water management construction.- M .: MESH, 2019, - 84 p.

9. Balabanov, V.I., Bashkirtsev, Yu.V. Small-sized and alternative energy facilities. St. Petersburg: RIAMA. 2014. - 32 p.

10. Balabanov, V.I., Usmanov, N.K., Khudaev, I.Zh., Martynova, N.B., Abdulmazhidov, Kh.A. Machines for the construction and operation of irrigation and drainage systems / Textbook / Saratov, 2023. - 278 p.

11. Podrubalov M.V. Improving the vibration protection of the operator of a transport motoblock in the system of small-scale mechanization of forestry and forest park activities. Dissertation for the degree of Cand. tech. Sciences. M.: FGBU VPO MGUL, 2012.

12. Podrubalov M.V. Characteristics of impacts from reference artificial tracks for testing mobile machines. /M.V. Podrubalov, V.K. Podrubalov, D.V. Tuluzakov, Yu.G. Lapshin / Bulletin of Moscow State University - Forest Bulletin. No. 3 (79). Moscow. 2011. P.102-106.

13. Eminbeyli Z.N. Fundamentals of creating energy and technological means of machine-tractor units for cultivating sloping lands: thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences: 05.20.01. - Kirovabad, 1978. 334 p.

14. Khalansky, V.M. Mechanization of crop production: textbook / V.M. Khalansky, V.I. Balabanov, B.S. Oknin et al. -M.: Publishing house of RGAU-MSHA, 2014. 524 p.

15. Sleg Romar. Jasatzrouoe fur einer Weinbauschlepper. - Der Traktor und die Landmaschinen, 1971, No. 7.

16. Martynova, N.B., Abdulmazhidov, Kh.A., Balabanov, V.I. Calculation of machines and equipment for environmental management. M.: MESH. 2020. 86 p.

17. Martynova, N.B., Balabanov, V.I., Abdulmazhidov, Kh.A. Machines and equipment for the production of cultural works. Moscow: Pero Publishing House. 2021. 84 p.

18. V. Ya. Innovative technologies and agricultural machinery abroad: analyt. review. - M.: FGBNU "Rosinformagrotech", 2020. 186 p.

Информация об авторах

М. В. Подрубалов – кандидат технических наук; М.А. Мехедов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

M. Podrubalov – candidate of technical sciences; M. Mekhedov - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: равноценный

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *equivalent*

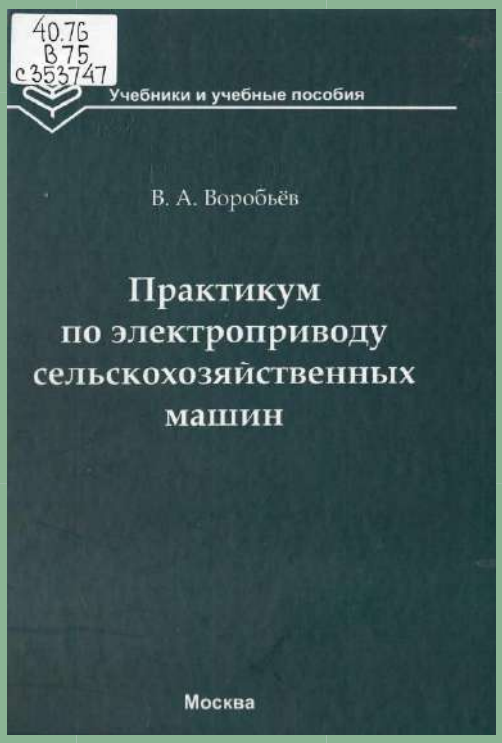
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 13.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.04.2023

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 28.04.2023. Заказ № 24.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 16,17 усл. печ. л. Тираж 100 экз.

Из фонда Тамбовской областной универсальной научной библиотеки им. А. С. Пушкина

Воробьев В. А. Практикум по электроприводу сельскохозяйственных машин : учеб. пособие / В. А. Воробьев. - Москва : Колос-с, 2020. - 224с.



В практикуме даны лабораторные работы по электроприводу, изложены теоретические сведения по механике и динамике электропривода, рассмотрены электромеханические свойства электродвигателей и способы регулирования их координат, описаны методы подбора электродвигателей, аппаратуры защиты и управления, приведены примеры практических расчетов параметров электроприводов. Для студентов, осваивающих образовательные программы бакалавриата по направлению подготовки «Агроинженерия».

Картошкин А. П., Колпаков В.Е. Методы и средства теплового контроля мощностных показателей мобильного сельскохозяйственного агрегата : монография / А. П. Картошкин, В. Е. Колпаков. - Москва : Колос-с, 2022. - 253с.

В монографии представлены результаты исследования способа дистанционного теплового контроля мощностных показателей машинно-тракторных агрегатов. Кроме того, с помощью разработанного способа, возможно, определить степень загрузки трактора при работе в полевых условиях и выполнении сельскохозяйственным орудием технологической операции на исследуемом агрофоне.

Материалы монографии представляют интерес для аспирантов, докторантов, научно-технических работников ВУЗов и НИИ, а также для инженерных служб сельскохозяйственных предприятий.

Контактная информация:
эл. почта: cdpi@tambovlib.ru.
телефон: 8(4752)72-77-00 (доб.) 306