

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

**12+**

Периодическое печатное издание, журнал

Periodical printed edition, magazine

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris  
№ 3 (69), 2024 г.

Основан в 2012 г.  
Выходит 6 раз в год

It is based in 2012.  
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

ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ, 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 Иванович** – 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

**ЛЮБАЧЕВСКИЙ 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 and transportation engineering, University of Genoa, Italy, Ph.D., Associate Professor

**VIGDOROVITSCH Michael** – Geschäftsführer ANGARA GmbH, Düsseldorf, Deutschland, doktor fiziko-matematicheskikh 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», 2024

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

Периодическое печатное издание, журнал

Periodical printed edition, magazine

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris № 3 (69), 2024 г.

Основан в 2012 г.

It is based in 2012.

Выходит 6 раз в год

There are 6 times a year

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ, ЖУРНАЛА  
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

**4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса**

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

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

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

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

**ЧЕРНИКОВ Дмитрий Вячеславович** – ведущий программист ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

**Редакция**

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

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

Главный редактор: Машков А.Н.; заместитель главного редактора: Корнев А.Ю.

№ 3 (69). Дата выхода в свет 28.06.2024. 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: viitn@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.

Периодическое печатное издание, журнал «Наука в центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано Федеральной службой 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», 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

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

*Родионов Ю.В., Данилин С.И., Рыбин Г.В., Зорни А.С., Зорина О.А., Талыков В.А.*  
ВАКУУМНАЯ СУШКА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ..... 7

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

*Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Емельянович С.В.*  
ДИНАМИКА ПРОЦЕССА ТРИЕРНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОСМЕСИ НА РАЗЛИЧНЫХ  
РЕЖИМАХ РАБОТЫ .....16

*Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Емельянович С.В.*  
ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСНОГО КОМПОНЕНТА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПОТЕРИ В ТРИЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.....29

*Поляков Г.Н., Шуханов С.Н., Косарева А.В.*  
МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО  
КОМБАЙНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА.....38

*Шуханов С.Н., Болоев П.А., Кокиева Г.Е., Абидуев А.А., Пехутов А.С.*  
ИЗНОС ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ТЕЧЕНИЕ ПРОГРЕВА .....46

*Латышинок Н.М., Шемякин А.В., Макаров В.А.*  
ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
УСТРОЙСТВА И РЕЖИМОВ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ В РАЗРЕЖЕННОЙ СРЕДЕ .....53

*Родионов Ю.В., Пантелеев П.Т., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Руденко С.В., Рыбин Г.В.*  
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ  
СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И  
ДИАГНОСТИКИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР .....61

*Беляев А.Н., Оробинский В.И., Химченко А.В., Тришина Т.В., Шередекин П.В.*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МГНОВЕННОГО ЦЕНТРА ПОВОРОТА И РАДИУСА  
ПОВОРОТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ШИРИНЫ КОЛЕИ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА .....73

*Беляев А.Н., Тришина Т.В., Афоничев Д.Н.*  
НАГРУЖЕННОСТЬ ВЕДУЩИХ КОЛЕС ТРАКТОРА В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОГО  
АГРЕГАТА.....85

*Судаков А.Н., Андрианов Е.А., Андрианов А.А., Скуратов Н.И.*  
БРУДЕРНЫЙ ОБОГРЕВАТЕЛЬ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ.....92

*Шувалов А.М., Машков А.Н.*  
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ВАРОЧНОГО  
КОТЛА С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ ..... 102

*Сарбалина Б.Д.*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА В ФОРМЕ  
ТРЕХГРАННОГО КЛИНА ПРИ ДВИЖЕНИИ В МАССЕ ПОДСТИЛОЧНОГО ОВЕЧЬЕГО  
НАВОЗА..... 109

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

*Остриков В.В., Корнев А.Ю., Кошелев А.В.*  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АПК ..... 118

*Кошелев А.В., Забродская А.В., Вязинкин В.С., Раззак М.М.А.Р.*  
ПРОМЫВКА СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА  
ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАШИНЫ И СРОК СЛУЖБЫ СВЕЖЕЗАПРАВЛЕННОГО  
МОТОРНОГО МАСЛА ..... 131

*Жерновников Д.Н., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Нагдаев В.К.*  
УДАЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ  
КОМБАЙНОВ ПЕРЕД ПОСТАНОВКОЙ НА ХРАНЕНИЕ ..... 141

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

*Химченко А.В., Оробинский В.И., Остриков В.В., Григорьев Е.А., Юшков Д.В.*  
ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА ИЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО  
ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ..... 148

## CONTENTS

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

<i>Rodionov Yu., Danilin S., Rybin G., Zorin A., Zorina O., Talykov V.</i> VACUUM DRYING OF PLANT MATERIALS .....	7
--	---

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

<i>Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K., Emelyanovich S.</i> DYNAMICS OF THE PROCESS OF TRIER SEPARATION OF THE GRAIN MIXTURE AT DIFFERENT OPERATING MODES .....	16
<i>Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K., Emelyanovich S.</i> INFLUENCE OF IMPURITY COMPONENT CONCENTRATION ON TECHNOLOGICAL LOSSES IN TRIER TECHNOLOGIES .....	29
<i>Polyakov G., Shukhanov S., Kosareva A.</i> METHOD FOR JUSTIFICATION OF A RATIONAL CORN HARVESTER USING THE HARRINGTON DESIRABILITY FUNCTION .....	38
<i>Shukhanov S., Boloev P., Kokieva G., Abiduev A., Pekhutov A.</i> DIESEL ENGINE WEAR DURING WARMING UP .....	46
<i>Latyshonok N., Shemyakin A., Makarov V.</i> SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND MODES OF GRAIN STORAGE IN A DISCHARGED ENVIRONMENT .....	53
<i>Rodionov Yu., Pantelev P., Lomovskih A., Sviridov A., Rudenko S., Rybin G.</i> METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF AUTOMOTIVE VEHICLES USING AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM AND DIAGNOSTICS AT LOW TEMPERATURES .....	61
<i>Belyaev A., Orobinsky V., Khimchenko A., Trishina T., Sheredekin P.</i> DETERMINATION OF THE POSITION OF THE INSTANTANEOUS CENTER OF ROTATION AND THE TURNING RADIUS WHEN CHANGING THE TRACK WIDTH OF A WHEELED TRACTOR .....	73
<i>Belyaev A., Trishina T., Afonichev D.</i> LOADING OF THE TRACTOR'S DRIVING WHEELS AS PART OF THE COMBINED UNIT ..	85
<i>Sudakov A., Andrianov E., Andrianov A., Skuratov N.</i> BROODER HEATER WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE .....	92
<i>Shuvalov A., Mashkov A.</i> RESEARCH RESULTS OF THE ENERGY SUPPLY SYSTEM OF A COOKER WITH SMOOTH POWER CONTROL .....	102
<i>Sarbalina B.</i> DETERMINATION OF THE TRACTION RESISTANCE OF A WORKING BODY IN THE FORM OF A TRIANGULAR WEDGE WHEN MOVING IN A MASS OF BEDDING SHEEP MANURE .....	109
<b>METHODS AND TECHNICAL MEANS OF ENSURING RELIABILITY, DURABILITY, DIAGNOSTICS, TECHNICAL SERVICE, TECHNOLOGY OF STRENGTHENING, REPAIR AND RESTORATION OF MACHINERY AND EQUIPMENT</b>	
<i>Ostrikov V., Kornev A., Koshelev A.</i> MODERN PROBLEMS OF THE USE OF PETROLEUM PRODUCTS IN AGRICULTURE .....	118

<i>Koshelev A., Zabrodsкая A., Vyazinkin V., Razzaq M.M.A.R.</i> FLUSHING OF THE TRACTOR ENGINE LUBRICATION SYSTEM AND ITS EFFECT ON THE TECHNICAL CONDITION OF THE MACHINE AND THE SERVICE LIFE OF FRESHLY REFUELED ENGINE OIL .....	131
<i>Zhernovnikov D., Vyazinkin V., Zabrodsкая A., Nagdaev V.</i> REMOVAL OF CONTAMINATION FROM THE LUBRICATION SYSTEM OF CORN HARVEST ENGINES BEFORE STORAGE .....	141
<b>METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF MATERIALS, METALS, TECHNICAL FLUIDS, PRODUCTS, MACHINES, EQUIPMENT, PRODUCTION LINES IN THE AGRICULTURAL INDUSTRIAL COMPLEX</b>	
<i>Khimchenko A., Orobinsky V., Ostrikov V., Grigorev E., Yushko D.</i> PREREQUISITES FOR USING A DIGITAL TWIN TO DETERMINE THE LIMITING STATE OF ENGINE OIL OR PREDICT ITS REMAINING LIFE .....	148

Тип статьи: научная  
УДК 664.8.9  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-7-15

## ВАКУУМНАЯ СУШКА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Юрий Викторович Родионов<sup>1</sup>, Сергей Иванович Данилин<sup>2</sup>,  
Григорий Вячеславович Рыбин<sup>3</sup>, Александр Сергеевич Зорин<sup>4</sup>,  
Ольга Александровна Зорина<sup>5</sup>, Валерий Александрович Талыков<sup>6</sup>

<sup>1,3,4</sup> Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация  
<sup>1,2,5,6</sup> Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Российская Федерация  
<sup>1</sup>rodionow.u.w@rambler.ru, <sup>2</sup>danilin.7022009@mail.ru, <sup>3</sup>enot1237@gmail.com,  
<sup>4,5</sup>Zorin619@bk.ru, <sup>6</sup>vtalykov@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Юрий Викторович Родионов, rodionow.u.w@rambler.ru  
Corresponding author: Yuri Rodionov, rodionow.u.w@rambler.ru

**Реферат.** Проанализированы основные направления использования сушки для первичной переработки растительных материалов на предприятиях АПК, в частности для закладки растительных материалов на длительное хранение, производства готовых к употреблению сушеных продуктов или полуфабрикатов для переработки в других отраслях, для использования в лечебно-профилактических целях. Выявлено, что в настоящее время наиболее перспективной системой обезвоживания растительных материалов является конвективно-вакуум-импульсная сушка. Цель статьи заключается в исследовании и усовершенствовании существующих конструкций сушилок растительного сырья. Упомянуты основные ученые, занимающиеся данной проблематикой и отмечены основные методы исследования данного процесса, а также лаборатории, где проводятся испытания. Представлены основные направления повышения эффективности одно- или двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсных сушилок. Описано применение темповых аккумуляторов, минимизирующих потери тепла в ступенях и позволяющих применять комбинированный нагрев второй ступени за счет дополнительного кондуктивного нагрева лотков. Рассмотрены различные виды подвода тепла к высушиваемому материалу, в частности применение ТВЧ нагрева растительного материала во второй ступени и конвективный нагрев при помощи бескислородного газа. Проводимые исследования позволяют создать энергоэффективную сушилку с максимальным сохранением биологически активных веществ для различных видов растительных материалов. Описано применение для данного процесса жидкостнокольцевых вакуумных насосов (ЖВН) в качестве машин, организующих вакуум. Они являются одними из самых приспособленных для создания разрежения в теплообменных процессах с удалением влаги. Приведена методика подбора вида вакуум-насоса в зависимости от требуемого температурного режима сушки.

**Ключевые слова:** растительные материалы, биологически активные вещества, комбинированная вакуум-импульсная сушка, влагосодержание.

## VACUUM DRYING OF PLANT MATERIALS

Yuri Rodionov<sup>1</sup>, Sergei Danilin<sup>2</sup>, Grigory Rybin<sup>3</sup>, Alexander Zorin<sup>4</sup>, Olga Zorina<sup>5</sup>, Valery Talykov<sup>6</sup>  
<sup>1,3,4</sup>Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation  
<sup>1,2,5,6</sup>Michurinsky State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation  
<sup>1</sup>rodionow.u.w@rambler.ru, <sup>2</sup>danilin.7022009@mail.ru, <sup>3</sup>enot1237@gmail.com,  
<sup>4,5</sup>Zorin619@bk.ru, <sup>6</sup>vtalykov@gmail.com

**Abstract.** The main directions of using drying for the primary processing of plant materials at agricultural enterprises are analyzed, in particular for storing plant materials for long-term storage, production of ready-to-eat dried products or semi-finished products for processing in other industries, for

*use in therapeutic and prophylactic purposes. It has been revealed that at present the most promising system for dehydrating plant materials is convective-vacuum-pulse drying. The purpose of the article is to study and improve existing designs of plant raw material dryers. The main scientists involved in this issue are mentioned and the main methods for studying this process are noted, as well as the laboratories where tests are carried out. The main directions for increasing the efficiency of one- or two-stage convection-vacuum-pulse dryers are presented. The use of tempo accumulators is described, minimizing heat loss in stages and allowing the use of combined heating of the second stage due to additional conductive heating of the trays. Various types of heat supply to the material being dried are considered, in particular the use of high-frequency heating of plant material in the second stage and convective heating using oxygen-free gas. The ongoing research makes it possible to create an energy-efficient dryer with maximum preservation of biologically active substances for various types of plant materials. The use of liquid ring vacuum pumps (LVP) for this process as machines that organize vacuum is described. They are among the most suitable for creating vacuum in heat and mass transfer processes with moisture removal. A method for selecting the type of vacuum pump depending on the required drying temperature is presented.*

**Keywords:** *plant materials, biologically active substances, combined vacuum-pulse drying, moisture content.*

**Для цитирования:** Родионов Ю.В., Данилин С.И., Зорин А.С., Зорина О.А., Талыков В.А. Вакуумная сушка растительных материалов // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 7-15. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-7-15>.

**For citation:** Rodionov Yu., Danilin S., Zorin A., Zorina O., Talykov V. Vacuum drying of plant materials. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 7-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-7-15>.

**Введение.** Сушка растительного сырья – это сложный процесс удаления влаги из капиллярно-пористых материалов широко используемый в технологии длительного хранения [1-3]. Его распространённость объясняется тем, что при обезвоживании растительных продуктов до влажности ниже 14% многие растительные продукты становится возможным хранить продолжительное время в обычных условиях [4]. Высушенный растительный материал может использоваться как готовый продукт, так и полуфабрикат, применяемый для производства широкого спектра пищевых продуктов. Отдельный интерес представляет использование сушеного растительного материала для производства продуктов функционального, лечебного и диетического питания. Важнейшим аспектом при этом является сохранение максимального количества биологически активных веществ (БАВ) и ценных термолабильных компонентов, подверженных окислению, для чего необходимо осуществлять сушку не только при щадящих режимах (низкие температуры), но и при минимальной длительности процесса.

В настоящее время среди существующих технологий можно выделить ряд, отвечающих этим требованиям:

- сублимационная;
- конвективная в виброкипящем слое;
- вакуумная.

Также важным производственным аспектом является минимальное энергопотребление и максимальная экономическая эффективность. Сублимационная сушка, несмотря на то, что имеет низкую продолжительность по времени и высокий процент сохранения БАВ является сложным, энергозатратным и дорогим процессом. Конвективная сушка по исполнению представляет собой простые и дешёвые конструкции, однако она теряет свою эффективность после окончания первого периода, в котором происходит удаление поверхностной влаги, в связи с чем процесс протекает долго, что отрицательно влияет на сохранение БАВ. Вакуумная сушка проводится при температуре материала 40-50°C и давлении разрежения 5-20 кПа [5]. Это позволяет добиться высокой эффективности во втором периоде и максимального сохранения биологически активных веществ. Однако в первом периоде она не превосходит конвективную, что в совокупности с высокими энергозатратами на организацию вакуума делает не рентабельным использование вакуумной сушилки.

Наиболее эффективным является использование комбинированной двухступенчатой конвективно-вакуум импульсной сушилки, которая совмещает в себе все преимущества и ликвидирует недостатки объединяемых способов. В таком случае время пребывания материала в сушильной камере обусловлено точкой критического влагосодержания. Также, стоит отметить, что при малом изменении влагосодержания в растительном материале при сушке может быть использована только вакуум-импульсная ступень. Отдельный интерес представляют растительные материалы, не имеющие ярко выраженного первого периода (в основном стебли и листья), а ряд растительных материалов подвержен потере БАВ посредством окисления. Всё это ставит задачу по поиску конструкторских и технологических путей модернизации вакуум-импульсной сушилки. Область сушки растительных материалов интересует большое количество учёных и является актуальной [6-13]. Однако ряд закономерностей в приложениях к конкретным объектам остаётся неизученным.

**Цель статьи:** исследование и совершенствование существующих конструкций и способов вакуумной сушки растительного материала.

**Материалы и методы.** Инновационные технологии и конструкции комбинированной вакуумно-импульсной сушки растительного сырья исследуются и разрабатываются в лаборатории НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнологии им. Ю.Г. Скрипникова», причем с проведением исследований качественного состава высушенных растительных материалов с использованием оборудования ЦКП «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и переработки продукции функционального и лечебно-профилактического назначения». Все это позволяет анализировать процесс предложенной сушки с условием кинематических параметров, отображенных кривыми сушки. В рамках работ происходит исследование широкого спектра растительных материалов, в том числе нетрадиционных (шелуха, листья, стебли).

**Результаты и их обсуждение.** Сушка растительного материала под вакуумом, то есть в ситуации, когда давление в области сушки ниже атмосферного позволяет добиться явления кипения жидкости в порах растительного материала при температуре ниже 100°C. Причем температура кипения напрямую зависит от глубины вакуума [14-16]. За счёт этого происходит интенсификация процесса влагоудаления при сравнительно низких температурах, благодаря чему удаётся избежать денатурации термолабильных БАВ. Поэтому важным технологическим показателем производственного процесса сушки является требуемая рабочая температура теплоносителя, при которой не происходит разложения присутствующих в составе материала функциональных компонентов и соответствующая глубина вакуума.

Следует отметить, что требование по ограничению верхнего порога температуры теплоносителя является актуальным только для второго периода сушки. Поскольку во время первого происходит испарение поверхностной жидкости с активным поглощением энергии, ввиду чего температура материала поддерживается в рамках температуры смоченного термометра психрометра. В связи с этим, наиболее рациональным для первого периода является использование одного из видов конвективной сушилки. Для растительного материала, не имеющего ярко выраженного первого периода время первой ступени сушки ограничивается началом потери БАВ.

Требуемая температура сушки определяет степень разрежения вакуумного насоса и, соответственно, определяет тип используемого насоса, а требуемая производительность определяет выбор одного варианта из типоразмерного ряда [17,18]. В таблице 1 – указаны характеристики насоса, соответствующие требуемому диапазону температуры кипения жидкости.

Таблица 1 – Характеристики ЖВН в зависимости от установленного температурного режима

Температурный диапазон, °С	Давление разрежения, кПа	Тип конструкции ЖВН
~60	20	одноступенчатый
~39	7	одноступенчатый с автоматически регулируемым нагнетательным окном
~18	2	двухступенчатый
~6	1	двухступенчатый комбинированного типа

В зависимости от начальной влажности  $C_n$  растительного материала подбирается количество ступеней процесса:

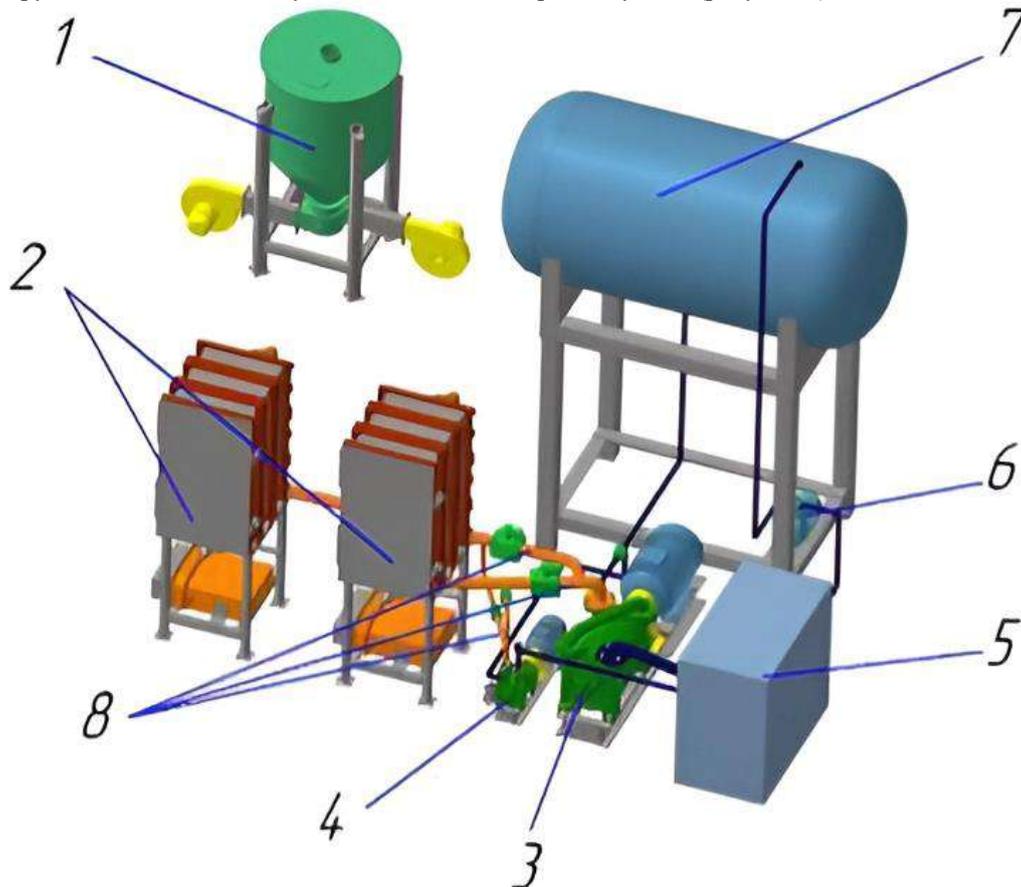
- одноступенчатая вакуумная – влажность  $C_n < 30$ ;

- двухступенчатая – влажность  $C_n \geq 30$ ;

При этом обычно конечная влажность высушенного материала составляет  $C_k = 6-10\%$ , что обосновывается требованиями к условиям хранения.

Одноступенчатая комбинированная или конвективно-вакуум-импульсная сушилка представляет собой вакуумный шкаф, который по необходимости комплектуется ёмкостью для импульсов, позволяющей применять ЖВН меньшей быстроты действия, что существенно экономит расходы на вакуумирование. Также шкаф может быть секционным, ограничение объёма каждой секции которого во время проведения импульсного воздействия также позволяет использовать вакуум-насос меньшей быстроты действия.

Однако чаще всего приходится использовать двухступенчатую модификацию конвективно-вакуумно-импульсную сушилки. Это обуславливается тем, что в большинстве случаев материал, подвергаемый сушке, имеет начальную влажность более 30%. Двухступенчатая сушка будет состоять из вакуумно-импульсного шкафа, представляющего вторую ступень и различные конструкции конвективных сушилок в качестве первой ступени (рисунок 1).



1 – конвективная сушилка с закрученным слоем; 2 – вакуумный сушильный шкаф; 3 – двухступенчатый ЖВН с последовательным включением ступеней; 4 – одноступенчатый ЖВН с регулируемым нагнетательным окном; 5 – чиллер для охлаждения рабочей жидкости; 6 – водяной насос; 7 – емкость для рециркуляции рабочей жидкости; 8 – система трубопроводов с приборами регулирования и контроля

Рисунок 1 – 3D-модель двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушилки

В тоже время любая вакуум-импульсная сушка является двухфазной. На первом этапе рабочего процесса происходит нагрев материала одним из видов теплопередачи, в частности конвективным или конвективно-кондуктивным. Причём обдув может осуществляться подогретым бескислородным теплоносителем, что уменьшает окисление БАВ. После этого происходит подача вакуума, в камере создаётся разрежение и происходит сушка до тех пор, пока температура материала не опустится до значений при которых останавливается кипение. Импульсное воздействие на материал проводится перед началом вакуумной сушки.

Для уменьшения теплопотерь в конструкцию сушилки внедряются теплоаккумуляторы позволяющие возвращать тепло в сушилку и в дальнейшем использовать его для обогрева кондуктивным способом [19-20]. При этом сушилки в которых сочетаются несколько видов подвода тепла, например, конвективная с использованием кондуктивного, ТВЧ или инфракрасного нагрева, называют комбинированными.

Первая ступень двухступенчатой конвективной или комбинированной вакуум-импульсной сушилки может быть представлена в виде одной из следующих конструкций. Наибольшее распространение получила лотковая конвективная сушилка с неподвижным слоем [16]. Также могут применяться конвективная конвейерная сушилка с осциллирующей подачей теплоносителя [21], конвективная сушилка со взвешенным закрученным слоем, конвективная сушилка с псевдооживленным или виброкипящим слоем [14].

В результате классификацию вакуумных сушилок можно представить в виде следующей схемы (рисунок 2).

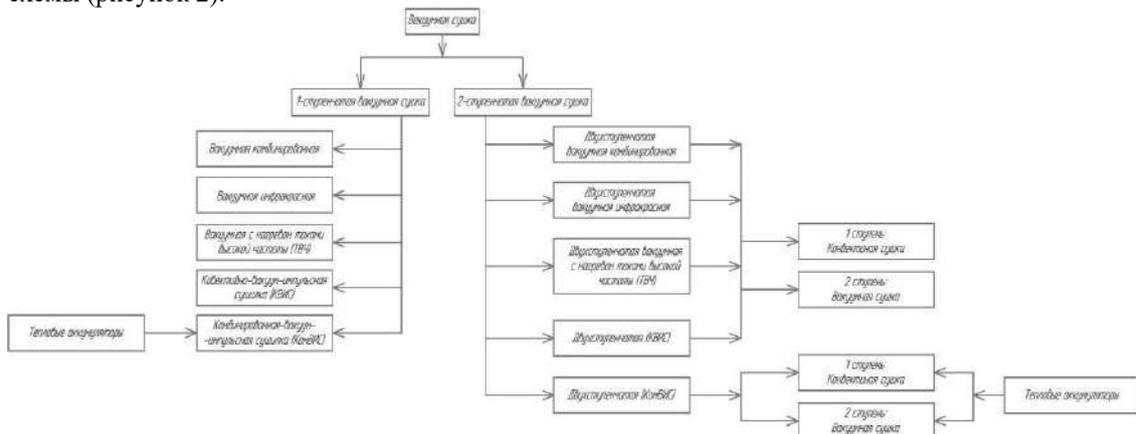


Рисунок 2 – Классификация вакуумных сушилок

Проводимый анализ качества получаемых при помощи двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушилки продуктов показал высокий уровень сохранения биологически активных веществ, что позволяет применять их для различных пищевых функциональных и лечебно-профилактических продуктов [22-24]. Причём высушенные продукты могут использоваться как сырьё, используемое для дальнейшей переработки и включения в состав, так и в качестве самостоятельного продукта [25,26]. На рисунке 3 представлены варианты получаемых продуктов.

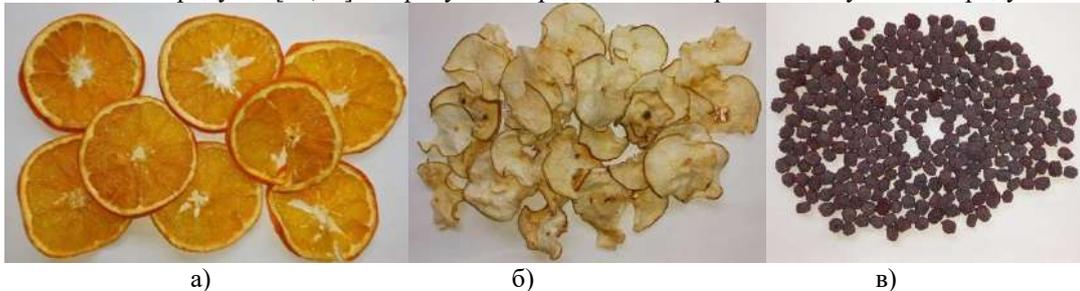


Рисунок 3 – Продукты, высушенные при помощи ДКВИС:  
 а – апельсин, б – груша, в – черноплодная рябина

**Заключение.** Использование вакуумной сушилки для переработки продукции растениеводства позволяет сохранить максимальное количество биологически активных веществ и функциональных компонентов в составе, что позволяет применять такие продукты в качестве полуфабрикатов для производства здорового питания и лекарственных средств, а также использовать их непосредственно для питания.

В настоящее время существует несколько разновидностей вакуумных сушилок, которые можно объединить в единую классификацию. В первую очередь они подразделяются на одноступенчатые и двухступенчатые. Затем производят разделение по типу подвода тепла к высушиваемому материалу. Выделяют конвективный, кондуктивный, инфракрасный, ТВЧ и комбинированный способы. При этом отдельный интерес представляет внедрение теплоаккумуляторов позволяющих вернуть часть теряемой тепловой энергии в сушилку.

Для организации вакуума наиболее целесообразно использовать жидкостнокольцевой вакуумный насос, подбор которого осуществляют исходя из требуемой температуры сушки материала.

#### Список источников

1. Гинсбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов/ А.С. Гинсбург - М.: Пищевая промышленность. 1973. - 528 с.
2. Технология хранения, переработки и стандартизация растениеводческой продукции: учебник / В.И. Манжесов [и др.]. – СПб. : Троицкий мост, 2010. – 704 с.
3. Синха Н.К. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции / Н.К. Синха, И.Г. Хью. (ред.) – Пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2014. – С. 912.
4. Разработка рецептуры смеси овощных и фруктовых порошков для приготовления безалкогольных напитков / И. В. Иванова, Д. А. Козодаева, М. В. Коновалов, А. Ю. Григорьева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. – № 3(7). – С. 26-33. – EDN UZNEOD.
5. Филоненко, Г.К. Сушка пищевых растительных материалов / Г.К. Филоненко. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 440 с.
6. Лыков А.В. Теория сушки/ А.В. Лыков - 2-е изд.- М.: Энергия, 1968. - 471 с.
7. Теплотехника: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / Рудобашта С. П. ; Ассоц. "Агрообразование". - Москва : КолосС, 2010. - 598 с.
8. Родионов Ю.В. Совершенствование теоретических методов расчетов и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК: дис...д.т.наук: : 05.20.01: защищена 29.03.13 г. / Родионов Юрий Викторович - Мичуринск-Наукоград , 2013. - 435 с
9. Попова И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Мичуринск, 2009. – С. 161.
10. Иванова Е.П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения: дис. ... канд. с.-х. наук: 05.18.01 – Мичуринск-наукоград, 2016 – С. 152.
11. Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Тамбов, 2019. – С. 156.
12. Перфилова, О. В. Переработка вторичного фруктово-овощного сырья с использованием электрофизических методов: расширение ресурсного потенциала и ассортимента продуктов повышенной пищевой ценности, разработка инновационных технологических решений: дис... док. техн. наук: 05.18.01. – Воронеж, 2019. – 437 с.
13. Блинникова, О.М. Перспективные способы сушки плодов и ягод / О.М. Блинникова // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы III междунар. науч.-пакт. конф. (30-31 октября 2013 г.). – Воронеж: ВГУИТ, 2013. – с. – 37-39.
14. Попова И.В. Условия комбинированной конвективной вакуум-импульсной сушки растительных продуктов/ Ю.В. Родионов, С.А. Щербаков, В.М. Дмитриев, В.Г. Однолько, С.С.

Хануни// Вопросы современной науки и практики. Университет В.И. Вернадского. Т.2. №4(14), ТГТУ 2008 г., С. 21-25.

15. Родионов, Ю.В. Сравнительный анализ эффективности сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки / Ю.В. Родионов., И.В. Попова, Д.А. Шацкий // Труды международного технического семинара: к 100-летию А.В. Лыкова. – Воронеж, 2010. - С. 160-167.

16. Скрипников Ю.Г. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников, М.А. Митрохин, Е.П. Ларионова, Ю.В. Родионов, А.С. Зорин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского – 2012 – №3 (41) – С. 371-376.

17. Родионов, Ю. В. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов / Ю.В. Родионов, В.Г. Однолько, И.В. Попова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6 (20). – С. 106-110

18. Применение жидкостнокольцевых вакуумных насосов при сушке растительного сырья / А. И. Завражнов, М. А. Митрохин, Е. В. Пальчиков [и др.] // Проблемы развития АПК региона. – 2014. – Т. 17, № 1(17). – С. 63-67. – EDN SBPQGX.

19. Пат. 2716056 С1 РФ, МПК F26B 17/10 F26B 5/04, Энергоэффективная конвективно-вакуум-импульсная сушильная установка с тепловыми аккумуляторами / Зорин А.С., Иванова И.В., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Щегольков А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». № 2019106971; заявл. 13.03.2019; опубл. 06.03.2020. Бюл. № 7.

20. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов в системах сушки растительного сырья / Родионов Ю.В., Щегольков А.В., Никитин Д.В., Зорин А.С. // Наука в центральной России. – 2020. – № 1 (43). – С. 43-50.

21. Разработка аппаратного оформления сушки полидисперсных растительных материалов / Э. С. Иванова, А. Б. Гриднев, А. А. Подольский [и др.] // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья : материалы I Всероссийской конференции с международным участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. – С. 239-243. – EDN ZYQQBT.

22. Проблемы и перспективы производства растительных порошков / Ю.В. Родионов, О.В. Ломакина, Д.В. Никитин, Ю.А. Чумиков, А.С. Ратушный, С.И. Данилин, Ю.Ю. Родионов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 1 (27). – С. 69-77.

23. Технология переработки пастернака, тыквы и яблок в порошок для функционального питания / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, С.И. Данилин, М.А. Митрохин, М.В. Утешев, Н.Н. Мочалин, Ю.Ю. Родионов // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3 (35). – С. 214-220.

24. Исследование и выбор режимных параметров сушки чеснока сорта «Юбилейный Грибовский» / Э.С. Иванова, Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, С.И. Данилин, А.С. Ратушный // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 4. – С. 67-73.

25. Разработка режима вакуумной сушки перца сорта «Ласточка» / А.И. Скоморохова, А.А. Завьялов, Ю.В. Родионов, А.С. Зорин // Инновационная техника и технология. – 2019. – № 3 (20). – С. 23-28.

26. Иванова Э.С. Исследование процесса сушки топинамбура / Э.С. Иванова, А.И. Скоморохова, В.А. Кольцов, Ю.В. Родионов, В.П. Капустин, Д.В. Никитин // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 77-85.

#### References

1. Ginsburg A.S. Fundamentals of the theory and technology of drying food products / A.S. Ginsburg - M.: Food industry. 1973. - 528 p.
2. Technology of storage, processing and standardization of crop products: textbook / V.I. Manzhosov [and others]. – St. Petersburg. : Trinity Bridge, 2010. – 704 p.
3. Sinha N.K. Handbook for producers and processors of fruits and vegetables / N.K. Sinha, I.G. Hough. (ed.) – Trans. from English – St. Petersburg: Profession, 2014. – P. 912.

4. Development of a recipe for a mixture of vegetable and fruit powders for the preparation of soft drinks / I. V. Ivanova, D. A. Kozodaeva, M. V. Konovalov, A. Yu. Grigorieva // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2015. – No. 3(7). – P. 26-33. – EDN UZNEOD.
5. Filonenko, G.K. Drying of food plant materials / G.K. Filonenko. – M.: Food Industry, 1971. – 440 p.
6. Lykov A.V. Theory of drying / A.V. Lykov - 2nd ed. - M.: Energy, 1968. - 471 p.
7. Thermal engineering: a textbook for students of higher educational institutions studying in the direction of "Agroengineering" / Rudobashta S.P.; Assoc. "Agroeducation". - Moscow: KolosS, 2010. - 598 p.
8. Rodionov Yu.V. Improving theoretical calculation methods and substantiating the parameters and modes of liquid ring vacuum pumps, taking into account the peculiarities of technological processes in the agro-industrial complex: dissertation ... doctor of technical sciences.: 05.20.01: defended 03.29.13 / Rodionov Yuri Viktorovich - Michurinsk-Naukograd, 2013. - 435 s
9. Popova I.V. Improvement of technology and means of drying vegetable raw materials: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01. – Michurinsk, 2009. – P. 161.
10. Ivanova E.P. Development of technology for preparing dry sourdough based on plant raw materials for the production of functional bakery products: dis. ...cand. agricultural Sciences: 05.18.01 – Michurinsk-naukograd, 2016 – P. 152.
11. Zorin A.S. Improving the technology and technical means of combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01. – Tambov, 2019. – P. 156.
12. Perfilova, O. V. Processing of secondary fruit and vegetable raw materials using electrophysical methods: expanding the resource potential and range of products with increased nutritional value, developing innovative technological solutions: diss... doc. tech. Sciences: 05.18.01. – Voronezh, 2019. – 437 p.
13. Blinnikova, O.M. Promising methods of drying fruits and berries / O.M. Blinnikova // New in the technology and technology of functional foods based on medical and biological views: materials of the III international. scientific pact conf. (October 30-31, 2013). – Voronezh: VGUI, 2013. – p. – 37-39.
14. Popova I.V. Conditions for combined convective vacuum-pulse drying of plant products / Yu.V. Rodionov, S.A. Shcherbakov, V.M. Dmitriev, V.G. Only, S.S. Hanuni // Issues of modern science and practice. University of V.I. Vernadsky. T.2. No. 4(14), TSTU 2008, pp. 21-25.
15. Rodionov, Yu.V. Comparative analysis of the effectiveness of sublimation and two-stage convective vacuum-pulse drying / Yu.V. Rodionov., I.V. Popova, D.A. Shatsky // Proceedings of the international technical seminar: to the 100th anniversary of A.V. Lykova. – Voronezh, 2010. - pp. 160-167.
16. Skripnikov Yu.G. Innovative technologies for drying vegetable raw materials / Yu.G. Skripnikov, M.A. Mitrokhin, E.P. Larionova, Yu.V. Rodionov, A.S. Zorin // Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky – 2012 – No. 3 (41) – P. 371-376.
17. Rodionov, Yu. V. Justification for the choice of vacuum pumps for the convective vacuum stage of drying plant materials / Yu.V. Rodionov, V.G. Odnolko, I.V. Popova // Issues of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky. – 2009. – No. 6 (20). – pp. 106-110
18. Application of liquid ring vacuum pumps in drying plant raw materials / A. I. Zavrashnov, M. A. Mitrokhin, E. V. Palchikov [etc.] // Problems of development of the regional agro-industrial complex. – 2014. – T. 17, No. 1(17). – pp. 63-67. – EDN SBPQGX.
19. Pat. 2716056 C1 RF, MPK F26B 17/10 F26B 5/04, Energy-efficient convective-vacuum-pulse drying unit with thermal accumulators / Zorin A.S., Ivanova I.V., Nikitin D.V., Rodionov Yu.V., Shchegolkov A.V.; applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "TSTU". No. 2019106971; application 03/13/2019; publ. 03/06/2020. Bull. No. 7.
20. Application of nanomodified heat-accumulating materials in drying systems for plant raw materials / Rodionov Yu.V., Shchegolkov A.V., Nikitin D.V., Zorin A.S. // Science in central Russia. – 2020. – No. 1 (43). – P. 43-50.

21. Development of hardware for drying polydisperse plant materials / E. S. Ivanova, A. B. Gridnev, A. A. Podolsky [et al.] // Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials: materials of the I All-Russian conference with international participation, Tambov, May 24–25, 2019. – Tambov: Tambov State Technical University, 2019. – P. 239-243. – EDN ZYQQBT.

22. Problems and prospects for the production of plant powders / Yu.V. Rodionov, O.V. Lomakina, D.V. Nikitin, Yu.A. Chumikov, A.S. Ratushny, S.I. Danilin, Yu.Yu. Rodionov // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2019. – No. 1 (27). – pp. 69-77.

23. Technology for processing parsnips, pumpkins and apples into powders for functional nutrition / Yu.V. Rodionov, D.V. Nikitin, S.I. Danilin, M.A. Mitrokhin, M.V. Uteshev, N.N. Mochalin, Yu.Yu. Rodionov // Problems of development of the regional agro-industrial complex. – 2018. – No. 3 (35). – pp. 214-220.

24. Research and selection of regime parameters for drying garlic of the “Yubileiny Gribovsky” variety / E.S. Ivanova, Yu.V. Rodionov, D.V. Nikitin, S.I. Danilin, A.S. Ratushny // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2019. – No. 4. – P. 67-73.

25. Development of a vacuum drying mode for pepper of the “Lastochka” variety / A.I. Skomorokhova, A.A. Zavyalov, Yu.V. Rodionov, A.S. Zorin // Innovative equipment and technology. – 2019. – No. 3 (20). – pp. 23-28.

26. Ivanova E.S. Study of the drying process of Jerusalem artichoke / E.S. Ivanova, A.I. Skomorokhova, V.A. Koltsov, Yu.V. Rodionov, V.P. Kapustin, D.V. Nikitin // Science in central Russia. – 2019. – No. 2 (38). – pp. 77-85.

#### **Информация об авторах**

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; С.И. Данилин – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; Г.В. Рыбин – магистрант; А.С. Зорин – кандидат технических наук; О.А. Зорина – аспирант; В.А. Талыков – директор Тамбовского филиала ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ».

#### **Information about the authors**

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Danilin – Candidate of Agricultural Sciences, Professor; G. Rybin - master's student; A. Zorin – Candidate of Technical Sciences; O. Zorina – graduate student; V. Talykov - director Tambov branch of Michurinsky State Agrarian University.

**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): 10.04.2024      Принята к публикации (Accepted): 14.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 631.362.34  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-16-28

## ДИНАМИКА ПРОЦЕССА ТРИЕРНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОСМЕСИ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

*Николай Петрович Тишанинов*<sup>1</sup>, *Александр Витальевич Анашкин*<sup>2</sup>,  
*Константин Николаевич Тишанинов*<sup>3</sup>, *Сергей Владимирович Емельянович*<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*  
<sup>1</sup>vniitinlab5@mail.ru, <sup>2</sup>av-anashkin@mail.ru, <sup>3</sup>tishaninovkn@rambler.ru, <sup>4</sup>seruvarovo@yandex.ru

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

**Реферат.** Динамику выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по длине ячеистой поверхности рассматривали. Выявлены новые физические эффекты, оказывающие существенное влияние на интенсивность процесса выделения зерновок, и определены зоны их влияния. Закономерности протекания процесса по длине рабочей поверхности установлены с целью повышения его качества за счет автоматизированного управления режимами работы. Исследования выполнены с использованием стендов, обеспечивающих непрерывный отвод выделяемых частиц и интервальный по времени процесс контроля выделяемых масс частиц, а также с помощью экспериментального оборудования с отдельной подачей компонентов зерносмеси в триер и замкнутой циркуляцией рабочей среды. Установлено, что интенсивность выделения зерновок изменяется по длине ячеистого цилиндра в 38 раз, линейно нарастая на первом участке до максимума при циркуляции 4-х – 5-ти слоев в зерновом сегменте и резко падая по параболическому закону на втором участке. Характер протекания процесса на первом участке обусловлен постепенным преодолением отрицательного воздействия на процесс эффекта динамического «выедания» зерновок из ячей, а максимальная интенсивность процесса обеспечивается эффектом инерционного удержания контактирующего слоя, когда на каждую ячею приходится вынос более 4-х зерновок основной культуры. Нарушение сплошности циркуляции зернового слоя в конце ячеистого цилиндра и недостаточный скоростной режим работы триера приводят к технологическим потерям до 35 % даже на малых подачах зерносмеси в триер (1,2 т/ч). Сход примесного компонента ( $\geq 1\%$ ) компенсирует нарушение сплошности циркулирующего слоя икратно снижает технологические потери. Завышение скоростного режима работы относительно величины подачи зерносмеси в триер снижает загрузку ячеистого цилиндра по длине и создает предпосылки роста остаточной засоренности зерна в 3,5 – 7,4 раза на подачах 1,2 – 1,84 т/ч.

**Ключевые слова:** триер, зерносмесь, очистка, динамика, потери, остаточная засоренность.

## DYNAMICS OF THE PROCESS OF TRIER SEPARATION OF THE GRAIN MIXTURE AT DIFFERENT OPERATING MODES

*Nikolai Tishaninov*<sup>1</sup>, *Alexander Anashkin*<sup>2</sup>, *Konstantin Tishaninov*<sup>3</sup>, *Sergey Emelyanovich*<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,  
Tambov, Russian Federation*  
<sup>1</sup>vniitinlab5@mail.ru, <sup>2</sup>av-anashkin@mail.ru, <sup>3</sup>tishaninovkn@rambler.ru, <sup>4</sup>seruvarovo@yandex.ru

**Abstract.** The dynamics of the release of grains of the main crop from the grain mixture along the length of the cellular surface was considered. New physical effects have been identified that have a significant impact on the intensity of the process of caryopsis release, and the zones of their influence have been determined. The regularities of the process along the length of the working surface have been

established in order to improve its quality through automated control of operating modes. The studies were carried out using stands that provide continuous removal of released particles and time-interval monitoring of the released masses of particles, as well as using experimental equipment with separate supply of grain mixture components to the trier and closed circulation of the working environment. It has been established that the intensity of grain release varies along the length of the cellular cylinder by 38 times, linearly increasing in the first section to a maximum with the circulation of 4–5 layers in the grain segment and sharply falling according to a parabolic law in the second section. The nature of the process in the first section is due to the gradual overcoming of the negative impact on the process of the effect of dynamic “eating” of grains from the cells, and the maximum intensity of the process is ensured by the effect of inertial retention of the contacting layer, when more than 4 grains are removed per cell main culture. Violation of the continuity of circulation of the grain layer at the end of the cellular cylinder and insufficient speed mode of operation of the trier lead to technological losses of up to 35% even at small feeds of the grain mixture into the trier (1.2 t/h). The disappearance of the impurity component ( $\geq 1\%$ ) compensates for the violation of the continuity of the circulating layer and significantly reduces technological losses. Increasing the speed of operation relative to the amount of grain mixture supplied to the trier reduces the loading of the cellular cylinder along its length and creates the preconditions for an increase in residual grain contamination by 3.5 - 7.4 times at feed rates of 1.2 - 1.84 t/h.

**Keywords:** trier, grain mixture, cleaning, dynamics, losses, residual contamination.

**Для цитирования:** Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Емельянович С.В. Динамика процесса триерного разделения зерносмеси на различных режимах работы // Наука в Центральной России. 2024. Т. 69, № 3. С. 16-28. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-16-28>.

**For citation:** Tishaninov N, Anashkin A., Tishaninov K., Emelyanovich S. Dynamics of the process of trier separation of the grain mixture at different operating modes. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 16-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-16-28>.

**Введение.** Динамика процесса триерной очистки зерносмесей является наиболее содержательной его характеристикой, определяющей основные результивные показатели и эффективность технологии в целом. Недостаточная динамика выделения зерновок основной культуры снижает производительность очистки зерносмеси и показатель качества процесса по технологическим потерям. Избыточная динамика выделения зерновок основной культуры приводит к неполной загрузке ячеистой поверхности по длине, а наличие свободной ячеистой поверхности является условием роста остаточной засоренности (до 2,8 раз [1]). Поэтому объективные знания о динамике процесса триерной очистки зерносмесей являются основой его управления по критериям, определяющим эффективность и качество.

Профессор Летошнев М.Н. связывает динамику процесса в триерах со скоростями осевого и углового смещения циркулирующих слоев сегмента зерносмеси [2], а также с динамическим углом ската. Вместе с тем автор указывает на сложную и многофакторную ее взаимосвязь с режимами работы, настроечными параметрами и свойствами рабочей среды. Эти взаимосвязи возможно объективно оценить только по результатам широкого эксперимента.

Академик Листопад Г.Е. [3] рассматривал динамику выделения зерновок основной культуры и примесных частиц во взаимосвязи с размерными параметрами ячеистого цилиндра и удельной нагрузкой на единицу его площади. Такой подход не позволяет учитывать весьма существенные физические эффекты: динамического «выедания» частиц из ячеек; инерционного удержания контактирующего слоя; динамической разновекторной сегрегации примесных частиц в циркулирующих слоях сегмента; примесного блокирования технологических потерь. Поэтому теоретические оценки производительности автором [3] в 2-3 раза расходятся с опытными данными. Кроме того, указанные физические эффекты неоднозначно и поочередно (первые два эффекта) оказывают влияние на динамику процесса по длине ячеистого цилиндра в зависимости от числа циркулирующих слоев. Из-за этого интенсивность выделения частиц на его длине изменяется в десятки раз. Без учета этих явлений невозможно эффективное управление технологическим процессом.

Авторы [4] придерживаются аналогичного подхода к оценке производительности триера – по удельной нагрузке на ячеистую поверхность. Более того, авторы утверждают, что «почти для всех сельскохозяйственных культур» существует один (оптимальный) коэффициент кинематического режима работы триера, игнорируя взаимосвязь динамики выделения частиц со скоростным режимом работы и настройкой выводного лотка. Тех же позиций в оценке динамики выделения частиц из зерносмеси ячеистыми поверхностями придерживаются и авторы работ [5-11], которые связывают ее с частными условиями протекания процесса, они не смогли раскрыть принципиальных отличий динамики процесса по длине ячеистой поверхности в зависимости от меняющегося числа циркулирующих слоев зерносмеси в сегменте.

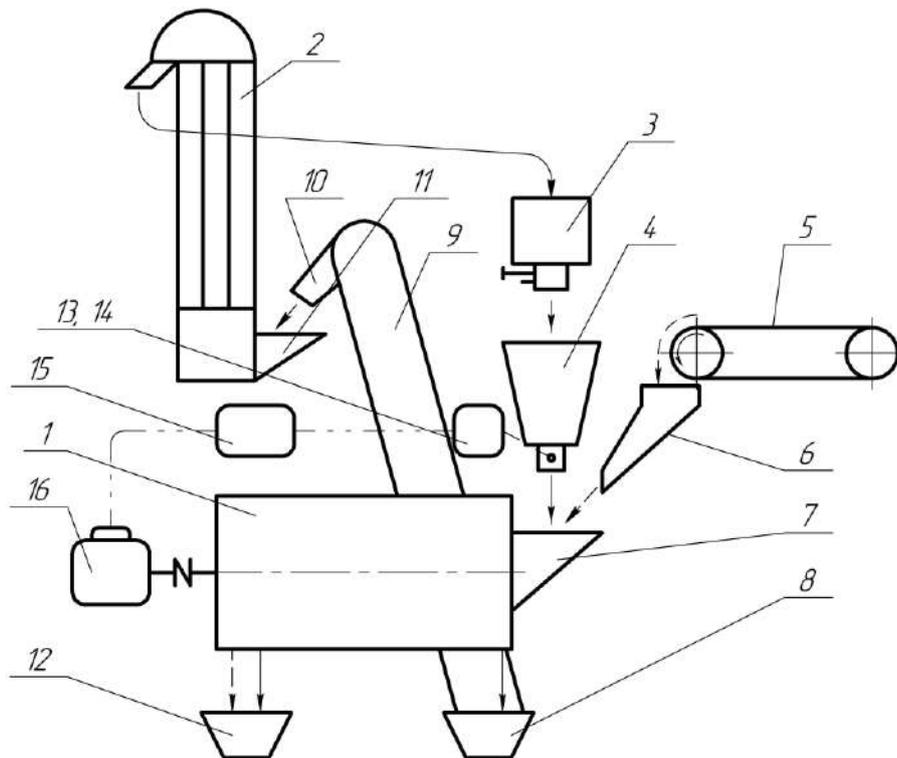
Частным резервам эффективности триерных технологий посвящены и работы авторов [12-15]. В них оценивается влияние на технологический процесс переменной угловой скорости цилиндра, угла его наклона к горизонту, осевых колебаний цилиндра и некоторых других факторов. Наиболее значимой причиной ограничений в базе накопленных знаний о триерных технологиях является несовершенство экспериментального оборудования и методологии исследований. В большой степени эти недостатки восполнены разработками ФГБНУ ВНИИТиН [16-18], которые обеспечивают условия для расширения исследований по динамике триерных процессов.

**Материалы и методы.** Исследования интенсивности выделения зерновок основной культуры ( $W_v$ ) в зависимости от времени ( $t$ ) движения сегмента зерносмеси по цилиндру длиной ( $L$ ) проводили с использованием стендового оборудования [1], разработанного ФГБНУ ВНИИТиН. Взаимосвязи  $W_v = f(t, L)$ , полученные при непрерывном отводе выделенных зерновок разработанными стендами, наиболее информативны для толкования закономерностей протекания процесса и новых физических эффектов. Кроме того они являются объективной основой выработки решений по управлению процессом. Однако, не менее значимые показатели качества процесса объективно могут быть оценены только по результатам исследований натуральных образцов триерного оборудования из-за ограниченных возможностей переноса стендовых результатов исследований на «натуру» и неизбежных конструктивных отличий между ними.

Именно из-за конструктивных отличий технических решений реального технологического процесса удлиняется время его стабилизации, а параметры схода компонентов зерносмеси, определяющие показатели качества, зависят от конкретного исполнения розетки. Поэтому дополняющие показатели получены с использованием экспериментальной установки с раздельной подачей компонентов зерносмеси и замкнутой циркуляцией рабочей среды, рисунок 1.

Экспериментальная установка работает следующим образом. В триер 1 посредством перевалочной норрии 2, дозатора 3 и регулятора 4 через приемную горловину 7 подается основная культура. Примесный компонент, равномерно распределенный с заданной программой эксперимента погонной массой на ленточном питателе 5, также подается последним через лоток 6 в приемную горловину 7. Согласно величине подачи зерна основной культуры ( $W_n$ ) в триер регулятор 4 оказывает управляющее воздействие ( $\alpha$ ) (со 100-процентной корреляцией взаимосвязи  $\alpha \rightarrow W_n$ ) на передаточный механизм 13 с переменным резистором 14, которые задают частоту тока преобразователем 15 и изменяют скоростной режим привода 16 триера 1. Очищенное зерно поступает в накопитель 8, из которого возвратным транспортером 9 через отвод 10 подается в приемный бункер 11 перевалочной норрии 2. Затем процесс повторяется с заданными исходными условиями, что позволяет гарантировать стабилизацию процесса при всех сочетаниях компонентов зерносмеси, вариантах заданных режимов работы и настроечных параметров триера. Стабильное протекание процесса триерной сепарации зерносмеси, контролируемое по сходам ее компонентов в емкость 12, обеспечивает объективность исследуемых закономерностей. Отбор проб сходов производили с интервалом времени 30 с продолжительностью по 5 с. Равномерное распределение примесного компонента с заданной погонной дозировкой на ленточном питателе 5 производили при включенном его состоянии посредством распределительных коробов. Это позволяло при ограниченных размерах ленты обеспечивать практически неограниченную продолжительность опытов. При большей дозировке примеси использовали распределительные короба без днища сечением 60×70 мм и длиной 600 мм с разделительной торцевой стенкой треугольной формы. При меньших дозировках примеси использовали оборачиваемые распределительные короба длиной 600 мм и различными поперечными габаритами: 14×13 мм;

24×21 мм; 24×13 мм. Меньшие поперечные размеры оборачиваемых коробов и вариативная кратность их разгрузки на ленте питателя 5 обеспечивали оперативное изменение дозировки примеси в широких пределах. Физико-механические свойства рабочей среды определяли по ГОСТ 10840-64, ГОСТ 13586.5-2015 и разработанными ФГБНУ ВНИИТиН приборами (патенты РФ №№ 2748565, 2770416, 2749655).



1 – триер; 2 – перевалочная нория; 3 – дозатор; 4 – регулятор; 5 – ленточный питатель; 6 – лоток; 7 – приемная горловина; 8 – накопитель; 9 – возвратный транспортер; 10 – отвод; 11 – приемный бункер; 12 – емкость; 13, 14 – передаточный механизм с переменным резистором; 15 – частотный преобразователь; 16 – привод;

—→ зерновки основной культуры;    - - - - -→ примесные частицы

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

**Результаты и их обсуждение.** Закономерности изменения интенсивности выделения зерновок основной культуры ( $W_v$ ) из зерносмеси по времени смещения сегмента единичной длины, полученные с использованием стенда циклического действия (патент РФ № 3616201) с непрерывным отводом и интервальным контролем выделенных масс ( $\Delta m_i$ ), представлены на рисунке 2.

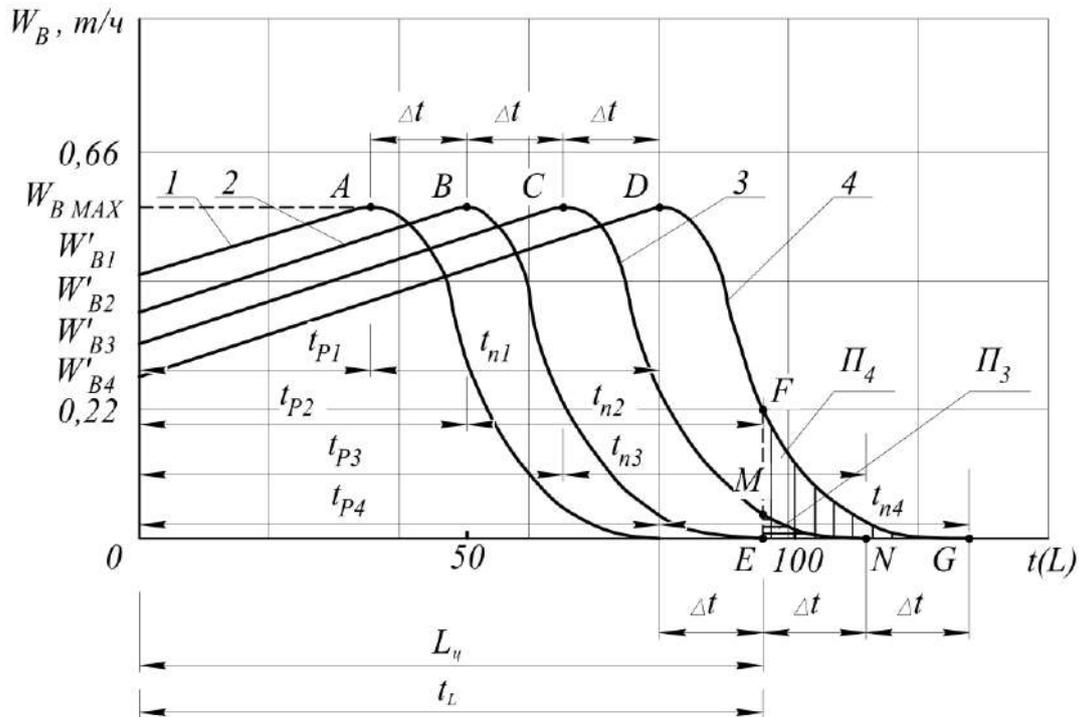


Рисунок 2 – Динамика выделения зерновок основной культуры из зерносмеси ячеистой поверхностью при различных режимах загрузки стенда

Загрузка стенда по массе зерна ( $m_3$ ) изменялась с равным интервалом ( $\Delta m_i = 2$  кг) в диапазоне  $m_3 = 7 - 13$  кг. В результате эксперимента впервые были установлены закономерности интенсивности выделения зерновок основной культуры из сегмента зерносмеси единичной длины по времени (эквивалентному длине ячеистой поверхности) и два новых физических эффекта – динамического «выедания» зерновок из ячеек контактирующим слоем и инерционного удержания и выноса контактирующего слоя.

Эти результаты возможно было получить с использованием стендов, созданных в ФГБНУ ВНИИТиН, обеспечивающих непрерывный и контролируемый отвод выделенных частиц. Летошнев М.Н. [2], Павловский Г.Т. [6] и другие авторы исследовали сегмент зерносмеси единичной длины (условно) с использованием стендов циклического действия и прозрачной торцевой стенкой лишь для установления динамических параметров сегмента и факела выброса частиц.

Установленные в ФГБНУ ВНИИТиН взаимосвязи  $W_B = f(t, L)$  позволяют выделить две характерные зоны по оси  $t (L)$ , обусловленные указанными выше физическими эффектами. Для первой зоны ( $t_p$ ) характерен рост по времени и эквивалентной ему длине ячеистой поверхности. Рост  $W_B$  в этой зоне связан со снижением отрицательного влияния на интенсивность выделения зерновок эффекта их динамического «выедания» из ячеек контактирующим слоем по мере убывания числа циркулирующих слоев сегмента.

Для зон  $t_{pi}$  выполняется условие, определяющее динамику  $W_B$ :

$$t_{pi} \rightarrow \mathcal{E}_{взя} > \mathcal{E}_{укс}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{взя}$  – эффект динамического «выедания» зерновок из ячеек;

$\mathcal{E}_{укс}$  – эффект инерционного удержания контактирующего слоя.

Величины  $t_p$  имеют равноинтервальные приращения, соответствующие аналогичному характеру интервального роста загрузки стенда по величине  $m_3$ . Их соотношения можно выразить уравнением:

$$t_{p4} = t_{p1} + 3(\Delta t) = t_{p2} + 2(\Delta t) = t_{p3} + \Delta t. \quad (2)$$

В конце периодов времени  $t_{pi}$  (точки А, В, С, D) интенсивность выделения зерновок достигает максимального значения ( $W_{B \max}$ ) при любых величинах  $m_{zi}$  на заданных скоростном режиме работы ( $n$ ) и углом положения выводного лотка ( $\gamma_n$ ). Для этих точек выполняется условие:

$$\text{в точках А, В, С, D} \rightarrow (\mathfrak{E}_{взя} = 0; \mathfrak{E}_{укс} = \mathfrak{E}_{укс \max}). \quad (3)$$

В точках А, В, С, D второй физический эффект преобладает над первым – «выедание» зерновок из ячеек прекращается, а инерционное удержание контактирующего слоя проявляется максимально. Подтверждением этого является то, что расчетная по результатам опытов степень заполнения ячеек ( $C_{я}$ ) превышает 4 зерновки пшеницы. Физически 4 зерновки в ячейе  $\varnothing 8,5$  мм разместиться не могут, однако значительная часть инерционно удерживаемого контактирующего слоя выбрасывается в выводной лоток, увеличивая расчетное значение  $C_{я}$ .

Максимальным значениям  $W_B$  в точках А, В, С, D независимо от величины подачи зерносмеси в триер соответствует оптимальное число циркулирующих слоев в сегменте – их 4 – 5 шт в зависимости от  $n$ ,  $\gamma_n$  и свойств зерносмеси. При  $\gamma_n < 40^\circ$  число циркулирующих слоев в точках А, В, С, D увеличивается до 6 – 11 шт.

Далее происходит резкая потеря интенсивности выделения зерновок основной культуры. Причем закономерности снижения  $W_B$  и  $C_{я}$  во второй зоне идентичны, так как исходные условия в точках А, В, С и D одинаковые, а условия по режиму работы ( $n$ ) и настройке лотка ( $\gamma_n$ ) сохраняются:

$$t_{n1} = t_{n2} = t_{n3} = t_{n4}. \quad (4)$$

Для второй зоны характерно кардинальное изменение динамики процесса, которое можно выразить условием:

$$t_{ni} \rightarrow (W_{Bi} \rightarrow \min; C_{яi} \rightarrow \min). \quad (5)$$

Экспериментально подтверждено, что при подаче зерносмеси в триер  $W_n = 3,4$  т/ч,  $n = 40$  об/мин,  $\gamma_n = 40^\circ$  величины  $W_B$  и  $C_{я}$  изменяются в 38 раз. На конечном (по движению сегмента зерносмеси) участке ячейистого цилиндра при  $W_{n \text{ опт}}$ , когда технологические потери  $\Pi \rightarrow 0$ , захват зерновок ячейями становится маловероятным. На этом участке отсутствует сплошность циркулирующих слоев сегмента зерносмеси, а динамическое воздействие на зерновки задних стенок ячеек велико. Оно превышает силы гравитации и инерции, выбивая зерновки из зоны захвата ячейями.

Загрузка конечного участка ячейистого цилиндра в значительной мере определяет качество триерной очистки зерна. При подаче  $W_n < W_{n \text{ опт}}$  конечный участок становится свободным от зерновок основной культуры, а сход длинных примесных частиц создает риски роста остаточной засоренности зерна, так как длинные примесные частицы, обладая связностью, захватываются свободными ячейями и забрасываются в лоток с чистым зерном. При подаче  $W_n > W_{n \text{ опт}}$  возрастают технологические потери ( $\Pi > [\Pi]$ ). На рисунке 2 этому условию работы триера соответствуют варианты 3 и 4, а величины технологических потерь отображены заштрихованными участками соответственно EMN и EFG.

Используя стендовые характеристики динамики выделения зерновок основной культуры из зерносмеси, определим средние величины  $\bar{W}_{Bi}$  для  $i$ -ых величин подачи ( $W_{ni}$ ):

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{W}_{B1} = \left[ \frac{W_{B \max} + W'_{B1}}{2} \times t_{p1} + \int_0^{t_{n1}} W_B(t_n) dt_n \right] / (t_{p1} + t_{n1}); \\ \bar{W}_{B2} = \left[ \frac{W_{B \max} + W'_{B2}}{2} \times t_{p2} + \int_0^{t_{n2}} W_B(t_n) dt_n \right] / (t_{p2} + t_{n2}); \\ \bar{W}_{B3} = \left[ \frac{W_{B \max} + W'_{B3}}{2} \times t_{p3} + \int_0^{t_{n3} - \Delta t} W_B(t_n) dt_n \right] / (t_{p3} + t_{n3} - \Delta t); \\ \bar{W}_{B4} = \left[ \frac{W_{B \max} + W'_{B4}}{2} \times t_{p4} + \int_0^{t_{n4} - 2(\Delta t)} W_B(t_n) dt_n \right] / [t_{p4} + t_{n4} - 2(\Delta t)]. \end{array} \right. \quad (6)$$

Величины технологических потерь в вариантах загрузки стенда 3 и 4 можно определить по формулам:

$$P_3 = \int_{t_{n3}-\Delta t}^{t_{n3}} W_B(t_n) dt_n; \quad P_4 = \int_{t_{n4}-2(\Delta t)}^{t_{n4}} W_B(t_n) dt_n. \quad (7)$$

По средним стендовым величинам  $\bar{W}_{Bi}$  определяют величины производительности триеров с параметрами начального сегмента, эквивалентными стендовым при различных величинах загрузки ( $m_{zi}$ ). Для каждого  $\bar{W}_{Bi} = f(m_{zi})$  производительность триера будет:

$$W_{Ti} = \bar{W}_{Bi} L_{\psi} / L_{cm}, \quad (8)$$

где  $L_{\psi}$  – длина ячеистого цилиндра триера, м;

$L_{ct}$  – длина ячеистого цилиндра стенда, м.

Технологические потери и полноту выделения примесного компонента оценивали по сходам  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  на экспериментальном оборудовании, которое (в отличие от существующих) обеспечивает управляемость экспериментом в части стабилизации процесса и воспроизводимости условий опытов по составам зерносмесей, режимам работы и настроечным параметрам, рисунок 1.

Экспериментом установлено, что даже при малой подаче зерносмеси в триер ( $W_{\Pi} = 1,2$  т/ч) технологические потери могут достигать 35 % из-за недостаточного скоростного режима работы ( $n = 34,0$  об/мин) при настройке выводного лотка по углу подъема рабочей кромки  $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$ . Увеличение  $n$  на 0,6 об/мин в 3,6 раза снижает технологические потери. На этом режиме работы ( $n = 34,6$  об/мин) при исходной засоренности  $Z_{\Pi} = 1,3$  % технологические потери снижаются на порядок (до 1,09 %) за счет восстановления сплошности циркулирующего слоя сходом примеси на конечном участке ячеистого цилиндра, что улучшает захват зерновок основной культуры.

Для  $W_{\Pi} = 1,84$  т/ч скоростной режим работы триера, изменяемый в диапазоне  $n = 35,4$  об/мин – 35,8 об/мин, является недостаточным из-за недопустимого уровня технологических потерь  $P = 14,1-5,7\%$ . С увеличением  $n$  до 36,5 об/мин появляется свободная ячеистая поверхность ( $l_{cb} = 10$  см), а технологические потери снижаются до 1,59%. При  $n = 37,0 - 37,5$  об/мин величина  $l_{cb} = 25-65$  см, а технологические потери составляют  $P = 1,0 - 0,52\%$ . Включение в состав рабочей среды примеси ( $Z_{\Pi} = 1,0\%$ ) на этом режиме работы триера ( $n = 37,5$  об/мин) увеличивает  $l_{cb}$  до 80 см, время стабилизации процесса по сходам примеси ( $t_{ct(n)}$ ) и зерна ( $t_{ct(z)}$ ) составляет соответственно 17 и 6 мин, рисунок 3.

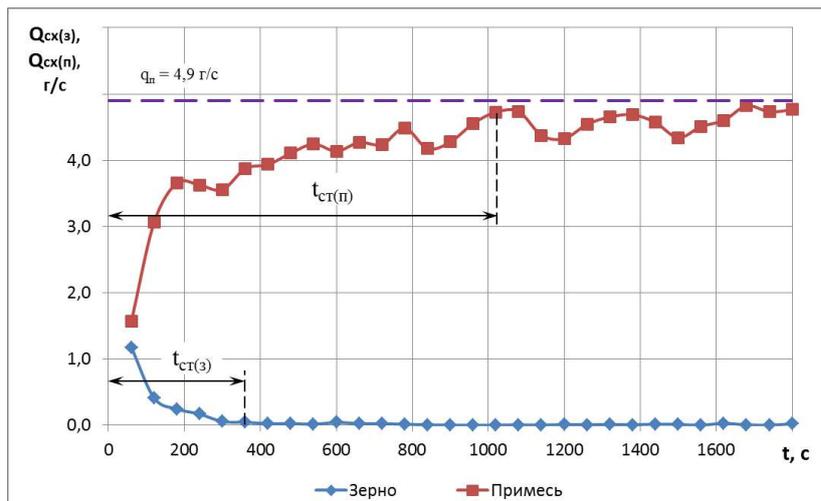


Рисунок 3 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W_{\Pi} = 1,84$  т/ч,  $Z_{\Pi} = 1$  %,  $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$ ,  $n_3 = 37,5$  об/мин

Рост  $l_{cb}$  увеличивает риски роста остаточной засоренности  $Z_o$ . В этой зоне происходит захват ячеями примесных частиц и их выброс в выводной лоток – остаточная засоренность зерна

достигает  $Z_0 = 0,042\%$  (14,6 шт/кг зерна). Этот уровень  $Z_0$  существенно превышает допустимые значения показателя, характерные для качественных семян.

Понижение скоростного режима работы триера с 37,5 об/мин до 36,6 об/мин (на 2,4%) позволяет при  $W_{\text{п}} = 1,84$  т/ч,  $Z = 1\%$ ,  $\gamma_{\text{п}} = 55^\circ$  сократить остаточную засоренность зерна в 4,7 раза (до 0,009%). При этом длина свободной поверхности ячеистого цилиндра составляет до 20 см, уровень технологических потерь  $P = 0,15\%$ , стабилизация процесса по сходу зерна завершается через 6 минут, а по сходу примеси завершается на 95,2% через 3 минуты, рисунок 4.

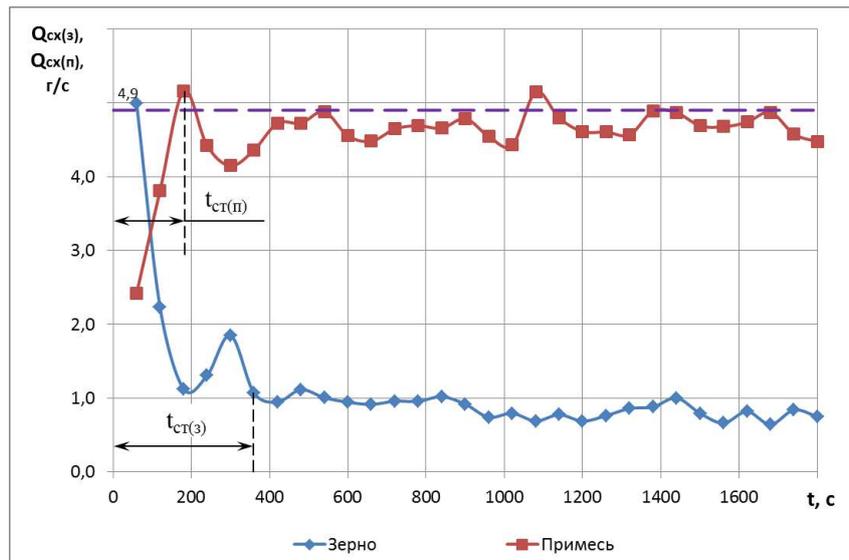


Рисунок 4 – Зависимость  $Q_{\text{сх}(з)}$  и  $Q_{\text{сх}(п)}$  от  $t$  при  $W_{\text{п}} = 1,84$  т/ч,  $Z_{\text{п}} = 1\%$ ,  $\gamma_{\text{п}} = 55^\circ$ ,  $n_4 = 36,6$  об/мин

Соизмеримое сокращение  $l_{\text{св}}$  (в 4 раза) и  $Z_0$  (в 4,7 раза) при понижении скоростного режима работы на 2,4% подтверждает гипотезу о случайном захвате ячеями длинных примесных частиц, обладающих связностью, и их выброса в выводной лоток с чистым зерном.

Повышение  $Z_{\text{п}}$  до 2% при  $W_{\text{п}} = 1,84$  т/ч,  $\gamma_{\text{п}} = 55^\circ$  приводит к многократному снижению технологических потерь на пониженном скоростном режиме работы ( $n = 35,8$  об/мин) – до 0,83%. Снижение технологических потерь при росте  $Z_{\text{п}}$  происходит за счет погашения динамики взаимодействия задних стенок ячеек с зерновками основной культуры, что увеличивает вероятность их захвата ячеями и выброса в выводной лоток с чистым зерном на конечном участке ячеистого цилиндра.

Вместе с тем с ростом  $Z_{\text{п}}$  практически пропорционально возрастает остаточная засоренность зерна. Уже при  $Z_{\text{п}} = 2\%$  на указанных выше режимах работы триера не обеспечиваются требования к семенам пшеницы категории ОС, где не должно содержаться более 3-х семян сорняковых растений.

Из изложенного выше следует, что скоростной режим работы триера  $n = 35,8$  об/мин при  $W_{\text{п}} = 1,84$  т/ч и  $\gamma_{\text{п}} = 55^\circ$  также является завышенным. Подтверждением этого вывода является результат опыта даже при более высокой исходной засоренности ( $Z_{\text{п}} = 2,6\%$ ), когда скоростной режим работы триера составляет  $n = 34,6$  об/мин (на 3,3% ниже). В этом опыте  $Z_0 = 0,007\%$  (2,4 шт/кг), хотя технологические потери возросли до 5%, что допустимо.

На режимах работы триера  $W_{\text{п}} = 1,84$  т/ч и  $n = 35,8$  об/мин при  $\gamma_{\text{п}} = 55^\circ$  и  $Z_{\text{п}} = 2\%$  величина свободной ячеистой поверхности отсутствует ( $l_{\text{св}} = 0$ ), поэтому стабилизация процесса по сходу примеси ускоряется до 120 с, когда достигается уровень стабилизации 98,4%, рисунок 5.

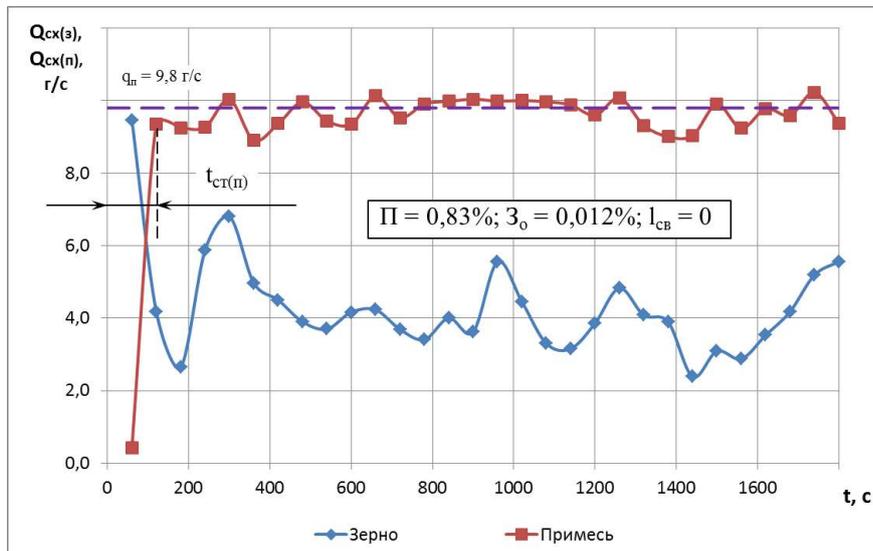


Рисунок 5 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W_{п} = 1,84$  т/ч,  $Z_{п} = 2$  %,  $\gamma_{п} = 55^{\circ}$ ,  $n = 35,8$  об/мин

Для сравнения следует обратить внимание на результаты опыта при той же подаче зерносмеси, но с  $Z_{п} = 1\%$  (меньше в два раза) и большем скоростном режиме работы  $n = 37,5$  об/мин (на 4,7%). В сравниваемом опыте  $l_{св} = 80$  см, а  $t_{ст(п)}$  составляет 1010 с (в 8,3 раза больше). Удлиняет  $t_{ст(п)}$  процесс заполнения ячеистого цилиндра примесью на свободном участке.

С теми же условиями опыта (см. рисунок 5), но при  $Z_{п} = 0$  технологические потери увеличиваются в 3,14 раза из-за снижения вероятности захвата зерновок основной культуры на конечном участке ячеистого цилиндра – отсутствие примеси исключает сплошность циркулирующего слоя и смягчение динамического воздействия задних стенок ячеек на зерновки основной культуры.

Повышение  $Z_{п}$  на тех же режимах работы триера от 2-х до 3-х процентов существенно не влияет на величину технологических потерь ( $\Pi$ ), но остаточная засоренность увеличилась пропорционально  $Z_{п}$  – с 0,012% до 0,017%, что соответствует требованиям к элитным семенам (число примесных частиц –  $5,9 < 8,0$  шт/кг пшеницы). Стабилизация процесса по сходу примеси составляет 180 с, рисунок 6.

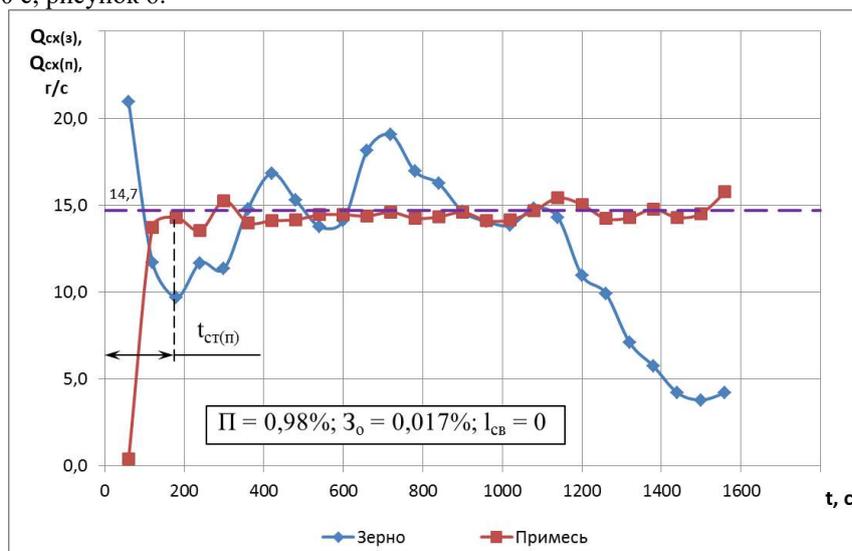


Рисунок 6 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W_{п} = 1,84$  т/ч,  $Z_{п} = 3$  %,  $\gamma_{п} = 55^{\circ}$ ,  $n = 35,8$  об/мин

Сход зерна основной культуры на всем протяжении опыта подвержен существенным колебаниям, как и в других опытах, где нет превышения скоростного режима работы триера ( $n$ ) относительно подачи ( $W_{\Pi}$ ) зерносмеси. Вариативность схода зерна в широком диапазоне объясняется нестабильностью протекания процесса в конце ячеистого цилиндра, предопределяющей колебания в перевалке зерновок основной культуры в полость розетки и цикличностью их выгрузки лопатками розетки.

Для  $W_{\Pi} = 3,71$  т/ч скоростной режим работы  $n = 38$  об/мин является недостаточным, так как потери достигают 15,7%, а  $l_{cb} = 0$ . Увеличение  $n$  до 40 об/мин сокращает потери до  $\Pi = 0,66\%$ , но резко возрастает  $l_{cb} = 40$  см, что создает риск роста  $Z_o$ . Промежуточный режим работы является наиболее приемлемым ( $n = 39,0$  об/мин), так как при нем  $l_{cb}$  снижается до 5 см, а технологические потери не превышают 1,18%.

При наличии примеси в зерносмеси ( $Z_n = 0,95\%$ ) технологические потери в опыте ( $W_{\Pi} = 3,71$  т/ч;  $n = 39,0$  об/мин) снижаются до  $\Pi = 0,23\%$ , а остаточная засоренность составляет  $Z_o = 0,035\%$  (рисунок 7), что соответствует требованиям к семенам элитной категории.

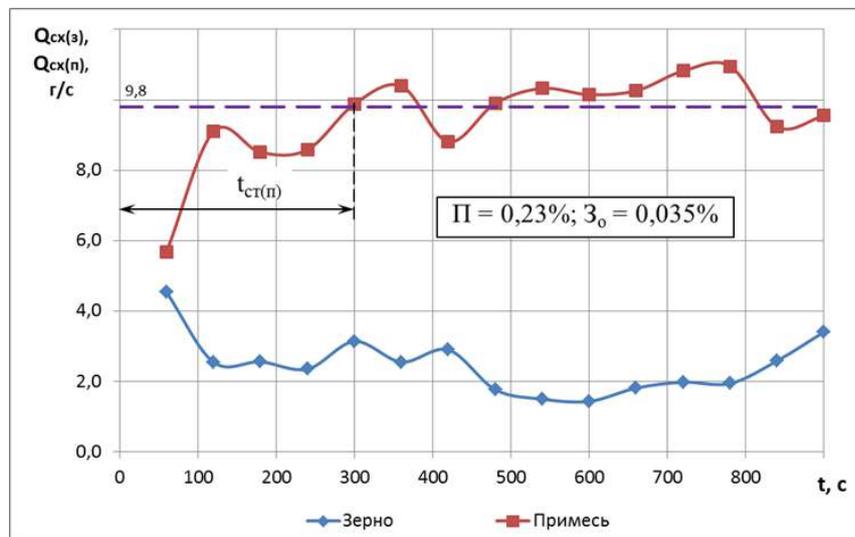


Рисунок 7 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W_{\Pi} = 3,71$  т/ч,  $Z_n = 0,95\%$ ,  $\gamma_n = 55^\circ$ ,  $n = 39,0$  об/мин

Вместе с тем, период стабилизации процесса по сходу примесного компонента удлиняется до  $t_{ст(n)} = 10$  мин. Это объясняется замедлением процесса насыщения зернового клина в ячеистом цилиндре с большей массой при  $W_{\Pi} = 3,71$  т/ч, чем при  $W_{\Pi} = 1,2 - 1,84$  т/ч.

С увеличением  $W_{\Pi}$  до 4,4 т/ч предполагалось изучить более высокий скоростной режим работы триера. Однако, рациональным с точки зрения обеспечения качества процесса оказался режим  $n = 40$  об/мин. Он всего лишь на 2,6% выше, чем при  $W_{\Pi} = 3,71$  т/ч, хотя подача увеличена на 18,6%. При  $n = 40$  об/мин и наличии примеси ( $Z_n = 1,05\%$ ) технологические потери  $\Pi = 0,39\%$ , а остаточная засоренность  $Z_o = 0,026\%$ . Эти показатели соответствуют требованиям к элитным семенам, рисунок 8.

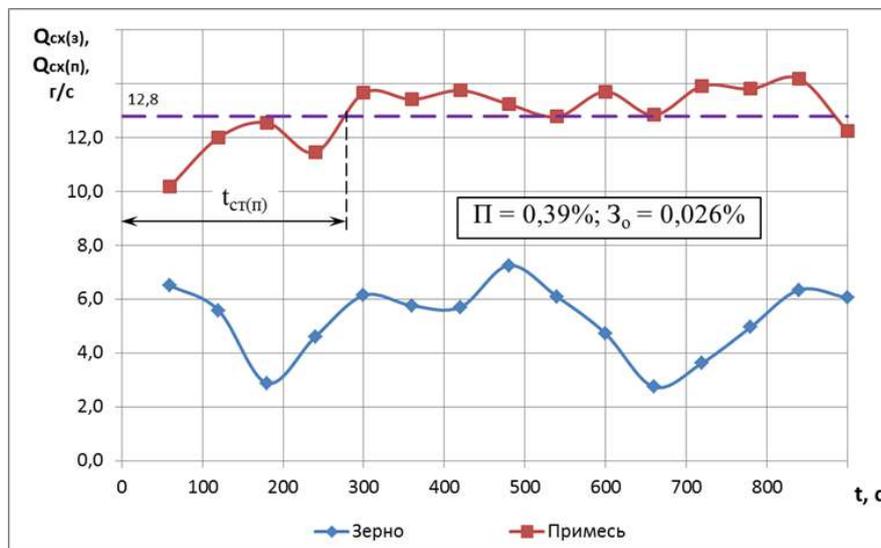


Рисунок 8 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W_{п} = 4,4$  т/ч,  $Z_{п} = 1,05$  %,  $\gamma_{п} = 55^{\circ}$ ,  $n = 40,0$  об/мин

На режимах работ  $n = 39,5$  и  $40,5$  об/мин без примесного компонента обеспечивается приемлемый уровень технологических потерь - соответственно 2,45% и 0,811%. Однако при  $n = 40,5$  об/мин появляется свободная ячеистая поверхность ( $l_{св} = 15$  см), которая создает риски роста  $Z_0$ .

**Выводы.** Динамика выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по длине ячеистой поверхности, установленная впервые, имеет идентичный характер изменения независимо от величины подачи, изменяемой в реальном диапазоне, и состоит из двух принципиально разных участков. На первом участке интенсивность выделения ( $W_{в}$ ) линейно возрастает от понижения отрицательного воздействия эффекта динамического «выедания» зерновок из ячей, достигая максимального значения при циркуляции 4-х – 5-ти слоев в зерновом сегменте. На втором участке  $W_{в}$  резко падает по параболическому закону до утраты сплошности циркулирующего слоя в конце ячеистого цилиндра с маловероятным захватом зерновок ячеями и неизбежными технологическими потерями. Примесный сход ( $\geq 1$  %) компенсирует нарушение сплошности циркулирующего зернового слоя, снижает динамику воздействия на него стенок ячей, повышает вероятность захвата зерновок икратно снижает технологические потери.

#### Список источников

1. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Анализ показателей работы триера по результатам стендовых исследований // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 27 – 34.
2. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. – М.: Л.: Сельхозгиз, 1955. – 856 с.
3. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687с.
4. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1977. – 528 с.
5. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – изд. 4-е доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 495 с.
6. Павловский Г.Т. Основные вопросы технологии очистки семян зерновых культур: автореферат дис. ... доктора с/х наук: Растениеводство – Москва, 1969. – 69 с.
7. Ивлиева Н.М. Исследование влияния нагрузки цилиндра и угла его наклона к горизонту на производительность и качество работы цилиндрического триера: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1952.

8. Ивлиева Н.М. Экспериментальное исследование процесса движения обрабатываемого материала в цилиндрическом триере // Труды ЧИМЭСХа. – 1965. – Вып.5.
9. Урханов Н.А. Интенсификация послеуборочной обработки и очистки зерна от примесей по длине. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 1999. 319 с.
10. Урханов, Н.А. Интенсификация процессов очистки зерна от коротких и длинных примесей // Вопросы совершенствования технологических процессов в пищевой промышленности: сборник научных статей. – Улан-Удэ, 1987. – С. 133-137.
11. Урханов, Н.А. Исследование движения зерна в сепараторах и повышение эффективности их работы // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2005. – № 2. – С. 12-20.
12. Васильева О.П. Повышение эффективности разделения зерновой смеси путем оптимизации параметров и режимов работы триера с переменной угловой скоростью вращения цилиндра: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Киров, 2000. –152 с.
13. Васильева О.П., Зонов Б.Д. Экспериментальные исследования взаимодействия зернового слоя с ячеистой поверхностью триера / Сб. научных трудов Пермской ГСХА. – 1998. – с. 197.
14. Евдокимов В.Ф. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями: автореферат дисс... кандидата технических наук. – Ростов-на-Дону, 1964. – 30 с.
15. Евдокимов В.Ф. Исследования работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов: Труды ВНИИЗ. – М. – 1963. – Вып. 42. – С. 265-279.
16. Тишанинов Н.П., Емельянович С.В. Триер с авторегулированием скоростного режима // Сельский механизатор. – 2022. – № 6. – С. 16-17.
17. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Результаты поисковых исследований триера с авторегулируемым скоростным режимом работы // Наука в центральной России. – 2023. – № 2 (62). – С. 54-64.
18. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Оценка чувствительности процесса триерной очистки зерна к режимам работы // Наука в Центральной России. – 2024. – Т. 67, № 1. – С. 23-31.

#### References

1. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Analysis of trier performance indicators based on the results of bench studies // Science in Central Russia. – 2018. – No. 1 (31). – P. 27 – 34.
2. Letoshnev M.N. Agricultural machines, theory, calculation, design and testing. – M.: L.: Selkhozgiz, 1955. – 856 p.
3. Leaf fall G.E. Agricultural and reclamation machines. – M.: Agropromizdat. – 1986. – 687 p.
4. Lurie A.B., Grombchevsky A.A. Calculation and design of agricultural machines. – L.: Mechanical Engineering, 1977. – 528 p.
5. Sokolov A.Ya. Technological equipment of grain storage and processing enterprises. – ed. 4th add. and processed – M.: Kolos, 1975. – 495 p.
6. Pavlovsky G.T. Basic issues of technology for cleaning grain seeds: abstract of dissertation. ... Doctor of Agricultural Sciences: Plant Growing - Moscow, 1969. - 69 p.
7. Ivlieva N.M. Study of the influence of the load of the cylinder and the angle of its inclination to the horizon on the performance and quality of operation of a cylindrical trier: thesis. ...cand. those. Sciences: 05.20.01. – Chelyabinsk, 1952.
8. Ivlieva N.M. Experimental study of the process of movement of processed material in a cylindrical trier // Proceedings of CHIMESKh. – 1965. – Issue 5.
9. Urkhanov N.A. Intensification of post-harvest processing and purification of grain from impurities along the length. – Ulan-Ude: Publishing House of the All-Russian State Technical University, 1999. 319 p.
10. Urkhanov, N.A. Intensification of grain purification processes from short and long impurities // Issues of improving technological processes in the food industry: collection of scientific articles. – Ulan-Ude, 1987. – P. 133-137.

11. Urkhanov, N.A. Study of grain movement in separators and increasing the efficiency of their operation // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of ESGTU). – 2005. – No. 2. – P. 12-20.
12. Vasilyeva O.P. Increasing the efficiency of separating the grain mixture by optimizing the parameters and operating modes of the trier with variable angular velocity of rotation of the cylinder: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01. – Kirov, 2000. –152 p.
13. Vasilyeva O.P., Zonov B.D. Experimental studies of the interaction of the grain layer with the cellular surface of the trier / Sat. scientific works of the Perm State Agricultural Academy. – 1998. – p. 197.
14. Evdokimov V.F. Study of the technological process of operation of a cylindrical trier with axial vibrations: abstract of the dissertation... candidate of technical sciences. – Rostov-on-Don, 1964. – 30 p.
15. Evdokimov V.F. Research on the operation of a cylindrical trier with axial vibrations // Problems of separation of grain and other bulk materials: Proceedings of VNIIZ. – M. – 1963. – Issue. 42. – pp. 265-279.
16. Tishaninov N.P., Emelyanovich S.V. Trier with automatic speed control // Rural machine operator. – 2022. – No. 6. – P. 16-17.
17. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Results of search studies of a trier with an auto-regulated speed mode // Science in Central Russia. – 2023. – No. 2 (62). – pp. 54-64.
18. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Assessing the sensitivity of the grain cleaning process to operating modes // Science in Central Russia. – 2024. – Т. 67, No. 1. – P. 23-31.

#### **Информация об авторах**

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

#### **Information about the authors**

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher; A. Anashkin - Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher; K. Tishaninov – Candidate 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): 21.05.2024      Принята к публикации (Accepted): 20.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 631.362.34  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-29-37

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСНОГО КОМПОНЕНТА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В ТРИЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Николай Петрович Тишанинов*<sup>1</sup>, *Александр Витальевич Анашкин*<sup>2</sup>,  
*Константин Николаевич Тишанинов*<sup>3</sup>, *Сергей Владимирович Емельянович*<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*  
<sup>1</sup>vniitinlab5@mail.ru, <sup>2</sup>av-anashkin@mail.ru, <sup>3</sup>tishaninovkn@rambler.ru, <sup>4</sup>seruvarovo@yandex.ru

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

**Реферат.** Установлены взаимосвязи концентрации примесного компонента в зерносмеси с технологическими потерями при оптимальных скоростных режимах работы триера на различных вариантах его загрузки. Взаимосвязи выявлены с целью повышения качества процесса за счет предварительной настройки триера по исходным свойствам зерносмеси. Исследования выполнены на экспериментальной установке, обеспечивающей отдельную нормированную подачу компонентов в триер и закольцованное движение основной культуры. Выявлен и объяснен механизм сокращения технологических потерь примесным компонентом зерносмеси на различных режимах загрузки: при подаче 1,2 т/ч кратность сокращения технологических потерь с концентрацией примеси в зерносмеси 1,3 % составляет 9 раз; на подаче 1,84 т/ч – в 1,28 – 8,8 раз при концентрации примеси 1 – 3 %; на подаче 3,71 т/ч – в 5,1 раз при засоренности 0,95 %; на подаче 4,4 т/ч – в 3,1 раза при засоренности 1,05 %. Установлено, что во всем диапазоне подач рост скоростного режима триера обеспечивает снижение технологических потерь. Предложен метод расчета фактического периода стабилизации процесса по ограниченной выборке прохода примеси. Установлено, что увеличение концентрации примесного компонента до 2,6 % при малой подаче (1,2 т/ч) зерносмеси в триер приводит к увеличению технологических потерь в сравнении с концентрацией примеси в 1,3 % из-за ухудшения захвата ячеями зерновок основной культуры на конечном участке ячеистого цилиндра. При малой концентрации примеси (1 %) и подаче в 1,84 т/ч наблюдаются соизмеримые технологические потери, которые кратно (в 4,0 – 5,5 раз) снижают интегральный показатель качества процесса.

**Ключевые слова:** триер, процесс, зерносмесь, примесь, качество, потери.

## INFLUENCE OF IMPURITY COMPONENT CONCENTRATION ON TECHNOLOGICAL LOSSES IN TRIER TECHNOLOGIES

*Nikolai Tishaninov*<sup>1</sup>, *Alexander Anashkin*<sup>2</sup>, *Konstantin Tishaninov*<sup>3</sup>, *Sergey Emelyanovich*<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,  
Tambov, Russian Federation*  
<sup>1</sup>vniitinlab5@mail.ru, <sup>2</sup>av-anashkin@mail.ru, <sup>3</sup>tishaninovkn@rambler.ru, <sup>4</sup>seruvarovo@yandex.ru

**Abstract.** The relationship between the concentration of the impurity component in the grain mixture and technological losses at optimal speed conditions of the trier's operation at various options for its loading has been established. The relationships were identified with the aim of improving the quality of the process through preliminary adjustment of the trier according to the initial properties of the grain mixture. The studies were carried out on an experimental installation that provides separate standardized supply of components into the trier and loop movement of the main crop. The mechanism for reducing technological losses by the impurity component of the grain mixture at various loading modes has been established and explained: when feeding 1.2 t/h, the reduction rate of technological losses with an

impurity concentration in the grain mixture of 1.3% is 9 times; at a supply of 1.84 t/h - 1.28 - 8.8 times at an impurity concentration of 1 - 3%; at a supply of 3.71 t/h - 5.1 times with a contamination of 0.95%; at a supply of 4.4 t/h - 3.1 times with a contamination level of 1.05%. It has been established that, throughout the entire feed range, an increase in the trier's speed regime ensures a reduction in technological losses. A method for calculating the actual stabilization period of the process based on a limited sample of impurity removal samples is proposed. It has been established that an increase in the concentration of the impurity component to 2.6% with a small supply (1.2 t/h) of the grain mixture into the trier leads to an increase in technological losses in comparison with the impurity concentration of 1.3% due to the deterioration of the capture of grains of the main crop by the cells on the final section of the cellular cylinder. At a low impurity concentration (1%) and a feed rate of 1.84 t/h, comparable technological losses are observed, which reduce the integral indicator of process quality by a factor of 4.0 - 5.5.

**Keywords:** trier, process, grain mixture, impurity, quality, losses.

**Для цитирования:** Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Емельянович С.В. Влияние концентрации примесного компонента на технологические потери в триерных технологиях // Наука в Центральной России. 2024. Т. 69, № 3. С. 29-37. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-29-37>.

**For citation:** Tishaninov N, Anashkin A., Tishaninov K., Emelyanovich S. Influence of impurity component concentration on technological losses in trier technologies. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 29-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-29-37>.

**Введение.** Технологические потери ( $\Pi$ ) функционально в наибольшей степени связаны для заданной подачи ( $W_{\text{п}}$ ) со скоростным режимом работы триера ( $n$ ) и угловым положением выводного лотка относительно горизонта ( $\gamma_{\text{п}}$ ). Причем связь  $\Pi$  с величиной  $n$  обратно пропорциональная, а с величиной  $\gamma_{\text{п}}$  – прямо пропорциональная. Эти взаимосвязи достаточно хорошо изучены [1-7] и широко используются при управлении технологическим процессом триерной очистки зерна. Вместе с тем примесный компонент и его концентрация в зерносмеси также оказывают существенное влияние на технологический процесс, так как изменяют характеристики контактирующего с ячеистой поверхностью слоя зерносмеси и структуру схода. В обоих случаях существенно меняются условия захвата ячеями зерновок основной культуры, но изучено это явление недостаточно.

В работах [8-10] авторы подтверждают, что полнота выделения примесей из зерносмеси увеличивается с ростом  $n$  и снижением  $W_{\text{п}}$ . Однако эти результаты исследований отражают лишь частные варианты использования триеров. Кроме того в них не дается оценка технологических потерь. Например, большая полнота выделения примесей кукольным цилиндром может быть обеспечена при снижении  $\gamma_{\text{п}}$  и при меньших  $n$ , но в выводной лоток будут выноситься зерновки основной культуры, увеличивая технологические потери.

Автор работ [11-13] исследует взаимосвязь полноты выделения примесного компонента из зерносмеси в зависимости от соотношения линейных размеров частиц зерносмеси и ячеек, но в его работах не исследовано влияние примеси на величину технологических потерь.

В стендовых исследованиях, выполненных в ФГБНУ ВНИИТиН [14-16], дана оценка технологических потерь в зависимости от  $n$  и  $W_{\text{п}}$ , но влияние концентрации примесного компонента на технологические потери не учитывалось, оценивалась лишь остаточная засоренность. Возможности объективной оценки этого влияния появились с созданием экспериментального оборудования [17, 18] с отдельной подачей компонентов зерносмеси и обеспечивающего закольцованное движение основной культуры.

**Материалы и методы.** Исследования проводили на экспериментальной установке, включающей: триер с автоматизированной системой управления скоростным режимом работы; загрузочную норию; дозатор; регулятор; транспортер возврата очищенного зерна; ленточный питатель для регламентированной подачи примеси в триер; передаточный механизм; привод;

приемные и мерные емкости; распределительные короба для примеси (оборотные и без днища), рисунок 1.

Физико-механические свойства компонентов зерносмеси определяли стандартными методами (ГОСТ 10840-64, ГОСТ 13586.5-2015) и с использованием специальных приборов, разработанных ФГБНУ ВНИИТиН для определения: угла внутреннего трения (патент РФ № 2748565); коэффициента силы трения покоя (патенты РФ №№ 2770416, 274 9655); скорости витания и прочностных свойств частиц зерносмеси.



Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки для исследований триерных технологий обработки зерна

В качестве основной культуры зерносмеси использовали пшеницу с характеристиками свойств: линейные размеры зерновок – 5,4 – 7,7 мм; разрушающее усилие – 152 Н; влажность – 12,1 %; насыпная плотность – 822 г/л; угол естественного откоса – 23°; коэффициент силы трения покоя – 0,51; масса 1000 зерновок – 52 г.

В качестве примеси использовали овес с характеристиками свойств: линейные размеры зерновок – 8,2 – 14,8 мм; разрушающее усилие – 186 Н; влажность – 11,5 %; насыпная плотность (после окраски) – 522,5 г/л; угол естественного откоса – 20°; коэффициент силы трения покоя – 0,46; масса 1000 зерновок – 41,8 г.

Отбор проб схода компонентов зерносмеси производили с интервалом в 30 с продолжительностью по 5 с. Разбор проб производили вручную, для взвешивания компонентов использовали электронные весы ВК-600.

**Результаты и их обсуждение.** Опыты по оценке технологических потерь при малой подаче зерносмеси  $W = 1,2$  т/ч показали, что при нулевой ее исходной засоренности ( $Z_n = 0$ ), величина  $\Pi$  в большой степени зависит от скоростного режима работы триера ( $n$ ). При  $n = 34,0$  об/мин и  $\gamma_n = 55^\circ$  на указанной подаче зерносмеси величина  $\Pi = 35,3$  %, а с ростом  $n$  всего на 6 % она многократно снижается, рисунок 2.

Из рисунка 2 видно, что при  $n = 36$  об/мин технологические потери составляют 0,92 %, а добавление в зерносмесь примеси ( $Z_{и} = 1,3$  %) при тех же условиях опыта на порядок снижает технологические потери ( $\Pi = 0,009$  %), они становятся случайными, так как в сотни раз ниже допуска ( $[\Pi] = 5$  %).

Сопоставимый эффект от включения примеси в зерносмесь в объеме  $Z_{и} = 1,3$  % наблюдается при  $n = 34,6$  об/мин: при  $Z_{и} = 0$  величина  $\Pi = 9,8$  %; при  $Z_{и} = 1,3$  % величина  $\Pi = 1,09$  %. То есть потери снижаются в 9 раз. На меньшем скоростном режиме работы триера этот эффект убывает – потери сокращаются лишь в два раза.

При содержании примеси в зерносмеси  $Z_{и} = 2,6$  % и малой подаче ( $W_{п} = 1,2$  т/ч) с той же настройкой ( $\gamma_{п} = 55^\circ$ ,  $n = 34,6$  об/мин) технологические потери достигают предельно допустимого уровня ( $\Pi = 5$  %). Объясняется это интенсивным насыщением циркулирующих слоев примесным компонентом, что ухудшает условия захвата ячеями зерновок основной культуры из контактирующего слоя. Однако стабилизация процесса по сходу примеси наступает позднее (через 330 с), чем при  $Z_{и} = 1,3$  % и сопоставимых других условиях опыта, рисунок 3. Разница  $t_{ст}$  составляет около 60 с.

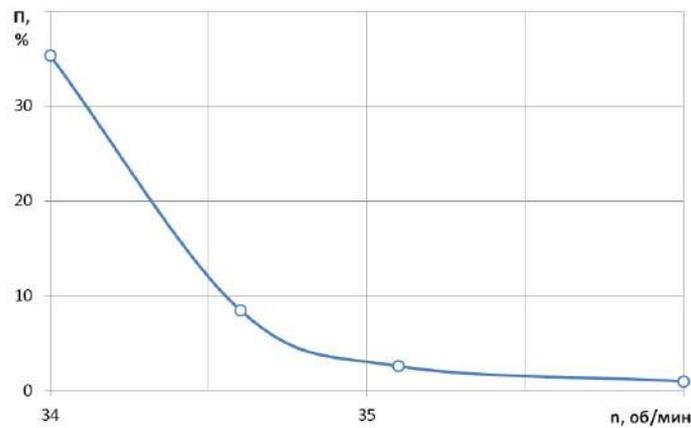


Рисунок 2 – Зависимость  $\Pi$  от  $n$  при  $W = 1,2$  т/ч,  $\gamma_{п} = 55^\circ$ ,  $Z_{и} = 0$

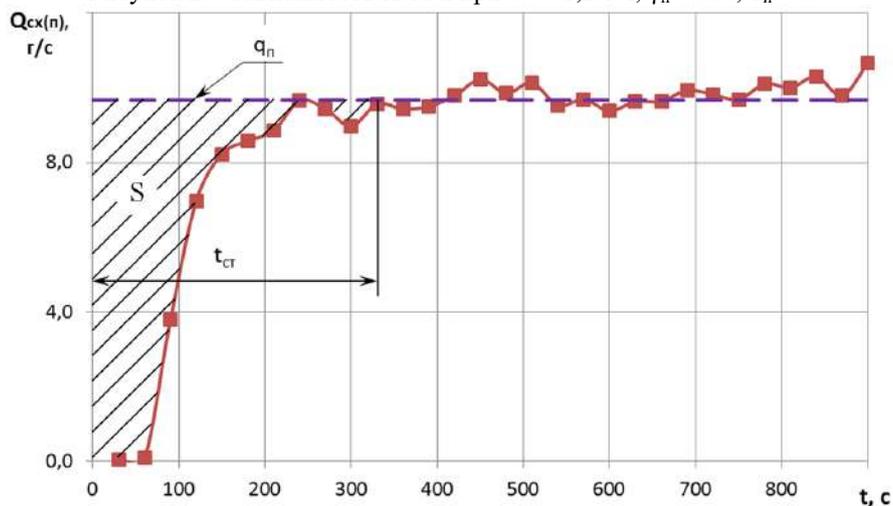


Рисунок 3 – Стабилизация процесса по сходу примеси при  $W = 1,2$  т/ч,  $\gamma_{п} = 55^\circ$ ,  $n = 34,6$  об/мин,  $Z_{и} = 2,6$  %

Масса примеси, которая расходуется на избыточное насыщение циркулирующих слоев ( $m_{нас}$ ), может быть геометрически отображена заштрихованной площадью  $S$  (см. рисунок 3) и рассчитана по формуле:

$$m_{нас} = q_{np} \cdot t_{cm} - \int_0^{t_{cm}} Q_{cx(n)}(t)dt, \quad (1)$$

где  $q_{np}$  – расчетное значение подачи примеси в триер, г/с;

$t_{cm}$  – период стабилизации процесса, контролируемый по сходу примеси, с;

$Q_{cx(n)}$  – текущее значение схода примеси, г/с.

Величина  $q_{np}$  определяется по формуле:

$$q_{np} = W_n \cdot 10^6 \cdot Z_u / (100 \times 3600). \quad (2)$$

В анализируемом варианте, когда  $W_n = 1,2$  т/ч и  $Z_u = 2,6$  %, величина  $q_{np}$  будет:

$$q_{np} = 1,2 \cdot 10^6 \cdot 2,6 / (100 \times 3600) = 8,67 \text{ г/с}. \quad (3)$$

Величина массы примеси ( $m_n$ ), поданной ленточным транспортером в триер по условию эксперимента ( $Z_u = 2,6$  %), будет:

$$m_n = q_{np} \cdot t_{cm} = 8,67 \cdot 330 = 2861 \text{ г}. \quad (4)$$

Второй член правой части уравнения (1) может быть определен методом Симпсона – по средним интервальным оценкам схода примеси за период  $t_{ст}$  (11 интервалов – см. таблицу 1):

$$\int_0^{t_{cm}} Q_{cx(n)}(t)dt = \frac{t_u}{t_{om}} \left( \frac{0,26+0}{2} + \frac{0,49+0,26}{2} + \frac{18,93+0,49}{2} + \frac{34,87+18,93}{2} + \frac{41,15+34,87}{2} + \frac{42,88+41,15}{2} + \frac{44,3+42,88}{2} + \frac{48,26+44,3}{2} + \frac{47,19+48,26}{2} + \frac{44,86+47,19}{2} + \frac{47,83+44,86}{2} \right) = 2101 \text{ г}, \quad (5)$$

где  $t_u$  – величина интервала замеров схода примеси ( $t_u = 30$  с), с;

$t_{от}$  – продолжительность отбора пробы в каждом интервале ( $t_{от} = 5$  с), с.

Таблица 1 – Результаты контроля схода зерна и примеси в опыте при  $W_n = 1,2$  т/ч;  $Z_u = 2,6$  %;  $\gamma_n = 55^\circ$ ;  $n = 34,6$  об/мин

№ проб	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{np}$ , с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
$m_n$ , г	58,9	62,91	39,5	26,14	27,4	28,75	30,21	32,17	29,78	25,67
$q_{з(сх)и}$ , г/с	11,8	12,6	7,9	5,2	5,5	5,8	6,0	6,4	6,0	5,1
$\Pi_n$ , %	3,534	3,775	2,370	1,568	1,644	1,725	1,813	1,930	1,787	1,540
$m_p$ , г	0,26	0,49	18,93	34,87	41,15	42,88	44,3	48,26	47,19	44,86
$q_{п(сх)и}$ , г/с	0,05	0,10	3,79	6,97	8,23	8,58	8,86	9,65	9,44	8,97

№ проб	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t_{np}$ , с	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
$m_n$ , г	25,98	31,22	34,6	34,63	33,03	34,81	41,21	44,32	52,9	55,6
$q_{з(сх)и}$ , г/с	5,2	6,2	6,9	6,9	6,6	7,0	8,2	8,9	10,6	11,1
$\Pi_n$ , %	1,559	1,873	2,076	2,078	1,982	2,089	2,473	2,659	3,174	3,336
$m_p$ , г	47,83	47,18	47,52	48,93	51,14	49,27	50,66	47,65	48,43	46,93
$q_{п(сх)и}$ , г/с	9,57	9,44	9,50	9,79	10,23	9,85	10,13	9,53	9,69	9,39

№ проб	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$t_{np}$ , с	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900
$m_n$ , г	54,53	47,86	50,22	62,68	69,05	69,47	76,8	90,24	87,06	95,14
$q_{з(сх)и}$ , г/с	10,9	9,6	10,0	12,5	13,8	13,9	15,4	18,0	17,4	19,0
$\Pi_n$ , %	3,272	2,872	3,013	3,761	4,143	4,168	4,608	5,414	5,224	5,708
$m_p$ , г	48,15	48,21	49,66	49,13	48,44	50,55	50,01	51,51	48,95	53,3
$q_{п(сх)и}$ , г/с	9,63	9,64	9,93	9,83	9,69	10,11	10,00	10,30	9,79	10,66

В таблице 1 даны также расчетные значения секундных сходов зерна ( $q_{з(сх)i}$ ), примеси ( $q_{п(сх)i}$ ) и технологических потерь ( $\Pi_i$ ) по  $i$ -ым интервалам от начала отсчета времени ( $t_n$ ) опыта. С учетом уравнений (4) и (5) величина  $m_{нас}$  будет:

$$m_{нас} = 2861 - 2101 = 760 \text{ г.}, \quad (6)$$

Из таблицы 1 видно, что средний сход примеси на условно стабильном участке времени опыта ( $t_n > 330$  с) будет:

$$\bar{q}_{сх(n)} = \sum_{12}^{30} q_{п(сх)i} / 19 = 9,84 \text{ г/с}. \quad (7)$$

Величина превышения схода примеси на этом участке относительно уровня ее подачи ( $q_{пр}$ ) в триер в анализируемом опыте будет:

$$\Delta q_{сх(n)} = \bar{q}_{сх(n)} - q_{пр} = 9,84 - 8,67 = 1,17 \text{ г/с}. \quad (8)$$

Из накопленной в циркулирующих слоях массы примеси за  $t_{ст} = 330$  с в интервале времени ( $t_{он} - t_{ст}$ ) дополнительно будет израсходовано примеси:

$$\Delta m_{расх} = \Delta q_{сх(n)} (t_{он} - t_{ст}) = 1,17 \times 570 = 667 \text{ г.} \quad (9)$$

После этого момента ( $t_{он} = 900$  с) от  $m_{нас}$  останется:

$$\Delta m_{нас} = m_{нас} - \Delta m_{расх} = 760 - 667 = 93 \text{ г.} \quad (10)$$

Предполагая сохранение величины  $\Delta q_{сх(n)}$  на временном участке, превышающем время опыта ( $t_{он} = 900$  с), прогнозируемый момент фактической стабилизации процесса ( $t_{пр}$ ) будет рассчитываться по формуле:

$$t_{пр} = t_{он} + \Delta m_{нас} / \Delta q_{сх(n)} = 900 + 93 / 1,17 \approx 980 \text{ с.} \quad (11)$$

Необходимо отметить, что увеличение в зерносмеси примесного компонента в 2 раза (с 1,3 до 2,6 %) привело к росту технологических потерь в 4,6 раза, но при большей подаче ( $W_{п} = 1,84$  т/ч) и скоростном режиме работы триера ( $n = 35,8$  об/мин) влияние концентрации примеси на величину  $\Pi$  становится обратным:  $Z_{п} = 1\% \rightarrow \Pi = 5,7\%$ ;  $Z_{п} = 2\% \rightarrow \Pi = 0,83\%$ ;  $Z_{п} = 3\% \rightarrow \Pi = 0,98\%$ .

Объясняется это тем, что при  $Z_{п} = 1\%$  стабилизирующая роль примеси в конце ячеистого цилиндра с ростом режимов  $W_{п}$  и  $n$  недостаточна. Блокирования потерь на этом участке не происходит. Вместе с тем взаимосвязь концентрации примеси ( $Z_{п}$ ) с остаточной засоренностью противоположная по шкале желательности:  $Z_{п} = 1\% \rightarrow Z_{о} = 0,006\%$ ;  $Z_{п} = 2\% \rightarrow Z_{о} = 0,012\%$ ;  $Z_{п} = 3\% \rightarrow Z_{о} = 0,017\%$ .

Поэтому интегральная оценка качества ( $K_{п}$ ) процесса по разработанному ФГБНУ ВНИИТиН методу [19] позволяет объективнее оценивать взаимосвязи  $\Pi$ ,  $Z_{о} = f(Z_{п}, n, \gamma_{п}, W_{п})$ , таблица 2.

Таблица 2 – Взаимосвязь концентрации примеси в зерносмеси с режимами работы при  $\gamma_{п} = 55^\circ$  и малых  $W_{п}$

№ п/п	Режимы работы		Концентрация примеси, $Z_{п}$ , %	Показатели качества		
	$W_{п}$ , т/ч	$n$ , об/мин		$Z_{о}$ , %	$\Pi$ , %	$K_{п}$
1	2	3	4	5	6	7
1	1,2	34,6	1,2	0,004	1,09	0,84
2	1,2	34,6	2,6	0,008	5,0	0,20
3	1,84	35,8	1,0	0,006	5,7	0,17
4	1,84	35,8	2,0	0,012	0,83	1,02
5	1,84	35,8	3,0	0,017	0,98	0,83

Из таблицы 2 видно, что предельные значения технологических потерь в вариантах 2 и 3 резко снижают интегральную оценку качества процесса, рассчитанную по весомерам частных оценок, предложенным в работе [19], и абсолютным значениям показателей  $Z_{о}$  и  $\Pi$ .

На больших величинах подачи и высоких скоростных режимах работы триера, при которых не полностью используется длина ячеистой поверхности, проявляется ожидаемое положительное влияние примесного компонента на технологические потери. При  $W_{п} = 3,71$  т/ч,  $n = 39$  об/мин,  $\gamma_{п} =$

55° и  $Z_{и} = 0$  % технологические потери составили 1,18 %. С увеличением  $Z_{и}$  до 0,95 % величина П сократилась в 5,13 раза (до 0,23 %) за счет восполнения сплошности циркулирующих слоев и погашения динамического воздействия задних стенок ячеек на зерновки основной культуры.

Аналогичная ситуация наблюдается при  $W_{п} = 4,4$  т/ч,  $n = 40$  об/мин и  $\gamma_{п} = 55^\circ$ . С нулевым содержанием примеси технологические потери составляют 1,22 %, а при  $Z_{и} = 1,05$  % величина П снижается до 0,39 % – в 3,1 раза.

Проведенный выше анализ показывает, что результативные показатели работы триера очень чувствительны к концентрации примесного компонента в зерносмеси и скоростному режиму. Так для всего диапазона подач зерносмеси в триер ( $W_{п} = 1,2 - 4,4$  т/ч), изменяющихся в 3,7 раза, диапазон оптимальных скоростных режимов работы составляет ( $n_{опт} = 34,6 - 40,0$  об/мин). Рост  $n$  составляет 5,4 об/мин (15,6 %), а в триерных блоках зерноочистительных агрегатов ЗАВ-20 и ЗАВ-40 интервал регулирования  $n$  составляет 4 – 6 об/мин. Поэтому триера в этих агрегатах, как правило, не используются или используются с неоправданно высокими технологическими потерями.

Очень существенно проявляются эти взаимосвязи на отдельных режимах загрузки триеров. При  $W_{п} = 4,4$  т/ч снижение  $n$  до 39,5 об/мин (на 1,25 %) приводит к увеличению технологических потерь в 6,3 раза. На минимальной из исследуемого диапазона подачи ( $W_{п} = W_{п\ min} = 1,2$  т/ч) снижение скоростного режима работы на 1,7 % при отсутствии примесного компонента приводит к росту технологических потерь до 35,3 % (в 7 раз выше допустимого уровня).

Повышение скоростного режима работы до  $n = 40$  об/мин на подаче  $W_{п} = 3,71$  т/ч является избыточным. Технологические потери снижаются до 0,66 %, но свободная часть ячеистой поверхности ( $l_{св}$ ) возрастает до 0,4 м, что создает риски увеличения показателя остаточной засоренности. Даже при  $l_{св} = 0,1$  м на скоростном режиме работы  $n = 39$  об/мин величина  $Z_{о} = 0,035$  % (12,3 примесных частиц на 1 кг основной культуры), что не соответствует требованиям к семенам категорий ОС и ЭС.

**Заключение.** На малых подачах зерносмеси в триер и оптимальных для каждой из них скоростных режимах работы эффект блокирования технологических потерь примесным компонентом проявляется максимально – наличие 1,3 % примеси снижает технологические потери в 9 раз в сравнении с вариантом, когда  $Z_{и} = 0$ , так как примесь при  $W_{п} = W_{п\ min}$  в большей степени компенсирует сплошность циркулирующих слоев зерносмеси на конечном участке ячеистого цилиндра, снижает динамическое воздействие задних стенок ячеек на зерновки основной культуры, улучшает условия их захвата и снижает сход. На средних и высоких уровнях подачи эффект блокирования технологических потерь при сопоставимых концентрациях примеси снижается, а с ростом ее концентрации в зерносмеси пропорционально возрастает остаточная засоренность зерна.

#### Список источников

1. Тарасенко А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян. – М.: Колос. – 2008. – 232 с.
2. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – изд. 4-е доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 495 с.
3. Рассадин А.А. Кинетика сепарирования сыпучих зерновых смесей на плоских, цилиндрических решетках и триерах / Сборник научных трудов. – М.: ВИМ, 1987. – Т. 115.– С. 63-76.
4. Павловский Г.Т. Исследование технологического процесса в цилиндрических триерах / Сборник научных трудов ВИМ. –1952. – Т.17.
5. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687с.
6. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.
7. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. – М.: Л.: Сельхозгиз, 1955. – 856 с.
8. Eischmidt G. Verluststrategie neu überdenken // Bauern Blatt. – 2007. – Nr. 29. – P. 22-24.

9. Scherer R. Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten // Grundland Landtechnik. 1978. – Bd. 28. – № 1. – P. 6-12.
10. Schulze D. Vergleich des Fließverhaltens leicht fließender Schüttgüter. //Schüttgut. – 1996. – № 3. – P. 347-356.
11. Абидуев А.А. Выбор размера ячеек триерных цилиндров // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2013. – № 4 (43). – С. 53-57.
12. Абидуев А.А. Исследование процесса выпадения зерна из ячеек триерных цилиндров // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 1989. – С. 107-108.
13. Абидуев А.А. Обоснование методики выбора рабочих органов триеров // Вестник ИрГСХА. – 2012. – № 53. – С. 110-114.
14. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Влияние высоты зернового слоя в овсюжном триере на остаточное содержание длинных примесей // Наука в Центральной России. – 2019. – № 4(40). – С. 19-26.
15. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмесей с длинными примесями // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – №3 (47). – С. 74-77.
16. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Улучшенная технология подработки зерна // Сельский механизатор. – 2020. – №4. – С. 24-25.
17. Тишанинов Н.П., Емельянович С.В. Триер с авторегулированием скоростного режима // Сельский механизатор. – 2022. – № 6. – С. 16-17.
18. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Оценка чувствительности процесса триерной очистки зерна к режимам работы // Наука в Центральной России. – 2024. – № 1(67). – С. 23-31.
19. Тишанинов Н.П. Обоснование комплексного критерия качества работы триера / В сборнике: Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК. Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ярославль, 2023. С. 86-90.

#### References

1. Tarasenko A.P. Modern machines for post-harvest processing of grain and seeds. – M.: Kolos. – 2008. – 232 p.
2. Sokolov A.Ya. Technological equipment of grain storage and processing enterprises. – ed. 4th add. and processed – M.: Kolos, 1975. – 495 p.
3. Rassadin A.A. Kinetics of separation of bulk grain mixtures on flat, cylindrical sieves and triemes / Collection of scientific papers. – M.: VIM, 1987. – T. 115. – P. 63-76.
4. Pavlovsky G.T. Research of the technological process in cylindrical triemes / Collection of scientific papers of VIM. –1952. – T.17.
5. Leaf fall G.E. Agricultural and reclamation machines. – M.: Agropromizdat. – 1986. – 687 p.
6. Lurie A.B. Calculation and design of agricultural machines. – L.: Mechanical Engineering, 1997. – 526 p.
7. Letoshnev M.N. Agricultural machines, theory, calculation, design and testing. – M.: L.: Selkhozgiz, 1955. – 856 p.
8. Eisenschmidt G. Verluststrategie neu überdenken // Bauern Blatt. – 2007. – Nr. 29. – R. 22-24.
9. Scherer R. Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten // Grundland Landtechnik. 1978. – Bd. 28. – No. 1. – R. 6-12.
10. Schulze D. Vergleich des Fließverhaltens leicht fließender Schüttgüter. //Schüttgut. – 1996. – No. 3. – R. 347-356.
11. Abiduev A.A. Selecting the size of the cells of trier cylinders // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of VSGTU). – 2013. – No. 4 (43). – pp. 53-57.

12. Abiduev A.A. Study of the process of grain loss from the cells of trier cylinders // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of ESGTU). – 1989. – P. 107-108.
13. Abiduev A.A. Justification of the methodology for selecting the working bodies of triers // Bulletin of the IrG-SKhA. – 2012. – No. 53. – P. 110-114.
14. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. The influence of the height of the grain layer in an oat trier on the residual content of long impurities // Science in Central Russia. – 2019. – No. 4(40). – pp. 19-26.
15. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Intensity of isolation of grains of the main crop from grain mixtures with long impurities // Bulletin of the agro-industrial complex of the Verkhnevolzhye. – 2019. – No. 3 (47). – P. 74-77.
16. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Improved technology for grain processing // Rural machine operator. – 2020. – No. 4. – pp. 24-25.
17. Tishaninov N.P., Emelyanovich S.V. Trier with automatic speed control // Rural machine operator. – 2022. – No. 6. – P. 16-17.
18. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Assessing the sensitivity of the grain cleaning process to operating modes // Science in Central Russia. – 2024. – No. 1(67). – pp. 23-31.
19. Tishaninov N.P. Justification of a comprehensive criterion for the quality of trier work / In the collection: The role of agricultural science in the sustainable development of the agro-industrial complex. Collection of scientific papers based on materials from the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Yaroslavl, 2023. pp. 86-90.

#### **Информация об авторах**

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

#### **Information about the authors**

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher; A. Anashkin - Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher; K. Tishaninov – Candidate 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): 11.05.2024      Принята к публикации (Accepted): 20.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 621.396  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-38-45

## МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА

*Геннадий Николаевич Поляков*<sup>1</sup>, *Станислав Николаевич Шуханов*<sup>2</sup>,  
*Анна Викторовна Косарева*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>1</sup>sxm1953@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8628-2541>

<sup>2</sup>shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>3</sup>ankosar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>

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

**Реферат.** Подбор технических средств и технологий механизации сельскохозяйственных процессов имеет первостепенное значение для успешного функционирования аграрного сектора страны. Поскольку растениеводческое направление сельского хозяйства для Иркутской области имеет приоритетное значение, то плановое формирование парка комбайнов в регионе становится актуальной проблемой. Предложена методика по обоснованию выбора эффективных марок зерноуборочных комбайнов с использованием функции желательности Харрингтона по обобщенному показателю. Для обобщенной технико-экономической оценки использованы такие показатели как: затраты труда, затраты топлива, металлоемкость, удельные энергозатраты. Коэффициенты определяли по данным фотохронометражных наблюдений, данным машинно-испытательных станций, результатам эксперимента. Их значения имеют различную корреляцию с комбайнами одного и того же класса пропускной способности. По каждой марке зерноуборочных комбайнов одного и того же класса по пропускной способности, применяемых в области, производится расчет обобщенного показателя желательности. Для зерноуборочных комбайнов Вектор 410 и Палесье GS812 были определены коэффициенты технологического обслуживания, надежности технологического процесса и технического обслуживания. Обобщенный показатель желательности комбайна Палесье GS812 составил 0,5188, что выше аналогичного показателя комбайна Вектор 410, следовательно Палесье GS812 является эффективным комбайном. Согласно критериям оценки показатель эффективности получил допустимый и достаточный уровень.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, факторы, функция предпочтения, подача, чистота зерна, дробление.

## METHOD FOR JUSTIFICATION OF A RATIONAL CORN HARVESTER USING THE HARRINGTON DESIRABILITY FUNCTION

*Gennady Polyakov*<sup>1</sup>, *Stanislav Shukhanov*<sup>2</sup>, *Anna Kosareva*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Irkutsk State Agrarian University named after. A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation

<sup>1</sup>sxm1953@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8628-2541>

<sup>2</sup>shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>3</sup>ankosar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>

**Abstract.** The selection of technical means and technologies for the mechanization of agricultural processes is of paramount importance for the successful functioning of the country's agricultural sector. The presence of a wide variety of modern technology requires careful, scientifically based selection, adapted to regional conditions. The current state of technical service and other factors requires the

*development of a method for assessing and selecting a rational combine for various classes of throughput, taking into account many agrotechnical, operational and economic indicators. Since the crop production direction of agriculture is of priority importance for the Irkutsk region, the planned formation of a fleet of combine harvesters in the region becomes an urgent problem. A methodology is proposed for substantiating effective brands of combine harvesters using the Harrington desirability function based on a generalized indicator. coefficients are determined based on data from photographic observations, machine testing stations, and experimental results. The values of the coefficients have different correlations with combines of the same throughput class. They evaluate process and maintenance capabilities and process reliability. The value of the coefficients is influenced by the biological characteristics of grain crops cultivated in the region, the existing level of technical service, operator qualifications and other related design factors of harvesting machines. For each brand of grain harvester of the same throughput class used in the region, a generalized desirability indicator is calculated. The most effective combine in the class is the one that has the highest desirability index.*

**Keywords:** combine harvester, factors, preference function, feed, grain purity, crushing.

**Для цитирования:** Поляков Г.Н., Шуханов С.Н., Косарева А.В. Методика обоснования выбора рационального зерноуборочного комбайна с использованием функции желательности харрингтона // Наука в Центральной России. 2024. Т. 69, № 3. С. 38-45. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-38-45>.

**For citation:** Polyakov G., Shukhanov S., Kosareva A. Method for justification of a rational corn harvester using the Harrington desirability function. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 38-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-38-45>.

**Введение.** Развитие АПК Иркутской области коррелирует с его техническим, а также технологическим обеспечением. Особое внимание необходимо уделять процессам уборки зерновых культур, так как сельскохозяйственный сектор по оснащению зерноуборочными комбайнами отстает в 3,1 раза от норматива. Нагрузка на один комбайн составляет 500 га, сроки уборки растягиваются, что ведет к потерям зерна в поле. Плановые поставки зерноуборочных комбайнов не выполняются из-за введенных санкций против Российской Федерации. Это сопровождается ростом уровня старения уборочной техники, который достиг 70% [3, 10].

Логистика поставок комбайнов претерпевает существенные изменения. На рынок комбайнов выходят комбайностроительные заводы Китайской народной республики (фирмы LOVOL и др.), возможны поставки по параллельному импорту, цены уборочных машин возрастают, меняются дилеры по продажам машин из Беларуси, Ростсельмаш, фирмы Claas, Агромаш и других компаний.

Комбайны имеют различные технические и технологические возможности. В связи с этим основополагающим является выбор и обоснование моделей комбайнов, которые будут адаптированы к биологическим особенностям зерновых культур в условиях Прибайкалья. В статье предложена методика обоснования и выбора.

Эффективность уборки зерновых культур в Иркутской области предполагает формирование парка зерноуборочных комбайнов в условиях нестабильного обеспечения, многомарочного состава, роста цен, различных форм собственности. Состояние технического сервиса и других факторов требует разработки метода оценки и выбора рационального комбайна для различных классов по пропускной способности, с учетом многих агротехнических, эксплуатационных и экономических показателей. Плановое формирование парка комбайнов в регионе становится актуальной проблемой.

**Цель исследования.** Предложить методику по обоснованию выбора эффективных марок зерноуборочных комбайнов с использованием функции желательности Харрингтона по обобщенному показателю.

**Результаты и обсуждение.** Для обобщенной технико-экономической оценки технических систем применяются такие показатели как: затраты труда (чел·ч/га, чел·ч/т), в том числе затраты топлива(кг/га, кг/т), а также металлоемкость (кг/га, кг/т), кроме того, удельные энергозатраты (МДж/га, МДж/т). В ряде частных случаев, для общей оценки эффективности технологий, а также

технологических средств уборки используют затраты топлива на гектар или же единицу произведенной продукции. Нередко ряд факторов для оценки, в том числе выбора уборочных машин остаются без рассмотрения [3,4].

Все показатели работы зерноуборочных комбайнов имеют разную размерность и по-разному коррелируют с выбором эффективного варианта.

Для решения задачи, характеризующейся наличием многих зависимых разноразмерных переменных приемлимым является метод сведения всей информации к единому интегральному или же обобщенному показателю, значения которого варьируют от 0 до 1 и который в долях единицы демонстрирует реальную эффективность применения того или иного варианта комбайна для уборки зерновых [1,2].

Определение обобщенного показателя заключалось в том, что значения каждого фактора ( $X_{if}$ ) переводятся к соответствующей желательности ( $d_i$ ). После чего формируется обобщающий показатель желательности ( $D$ ), который равен среднегеометрической желательности:

$$D = \sqrt[\rho]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_\rho}, \quad (1)$$

где  $\rho$  - количество изучаемых факторов

Величина  $D$  становится единственным показателем эффективности использования зерноуборочных комбайнов. Значение показателей эффективности ( $d_i$ ) колеблется от 0,20 до 1,00 и характеризуется следующими уровнями:

0-0,20 – недопустимый;

0,20-0,37 – приемлемый, но не очень желательный уровень;

0,37-0,60 – допустимый и достаточный;

0,60-0,80 – хороший уровень;

0,80-1,00 – отличный уровень;

1,00 - максимально возможный уровень эффективности, но часто неизвестен. Добиться его очень сложно.

Так как значения любого фактора  $X_{if}$  имеют различную размерность для перевода в соответствующую желательность  $d_i$  используется показательная функция [2]:

$$d = e^{-e^{-X}} \quad (2)$$

где  $x$  – некоторая безразмерная величина, связанная с фактором  $X_{if}$ .

Процесс вычисления показателей становится удобным, если функцию (2) записать в следующем виде:

$$d = e^{-e^{-(x-4)}} \quad (3)$$

Тогда график показательной функции принимает вид, рисунок 1.

Максимально возможного уровня достичь очень сложно, а худшего иметь нежелательно. При решении принимают наибольшее и наименьшее значение уровня желательности соответственно  $X_{imax}=d_{max}=0,80$ ,  $X_{imin}=d_{min}=0,20$ . После этого определяют координаты точек А и В на кривой

желательности. Для решения функции  $d = e^{-e^{-(x-4)}}$  желательности они соответствуют значениям:

$$y_A = d_{min} = 0,20;$$

$$X_A = 4 + [-\ln(-\ln 0,20)] = 3,53$$

Точка А имеет такие координаты А [3,53; 0,20].

Находим координаты точки В

$$y_B = d_{max} = 0,80;$$

$$X_B = 4 + [\ln(-\ln 0,80)] = 5,50$$

Значит, точка с координатами В [5,50; 0,80].

Для согласования имеющихся числовых факторов  $X_i$  с числовыми значениями шкалы  $OX$  надо вычислить масштабный коэффициент. Его находят по зависимости:

$$M_{X_i} = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{X_B - X_A} \quad (4)$$

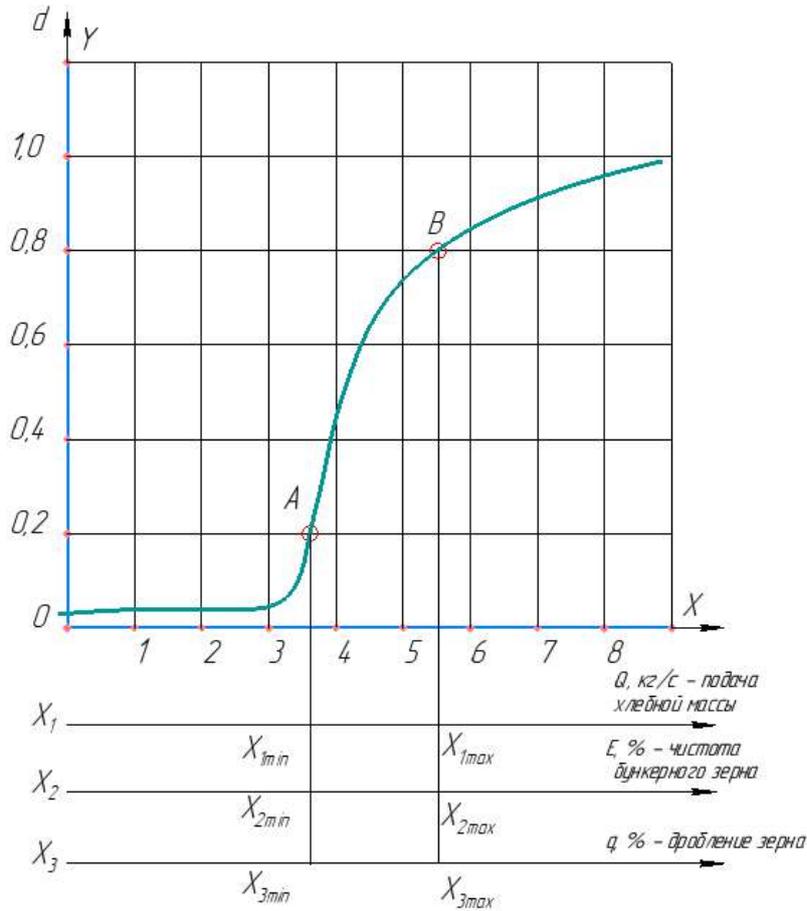


Рисунок 1 – График функции желательности  $d = e^{-e^{-(x-4)}}$

Значение коэффициента перевода  $M_{X_i}$  рассчитывается для каждого фактора отдельно. К примеру, для подачи хлебной массы  $X_{1ф}=5,6\text{кг/с}$  при  $X_{1\min}=2\text{ кг/с}$  и  $X_{1\max}=8\text{ кг/с}$ . Масштабный коэффициент  $M_{X1}=3,04$ , а для чистоты зерна в бункере комбайна  $X_{2ф}=94\%$  при  $X_{2\min}=89\%$  и  $X_{2\max}=98\%$ , масштабный коэффициент  $M_{X2}=4,56$ , а для уровня дробления зерна в бункере комбайна  $X_{3ф}=3,5\%$  при  $X_{3\min}=0,5\%$  и  $X_{3\max}=5\%$ , масштабный коэффициент  $M_{X3}=2,281$ .

Согласование действительных значений факторов, у которых непосредственное увеличение численного значения улучшает итоговый результат, в частности, подача хлебной массы в молотильный аппарат, а также чистота зерна, с числовыми значениями шкалы  $OX$  осуществляется по выражению:

$$X_1^{\text{подача}} = X_A + \frac{X_{1ф} - X_{1\min}}{M_{X1}} \quad (5)$$

$$X_2^{\text{чистота}} = X_A + \frac{X_{2\Phi} - X_{2\min}}{M_{X2}} \quad (6)$$

А для факторов, у которых увеличение численного значения снижает результат, в частности, уровень дробления зерна, с числовыми значениями ОХ осуществляется по формуле:

$$X_3^{\text{дробление}} = X_B - \frac{X_{3\Phi} - X_{3\min}}{M_{X3}} \quad (7)$$

Полученные значения представлены в виде уравнений, а также определяются показателями желательности:

$$\begin{aligned} d_1 &= e^{-e^{-(4,7-4)}} = 0,6086 \approx 0,61 \\ d_2 &= e^{-e^{-(4,6-4)}} = 0,5776 \approx 0,58 \\ d_3 &= e^{-e^{-(4,2-4)}} = 0,4410 \approx 0,44 \end{aligned}$$

По выражению (1) находят обобщенный показатель желательности.

$$D = \sqrt{0,61 \cdot 0,58 \cdot 0,44} = 0,39$$

Работа зерноуборочных комбайнов оценивается эксплуатационными показателями, на величину которых влияет один из главных факторов – время (сроки посева).

Коэффициент технического обслуживания, который определяется

$$K_{Tex} = \frac{t_p}{t_p + t_{Tex}} \quad (8)$$

где  $K_{Tex}$  - значение коэффициента технологического обслуживания;

$t_p$  - значение времени чистой работы комбайна, ч;

$t_{Tex}$  - значение времени, затраченного на осуществление технологического обслуживания.

2. Значение коэффициента надежности технологического процесса, рассчитывается по выражению:

$$K_{TXH} = \frac{t_p}{t_p + t_{TXH}} \quad (9)$$

где  $t_{TXH}$  – значение времени, необходимого для устранения технологических неполадок, ч;

3. Значение коэффициента технического обслуживания определяется по зависимости:

$$K_{TO} = \frac{t_p}{t_p + t_{TO}} \quad (10)$$

где  $t_{TO}$  – значение времени технического обслуживания, ч.

Коэффициенты определяются по данным фотохронометражных наблюдений, данных машинно-испытательных станций, результатов эксперимента. Значение коэффициентов имеют различные значения для комбайнов одного и того же класса пропускной способности. По ним оценивается возможность проведения технологического и технического обслуживания и надежность технологического процесса. На величину коэффициентов оказывают влияние

биологические особенности зерновых культур, возделываемых в регионе, существующий уровень технического сервиса, квалификации операторов и другие, связанные с этим, конструктивные факторы уборочных машин. Показатели желательности по данным коэффициентам, определяются по выше приведенной методике.

Исследования проводились в хозяйственных условиях за комбайнами Вектор 410 и Палесье GS812, которые входят в один класс пропускной способности, конструктивно схожие между собой.

В таблице 1 приведены коэффициенты технологического обслуживания, надежности технологического процесса и технического обслуживания зерноуборочных комбайнов Вектор 410 и Палесье GS812, рассчитанные по данным фотохронометражных наблюдений, проведенным в УНПУ «Окское» Иркутского ГАУ по формулам 8,9,10. Указаны минимальные и максимальные значения коэффициентов, взятые из литературных источников и экспериментов, проведенных в благоприятных и тяжелых условиях уборки.

Таблица 1 – Значения коэффициентов технологического обслуживания, надежности технологического процесса и технического обслуживания зерноуборочных комбайнов Вектор 410 и Палесье GS812

№ п/п	Наименование коэффициента	Значение коэффициентов			
		Вектор 410	Палесье GS812	Максимальное значение	Минимальное значение
1.	Коэффициентов технологического обслуживания	0,85	0,79	1,00	0,60
2.	Коэффициент надежности технологического процесса	0,79	0,85	1,00	0,15
3.	Коэффициент технического обслуживания	0,81	0,86	0,90	0,70

Примечание: данные получены при прямом комбайнировании

Используя формулы 3,8,9 и 10 найдены значения показателей желательности и обобщенный показатель для каждой марки зерноуборочного комбайна, таблица 2

Таблица 2 – Значение показателей желательности

№ п/п	Марка зерноуборочного комбайна	Показатель желательности			Обобщенный показатель
		dtex	dtxn	dto	
1.	Вектор 410	0,6323	0,6973	0,5871	0,5088
2.	Палесье GS812	0,5115	0,7286	0,7240	0,5188

### Выводы.

1. Обоснована методика выбора рационального зерноуборочного комбайна с использованием функции желательности Харрингтона.

2. Обобщенный показатель желательности комбайна Палесье GS812 составил 0,5188 и он выше аналогичного показателя комбайна Вектор 410. Согласно критериям оценки показателя эффективности (di) получили допустимый и достаточный уровень. Эффективным комбайном в классе признается тот, который имеет наибольший показатель желательности.

### Список источников

1. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р. А. Ростовцев, В. Г. Черников, И. В. Ущаповский, Р. А. Попов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 45-52. – <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>.

2. Терновых К. С. Развитие инноваций в сельском хозяйстве: тенденции, перспективы / К. С. Терновых, В. В. Куренная, А. В. Агибалов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 13, № 2(65). – С. 96-103. – [https://doi.org/ 10.17238/issn2071-2243.2020.2.96](https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.96).
3. Анализ работы игл игольчатой бороны при их качении по почве / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев, Н. Н. Толстухко, В. В. Шевчук // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 5. – С. 25-29.
4. Мударисов С.Г. Повышение обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: автореф. дисс. ...докт. техн. наук: 05.20.01 / Мударисов Салават Гумерович. – Челябинск, 2007. – 40 с.
5. Абрамов И. Л. Исследование микрорельефа поверхности почвенного слоя и его влияние на силу сопротивления почвы обработке / И. Л. Абрамов // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 8. – С. 87-90. – [https://doi.org/ 10.28983/asj.y2021i8pp87-90](https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp87-90).
6. Тишанинов И. А. Математическая модель оценки среза грунта с помощью фрактального анализа / И. А. Тишанинов, А. С. Свиридов // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2021. – № 10. – С. 20-22. – [https://doi.org/ 10.26160/2309-8864-2021-10-20-22](https://doi.org/10.26160/2309-8864-2021-10-20-22).
7. Voss R., Fractals in nature: from characterization to simulation, in The Science of Fractal Images, H.O. Peitgen and D. Saupe, Editor, 1988, Springer-Verlag, New York, pp. 21-70.
8. Musgrave F.K., C.E. Kolb, and R.S. Mace, The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains, Computer Graphics, July, 1989, 23:3, pp. 41-50.
9. Снук Г. Создание 3D-ландшафтов в реальном времени с использованием C++ и DirectX9: Пер. с англ. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2007. – 368 с.
10. Санжаров А.И. К вопросу использования ГИС-технологий для агроэкологической оценки земель в адаптивно-ландшафтных системах земледелия / А.И. Санжаров, Г.П. Глазунов, Ю.А. Соловьева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №7. – С.24-32.
11. Самсонова В.П. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья / В.П. Самсонова, Ю.Л. Мешалкина // Вестник Московского Университета, сер. 17. Почвоведение. – 2014. – №3. – С. 36-44.
12. Абрамов И. Л. Исследование причин разрушения проволочного зуба вспушвателя лент ленторесты / И. Л. Абрамов // Известия Великолукской ГСХА. – 2018. – № 3. – С. 51-55.

#### References

1. The main problems of scientific support of flax growing / R. A. Rostovtsev, V. G. Chernikov, I. V. Shchapovsky, R. A. Popov // Agricultural machines and technologies. - 2020. – Vol. 14, No. 3. – pp. 45-52. – [https://doi.org/ 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52](https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52).
2. Ternov K. S. Development of innovations in agriculture: trends, prospects / K. S. Ternov, V. V. Kurennaaya, A.V. Agibalov // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2020. – vol. 13, No. 2(65). – pp. 96-103. – [https://doi.org/ 10.17238/issn2071-2243.2020.2.96](https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.96).
3. Analysis of the work of needle harrow needles during their rolling on the soil / G. A. Khailis, M. M. Kovalev, N. N. Tolstushko, V. V. Shevchuk // Tractors and agricultural machines. - 2014. – No. 5. – pp. 25-29.
4. Mudarisov S.G. Improvement of soil tillage by improving the working bodies of machines based on process modeling: the author's abstract. diss. ...doct. Technical sciences: 05.20.01 / Mudarisov Salavat Gumerovich. – Chelyabinsk, 2007. – 40 p.
5. Abramov I. L. Investigation of the microrelief of the surface of the soil layer and its effect on the strength of soil resistance to processing / I. L. Abramov // Agrarian Scientific journal. – 2021. – No. 8. – pp. 87-90. – [https://doi.org/ 10.28983/asj.y2021i8pp87-90](https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp87-90).
6. Tishaninov I. A. Mathematical model for estimating the soil section using fractal analysis / I. A. Tishaninov, A. S. Sviridov // Computer-aided design in mechanical engineering. – 2021. – No. 10. – pp. 20-22. – [https://doi.org/ 10.26160/2309-8864-2021-10-20-22](https://doi.org/10.26160/2309-8864-2021-10-20-22).
7. Voss R., Fractals in nature: from characterization to simulation, in The Science of Fractal Images, H.O. Peitgen and D. Saupe, Editor, 1988, Springer-Verlag, New York, pp. 21-70.

8. Musgrave F.K., C.E. Kolb, and R.S. Mace, The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains, Computer Graphics, July, 1989, 23:3, pp. 41-50.
9. Snuk G. Creating 3D landscapes in real time using C++ and DirectX9:  
Translated from English – М.: KUDITS-OBRAZ, 2007. – 368 p.
10. Sanzharov A.I. On the issue of using GIS technologies for agroecological assessment of lands in adaptive landscape farming systems / A.I. Sanzharov, G.P. Glazunov, Yu.A. Solovyova // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2019. - No.7. – pp.24-32.
11. Samsonova V.P. Assessment of the role of relief in the spatial variability of agrochemically important soil properties for intensively cultivated agricultural land / V.P. Samsonova, Yu.L. Meshalkina // Bulletin of the Moscow University, ser. 17. Soil science. - 2014. - No. 3. – pp. 36-44.
12. Abramov I. L. Investigation of the causes of destruction of the wire tooth of the flax belt fluffer / I. L. Abramov // Izvestiya Velikolukskaya GSHA. – 2018. – No. 3. – pp. 51-55.

#### **Информация об авторах**

Г.Н. Поляков - кандидат технических наук, доцент; С.Н. Шуханов – доктор технических наук, профессор; А.В. Косарева - кандидат технических наук, доцент.

#### **Information about the authors**

G.Polyakov - candidate of technical sciences, associate professor; S. Shukhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Kosareva - 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): 11.05.2024

Принята к публикации (Accepted): 22.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 631.372  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-46-52

## ИЗНОС ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ТЕЧЕНИЕ ПРОГРЕВА

*Станислав Николаевич Шуханов*<sup>1</sup>, *Петр Антонович Болоев*<sup>2</sup>, *Галия Ергешевна Кокиева*<sup>3</sup>,  
*Андрей Александрович Абидуев*<sup>4</sup>, *Александр Сергеевич Пехутов*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>1</sup>Shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>2</sup>Бурятский государственный университет им. Д.Банзарова, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

<sup>2</sup>boloev.pioter.irgsha@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3940-1296>

<sup>3,4,5</sup>Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова,  
г. Улан-Удэ, Российская Федерация

<sup>3</sup>kokievagalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3447-1911>

<sup>4</sup>abana47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0731-1085>

<sup>5</sup>pekhutov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6757-8574>

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

**Реферат.** Оптимальное функционирование силовых агрегатов, в том числе ресурс коррелирует с условиями их эксплуатации. Особую значимость это имеет в условиях резко-континентального климата, присущего Приангарью, где проводились исследования. Актуальность представляют процессы износа дизеля в течение прогрева. Объектом исследования служила модель дизеля Д-240. Циклы пуска и прогрева мотора при +20°C, +10°C и 0°C рассматривали. При каждом температурном режиме проводили 20 пусков. Для оценки износа использовали фотоколориметрический анализ содержания железа в моторном масле. Масло брали из картера двигателя, как до, так и после пусков. Оценка износа деталей силового агрегата было выполнена путем измерения при прогреве мотора на холостых оборотах коленчатого вала, а также под номинальной нагрузкой. Оценка содержания железа в масле при функционировании дизеля с температурой охлаждающей жидкости 80°C, с номинальной нагрузкой при температуре атмосферного воздуха от +20°C до -30°C. В ходе экспериментов было установлено, что износ деталей поршневого двигателя внутреннего сгорания марки Д-240 в условиях Приангарья при реализации циклов пуска и прогрева на холостом ходу тождественен в среднем 36,5% от суммарного эксплуатационного износа; при пуске и последующем прогреве дизеля под номинальной нагрузкой износ соответствовал 13,8%. Прогрев на холостом ходу является причиной более высокого износа деталей по сравнению с прогревом под нагрузкой. Полученные данные представляют ценность при оптимизации условий эксплуатации дизельных силовых агрегатов в регионах с резко-континентальным климатом.

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс, дизельный двигатель, ресурс, прогрев, износ.

## DIESEL ENGINE WEAR DURING WARMING UP

*Stanislav Shukhanov*<sup>1</sup>, *Petr Boloev*<sup>2</sup>, *Galia Kokieva*<sup>3</sup>, *Andrey Abiduev*<sup>4</sup>, *Alexander Pekhutov*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Agrarian University named after. A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation

<sup>1</sup>Shuhanov56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>

<sup>2</sup>Buryat State University named after. D. Banzarov, Ulan-Ude, Russian Federation

<sup>2</sup>boloev.pioter.irgsha@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3940-1296>

<sup>3,4,5</sup>Buryat State Agricultural Academy named after. V.R. Filippova, Ulan-Ude, Russian Federation

<sup>3</sup>kokievagalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3447-1911>

<sup>4</sup>abana47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0731-1085>

<sup>5</sup>pekhutov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6757-8574>

**Abstract.** *The optimal functioning of power units, including their service life, correlates with their operating conditions. This is of particular importance in the conditions of the sharply continental climate inherent in the Angara region, where the research was carried out. The processes of diesel wear during warm-up are relevant. The object of the study was the diesel model D-240. Cycles of starting and warming up the engine at +20°C, +10°C and 0°C were considered. At each temperature condition, 20 starts were carried out. To assess wear, photocolorimetric analysis of the iron content of engine oil was used. Oil was taken from the engine crankcase, both before and after starts. The assessment of wear of power unit parts was carried out by measuring when the engine warmed up at idle speed of the crankshaft, as well as under rated load. Assessment of iron content in oil when operating a diesel engine with a coolant temperature of 80°C, with a rated load at an ambient temperature of +20°C to -30°C. During the experiments, it was found that the wear of parts of the D-240 piston internal combustion engine in the Angara region during the start-up and warm-up cycles at idle is identical to an average of 36.5% of the total operational wear; during startup and subsequent warming up of the diesel engine under rated load, wear corresponded to 13.8%. Warming up at idle causes higher wear of parts compared to warming up under load. The data obtained are valuable for optimizing the operating conditions of diesel power units in regions with a sharp continental climate.*

**Keywords:** *agro-industrial complex, diesel engine, resource, heating, wear.*

**Для цитирования:** Шуханов С.Н., Болоев П.А., Кокнева Г.Е., Абидуев А.А., Пехутов А.С. Износ дизельного двигателя в течение прогрева // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 46-52. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-46-52>.

**For citation:** Shukhanov S., Boloev P., Kokieva G., Abiduev A., Pekhutov A. Diesel engine wear during warming up. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-46-52>.

**Введение.** Производственные процессы на современном этапе развития агропромышленного комплекса обеспечиваются техническими средствами и технологиями на базе достижений научных разработок аграрной науки [1,2]. Главным образом для этого используются машины и оборудование механизации сельского хозяйства. Также в аграрном секторе страны нашли широкое применение автомобили и трактора. Ключевое значение при этом имеет техника, оснащенная двигателями внутреннего сгорания как основного источника энергии машин сельскохозяйственного назначения [3-6]. Корректная работа силовых агрегатов, в том числе их ресурс во многом зависят от условий эксплуатации. Особую значимость это имеет в условиях резко-континентального климата, присущего Приангарью, где проводились исследования. В частности, актуальность представляют процессы износа дизеля в течение прогрева.

**Цель исследования** - определение износа дизельного двигателя в течение прогрева.

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследования использовался дизельный силовой агрегат марки Д-240. Температура атмосферного воздуха была +20 °С, 10°С и 0°С. Повторность пусков тождественна 20. Содержание железа в моторном масле определялась посредством использования фотоколориметрического анализа до и после пусков.

**Результаты и обсуждение.** Износ деталей силового агрегата оценивался по работе в режиме прогрева. Эксперименты выполнялись при разных значениях температуры атмосферного воздуха. Кроме того, нагрузочные режимы двигателя также были разными. При работе силового агрегата с номинальной нагрузкой значение температуры охлаждающей жидкости соответствовало нормальной величине – 80 °С. Затем оценивали износ мотора путем определения количества снятого железа. В то же время температурные значения атмосферного воздуха находились в диапазоне от +20 до -30°С [7,8]. После этого полученные результаты сравнивали, что позволяло определить собственно износ деталей испытываемого дизельного силового агрегата.

Полученные данные после обработки результатов исследований продемонстрировали увеличение износа деталей при понижении температуры от +20°С до -30°С. Количественное значение износа варьировалась в пределах от 7,6 до 13,0 мг/час. Это означает, что при понижении температуры износ деталей увеличивается. Относительное увеличение: в целом, износ деталей при пониженных температурах возрастает примерно в 1,7 раза.

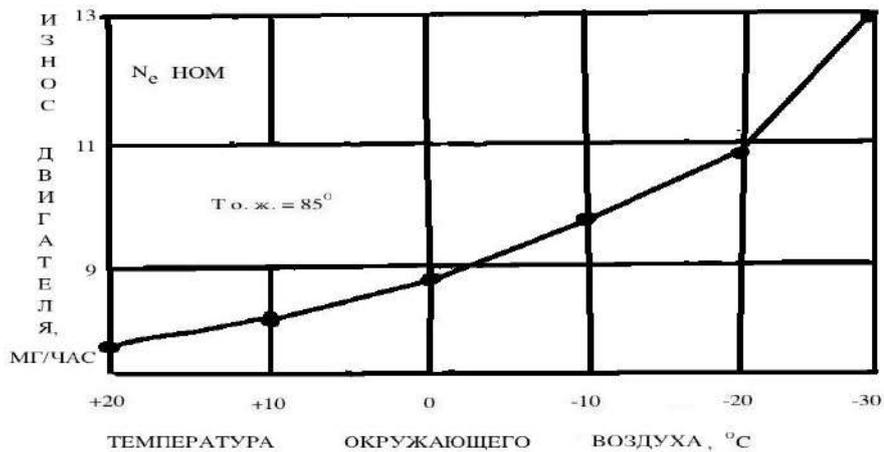


Рисунок 1 – Износ дизельного силового агрегата при функционировании при номинальном значении нагрузки

На износ деталей силового агрегата в сторону увеличения оказывают влияние понижение температурных показателей воздуха окружающей среды, в том числе применяемый тепловой режим работы дизеля.

Установлена тенденция возрастания износа деталей силового агрегата по мере повышения среднего индикаторного давления, которое коррелирует с жесткостью работы двигателя. Жесткость функционирования дизеля возрастает при понижении температуры окружающего воздуха, что усиливает износ.

Анализ проб моторного масла, осуществленный в процессе исследования продемонстрировал, что износ деталей двигателя увеличивается при понижении температуры атмосферного воздуха во время пуска. Если при +20°C износ соответствует 1,40 мг железа, то при +10°C он увеличился до 1,67 мг железа; а при 0°C уже достиг 1,80 мг железа.

Время, необходимое для пуска силового агрегата, возрастает с понижением температуры атмосферного воздуха. Если при значении температуры окружающего воздуха +20°C время пуска равно 5,1 секунды, то при 0°C оно увеличивается до 7,5 секунды. При значении температуры воздуха минус 30°C и подогреве силового агрегата до 0°C время продолжительности пуска возрастает до 10 секунд.

Сравнительный анализ износа. Для более полного понимания величины износа при пуске дизеля приведем данные выполненного анализа экспериментальных исследований. Величина износа, полученного в результате одного пуска при положительном значении температуры тождественна износу за 0,20-0,21 часа функционирования двигателя при температуре атмосферного воздуха равной +20°C.

При значении атмосферного воздуха равном 0°C величина износа при осуществлении одного пуска соответствует величине износа за 0,21 часа функционирования силового агрегата при том же значении температуры или же 0,24 часа функционирования при температуре окружающего воздуха равном +20°C.

Выполненный анализ данных экспериментальных исследований по скорости износа позволил установить, что износ в процессе осуществления одного пуска представляет собой несущественную величину, тогда как скорость изнашивания во время пуска значительно выше.

Также результаты выполненных опытов выявили, что продолжительность времени процесса пуска находится в пределах от 5,1 до 7,5 секунды при температурных значениях +20°C, а также +10°C атмосферного воздуха и соответственно при значении температуры 0°C временной диапазон увеличивается и тождественен 7,5-10,1 секунды.

Таким образом, реальное значение скорости изнашивания деталей мотора при осуществлении пуска в 96-100 раз выше в сопоставлении с нормальной работой дизеля. Эти данные подчеркивают

важность прогрева двигателя в холодных условиях и выбора подходящего моторного масла для снижения износа.

Одним из ключевых факторов высокого значения скорости процесса изнашивания силового агрегата при осуществлении процесса пуска происходит по причине отсутствием подачи необходимого смазочного материала к трущимся поверхностям деталей. Показания масляного манометра фиксируются лишь через 5,1 сек. после начала пуска при тепловом состоянии мотора перед пуском тождественном соответственно 0 °С, а также 10°С. Кроме того, имеется такой факт: меньшее значение абсолютного износа элементов силового агрегата за время осуществления пуска его.

Влияние температуры на износ деталей: износ деталей двигателя увеличивается при более высоких температурах. Это связано с тем, что при высоких температурах: толщина масляной пленки: Масляная пленка на трущихся поверхностях становится тоньше.

Несущая способность масла: Несущая способность масла уменьшается, что приводит к ухудшению смазки деталей.

Кроме того, функционирование силового агрегата во время процесса прогрева характеризуется его осуществлением на пониженном, а также неустановившемся тепловом режиме работы. В том числе образование коррозионного изнашивания цилиндров, включая поршневые кольца является фактором повышенного износа при функционировании мотора на пониженном тепловом режиме. Работа силового агрегата под нагрузкой способствует сокращению времени его прогрева, что ведет к уменьшению его износа.

Для выявления зависимости температуры, включая нагрузку со значением износа деталей дизельного силового агрегата в процессе выполнения экспериментов в качестве температурных величин окружающего воздуха был принят диапазон от +20°С до -30°С. В таблице 1 сведены значения износа при различных температурах, а также режимах нагрузки.

Таблица 1- Значения износа деталей двигателя при различных температурах и нагрузочных

Режим процесса прогрева	Значение температуры окружающего воздуха, °С					
	+20	+10	0	-10	-20	-30
	Износ в мг снятого железа					
х, ход	17,3	19,0	20,9	23,7 (до 65 <sup>0</sup> )	30,0 (до 59 <sup>0</sup> )	37,7 (до 53 <sup>0</sup> )
1/3 N <sub>с</sub> ном	12,2	14,2	15,1	21,2	26,0 (до 78 <sup>0</sup> )	36,6 (до 74 <sup>0</sup> )
1/2 N <sub>с</sub> ном	9,6	10,8	12,1	17,2	20,6	27,0
2/3 N <sub>с</sub> ном	8,0	8,3	9,8	11,7	14,0	19,5
N <sub>с</sub> ном	6,4	6,8	8,4	9,8	11,0	14,5

Из данных таблицы 1 явствует, что величина износа дизельного силового агрегата за пуск-прогрев тесно коррелирует со значением температуры атмосферного воздуха, кроме того, с нагрузочным режимом функционирования мотора.

Изменение величины износа деталей дизельного двигателя в процессе пуска-прогрева в корреляции с температурой окружающего воздуха проиллюстрировано на графике (рисунок 2). Анализ этого графика показывает, что понижение значения температуры атмосферного воздуха влияет отрицательным образом на износ силового агрегата при прогреве, а именно в сторону его возрастания. Экспериментальные исследования проводились на модели дизеля Д-240 при различных условиях прогрева.

Влияние температуры окружающей среды. Понижение значения температуры окружающей среды в диапазоне от +20°С до -30°С значительно увеличивают количественный показатель износа деталей дизеля в период прогрева на холостых оборотах. А именно, понижению значения температуры атмосферного воздуха до -30°С величина износа возрастает в 2,2 раза.

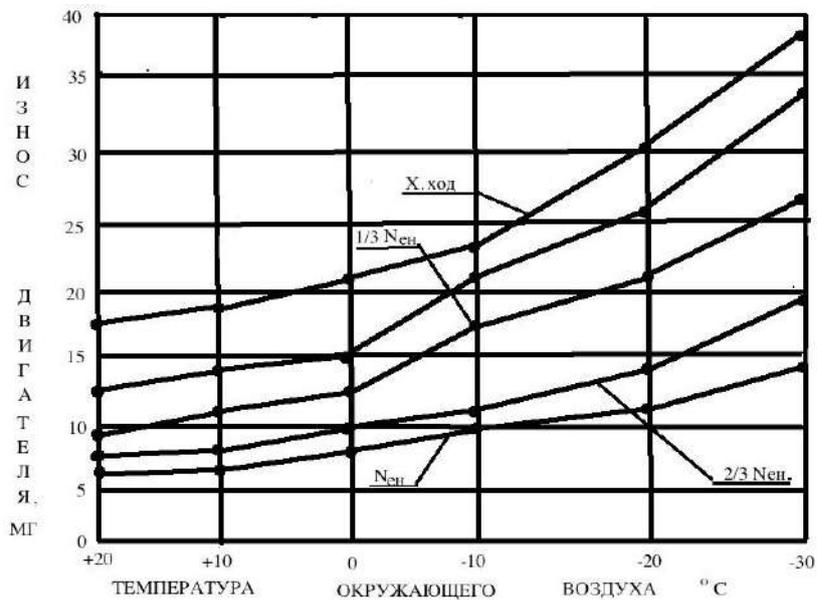


Рисунок 2 – Износ деталей силового агрегата за пуск-прогрев

Влияние нагрузки, а также времени прогрева. Функционированию мотора в холостом режиме прогрев жидкости системы охлаждения до значения 82°С занимает 45 минут при температуре атмосферного воздуха +20°С. При работе мотора в таком же режиме, но при значении -30°С окружающего воздуха достижение той же температуры охлаждающей жидкости занимает около 60 минут. Это объясняется более низкой эффективностью охлаждения при низких температурах.

Влияние нагрузки на износ. Мы также изучили влияние нагрузки на износ двигателя. При увеличении нагрузки от холостого хода до номинальной мощности наблюдается снижение износа. Прогрев двигателя под номинальной нагрузкой снижает износ в 2,61-2,8 раза по сравнению с прогревом на холостых оборотах при различных температурах.

Сравнительный анализ времени прогрева, в том числе износа. Из сравнительного анализа времени прогрева, а также износа становится понятным, что уменьшение времени прогрева не всегда пропорционально уменьшению износа. Это может быть обусловлено различными условиями прогрева и температурой окружающей среды.

На основе наших данных мы составили таблицу 2.

Таблица 2 - Данные значений средней скорости изнашивания деталей дизеля при прогреве под нагрузкой при разных температурах окружающего воздуха

Режим прогрева	Температура окружающего воздуха, °С					
	+20	+10	0	-10	-20	-30
	Средняя скорость изнашивания, %					
x, ход	100	100,9	108,5	-	-	-
1/3 N <sub>н</sub> ном	198,0	178,0	178,0	165,0	-	-
2/3 N <sub>н</sub> ном	197,0	196,0	230,0	240,0	205,0	178,0
N <sub>н</sub> ном	276,0	253,0	287,0	318,0	312,0	250,0

Анализ результатов экспериментов (таблица 2) показывает, что значение средней скорости изнашивания дизельного силового агрегата при прогреве во время его функционирования под нагрузкой, соответствующей номинальной мощности, в 2,5-3 раза превышает значение средней скорости изнашивания при прогреве на холостом ходу. Повышение средней скорости изнашивания с увеличением нагрузки объясняется двумя причинами: более высоким удельным давлением на трущиеся поверхности деталей кривошипно-шатунного механизма и возрастанием коррозионного изнашивания цилиндров. С увеличением нагрузки на двигатель увеличивается

количество образующихся продуктов сгорания, некоторые продукты сгорания, такие, как двуокись углерода и сернистые соединения образуют с водой, выделяющееся при сгорании, кислоты, которые отличаются высокой коррозионной активностью. Установлено [7], что особой коррозионной агрессивностью продукты сгорания отличаются при пониженной температуре стенок цилиндров, что и имеет место при прогреве дизельного двигателя. Процесс прогрева силового агрегата при его функционировании под нагрузкой сопровождается высоким значением средней скорости величины изнашивания. Это объясняется значительным сокращением продолжительности процесса прогрева относительно времени прогрева на холостых оборотах коленчатого вала мотора.

Данные, полученные путем сравнения значений износа дизельного мотора за период осуществления одного цикла пуска-прогрева (таблица 1) с величиной износа за один час его функционирования (7,6 мг) на номинальной мощности при температуре охлаждающей жидкости 85<sup>0</sup>С, а также при температуре окружающего воздуха +20<sup>0</sup>С, сведены в таблицу 3.

Таблица 3 - Данные по продолжительности функционирования дизеля в часах, эквивалентной по износу пуску-прогреву в корреляции со значением температуры окружающего воздуха и режима прогрева

Режим прогрева	Температура окружающего воздуха, <sup>0</sup> С					
	+20	+10	0	-10	-20	-30
	Продолжительность работы дизельного двигателя в часах, эквивалентная по износу пуску-прогреву					
х, ход	2,3	2,4	2,8	3,1	4,0	5,0
1/3 N <sub>е</sub> ном	1,6	1,8	2,0	2,5	3,7	4,4
2/3 N <sub>е</sub> ном	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	2,7
N <sub>е</sub> ном	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9

Проведенный анализ данных из таблицы 3 показывает, что наивысший уровень износа дизельного силового агрегата наблюдается при прогреве на холостых оборотах. Этот уровень износа характеризуется устойчивым увеличением на всех режимах прогрева при снижении температуры окружающей среды. Некоторые итоговые результаты по исследованию циклов пусков и прогрева, в том числе функционирование с трактором в течение года, отражены в таблице 4.

Таблица 4 – Итоговые результаты

Режим	Износ, г
пуск и прогрев на холостых оборотах	7,4
пуск, а также прогрев под нагрузкой (мощность-номинальная)	2,8
Работа в нормальном тепловом режиме (температура охлаждающей жидкости 85 <sup>0</sup> С) с номинальной нагрузкой	20.3

**Заключено.** В результате выполненных экспериментальных исследований по изучению износа дизельного двигателя Д-240 в течение прогрева установлено, что уровни износа в условиях резко-континентального климата Приангарья в среднем при пуске, а затем последующем прогреве на холостых оборотах тождественен 36,5%, а при пуске и прогреве под нагрузкой на номинальной мощности соответствует 13,8% от всего эксплуатационного износа.

#### Список источников

- Ильин П.И. Определение оптимальной частоты вращения коленчатого вала при диагностировании // Актуальные вопросы аграрной науки. - 2018. № 28. - С. 5-14.
- Сухаева А.Р., Алтухова Т.А., Алтухов С.В. Совершенствование стенда для испытания энергоаккумуляторов автомобилей // Актуальные вопросы аграрной науки. - 2021. № 38. - С. 26-33.
- Егоров И.Б. Влияние особенностей конструкции двигателей внутреннего сгорания на его ресурс // В книге: Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии

агропромышленного комплекса региона. сборник научных тезисов студентов. п. Молодежный - 2021. С. 120-121.

4. Голубев Д.Н. Особенности электронных систем впрыскивания топлива // Научный журнал молодых ученых. - 2022. № 4 (29). - С. 32-38.

5. Голубев Д.Н. Особенности функционирования каталитического преобразователя и лямбда-зонда // Научный журнал молодых ученых. - 2022. № 5 (30). - С. 40-45.

6. Степанов Н.В., Сухаева А.Р., Хороших О.Н., Хараев Г.И., Доржиев А.С. Обзор и анализ системы рециркуляции отработавших газов (EGR) // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2022. № 4 (31).

7. Попов В.В., Болоев П.А. Эксплуатация тракторных дизелей в зимний период. Иркутск, 2013.

8. Шуханов С.Н., Кузьмин А.В., Хороших О.Н. Обзор и анализ исследований по износу в процессе пуска и прогрева двигателя // Известия международной академии аграрного образования. - 2021. № 57.- С. 77-79.

#### References

1. Ilyin P.I. Determination of the optimal crankshaft rotation speed during diagnostics // Current issues of agrarian science. - 2018. No. 28. - P. 5-14.

2. Sukhaeva A.R., Altukhova T.A., Altukhov S.V. Improving a stand for testing energy accumulators of cars // Current issues of agrarian science. - 2021. No. 38. - P. 26-33.

3. Egorov I.B. The influence of design features of internal combustion engines on its service life // In the book: The importance of scientific student circles in the innovative development of the region's agro-industrial complex. collection of scientific theses of students. p. Molodezhny - 2021. P. 120-121.

4. Golubev D.N. Features of electronic fuel injection systems // Scientific journal of young scientists. - 2022. No. 4 (29). - pp. 32-38.

5. Golubev D.N. Features of the functioning of the catalytic converter and lambda probe // Scientific journal of young scientists. - 2022. No. 5 (30). - P. 40-45.

6. Stepanov N.V., Sukhaeva A.R., Khoroshikh O.N., Kharaev G.I., Dorzhiev A.S. Review and analysis of the exhaust gas recirculation (EGR) system // Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University. - 2022. No. 4 (31).

7. Popov V.V., Boloev P.A. Operation of tractor diesel engines in winter. Irkutsk, 2013.

8. Shukhanov S.N., Kuzmin A.V., Khoroshikh O.N. Review and analysis of research on wear during engine start-up and warm-up // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. - 2021. No. 57.- P. 77-79.

#### Информация об авторах

С.Н. Шуханов - доктор технических наук, доцент; П. А. Болоев - доктор технических наук, профессор; Г.Е. Кокиева – доктор технических наук, доцент; А.А. Абидуев – доктор технических наук, доцент; А.С. Пехутов доктор технических наук, доцент.

#### Information about the authors

S. Shukhanov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; P. Boloev - Doctor of Technical Sciences, Professor; G. Kokieva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; A. Abiduev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; A. Pekhutov - Doctor 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): 13.05.2024 Принята к публикации (Accepted): 15.06.2024

Тип статьи: научная

УДК 631.3

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-53-60

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА И РЕЖИМОВ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ В РАЗРЕЖЕННОЙ СРЕДЕ

*Надежда Михайловна Латышенок*<sup>1</sup>, *Александр Владимирович Шемякин*<sup>2</sup>,  
*Валентин Алексеевич Макаров*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева,  
г. Рязань, Российская Федерация  
<sup>3</sup> va\_makarov@rambler.ru

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

**Реферат.** Проведенными исследованиями установлено, что большую часть времени семенное зерно находится в режиме хранения в соответствующих ёмкостях (мешках, контейнерах). Выявлено, что в режиме хранения в герметичных контейнерах идёт процесс удаления накапливающегося углекислого газа с одновременным обновлением воздушной среды из окружающего воздуха. Система обмена воздушной среды происходит в режиме аэрации с компонентами азота, кислорода, аргона, гелия, водорода, паров воды и т.д. для которых рассмотрены молекулярные массы и теоретически обоснована средняя молярность массы воздушной смеси. Рассмотрено влияние различных факторов на значение средней массы воздушной смеси. Установлены математические зависимости общего объёма содержимого в герметичном контейнере, состоящего из объёма зерновой массы и объёма в межзерновом пространстве, от скважности, формы зерна и его засорённости. Получена графическая зависимость воздушной массы от доли кислорода, демонстрирующая, с уменьшением содержания кислорода в молярной массе смеси возрастает доля углекислого газа. При расчёте накопителя углекислого газа, последний рассматривается как идеальный газ, для которого можно использовать уравнение Менделеева – Клапейрона, получена формула для определения его давления в герметичной ёмкости по соответствующей зависимости. Для определения зависимости изменения массы воздушной смеси от скважности и разреженности внутри ёмкости получено математическое обоснование изменения воздушной массы в ёмкости от скважности и степени разряжения воздушной среды в одном м<sup>3</sup> ёмкости. На основании проведенных исследований делается соответствующее заключение с требованиями к устройству для хранения зерновой массы в разреженной воздушной среде.

**Ключевые слова:** зерно, ёмкость хранения, разряженная среда, компоненты смеси.

## SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND MODES OF GRAIN STORAGE IN A DISCHARGED ENVIRONMENT

*Nadezhda Latyshonok*<sup>1</sup>, *Alexander Shemyakin*<sup>2</sup>, *Valentin Makarov*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev,  
Ryazan, Russian Federation  
<sup>3</sup> va\_makarov@rambler.ru

**Abstract.** The research has established that most of the time, seed grain is stored in appropriate containers (bags, containers). It was revealed that during storage in sealed containers, the process of removing accumulated carbon dioxide occurs while simultaneously renewing the air environment from the surrounding air. The air exchange system occurs in aeration mode with the components of nitrogen, oxygen, argon, helium, hydrogen, water vapor, etc. for which the molecular masses are considered and the average molarity of the mass of the air mixture is theoretically justified. The influence of various

factors on the value of the average mass of the air mixture is considered. Mathematical dependencies for the total volume of contents in a sealed container have been established, consisting of the volume of the grain mass and the volume in the intergrain space, from the porosity, the shape of the grain and its contamination. A graphical dependence of the air mass on the proportion of oxygen was obtained, demonstrating that with a decrease in the oxygen content in the molar mass of the mixture, the proportion of carbon dioxide increases. When calculating a carbon dioxide storage tank, the latter is considered as an ideal gas, for which the Mendeleev-Cliperon equation can be used, and a formula is obtained for determining its pressure in a sealed container using the corresponding dependence. To determine the dependence of the change in the mass of the air mixture on the duty cycle and rarefaction inside the container, a mathematical justification was obtained for the change in the air mass in the container on the duty cycle and the degree of rarefaction of the air in one m<sup>3</sup> of the container. The corresponding conclusion with the requirements for a device for storing grain mass in a rarefied air environment is made based on the research carried out.

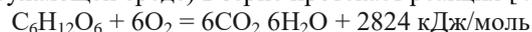
**Keywords:** grain, storage capacity, discharged medium, components of the mixture.

**Для цитирования:** Латышенок Н.М., Шемякин А.В., Макаров В.А. Обоснование конструктивно-технологических параметров устройства и режимов хранения зерновых в разряженной среде // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 53-60. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-53-60>.

**For citation:** Latyshonok N., Shemyakin A., Makarov V. Substantiation of the structural and technological parameters and modes of grain storage in a discharged environment. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 53-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-53-60>.

**Введение.** Свежеубранное зерно, как правило, используется после длительного периода хранения. Сохранность зерна зависит от его чистоты, качества защиты от вредителей, температуры и влажности. Традиционно используют три основных режима хранения зерна в состоянии: сухом, охлажденном, без доступа воздуха или в газовой среде. Многочисленными исследованиями выявлено, что технология хранения семенного зерна в герметичной емкости всегда проходит в двух режимах: без вентиляции и с вентиляцией (аэрацией) межзернового пространства в ёмкости хранилища [1,2, 3]. В режиме «хранения» устройство находится большую часть времени. Характерной особенностью этого режима является постоянное изменение состава воздушной смеси, находящейся в рабочем объеме зернохранилища, за счет расходования кислорода на аэробное дыхание семенного зерна и насыщения углекислым газом, который является продуктом жизнедеятельности семян. Изменения, происходящие при хранении семенного зерна без вентиляции, не требуют дополнительного поступления энергетических и других затрат из окружающей среды и поэтому можно считать, что режим «хранения» представляет собой закрытую термодинамическую систему.

В период хранения из-за взаимодействия физических, химических и биологических факторов зерно может портиться из-за нежелательного воздействия биологических организмов (гниение, порча насекомыми, грибами, грызунами) и саморазогрева. Основные потери зерна при хранении зависят от температуры и влажности, как самого зерна, так и окружающей среды, поэтому важно обеспечивать определенную температуру, проветривание и влажность. При организации хранения зерна необходимо учитывать некоторые физические (например, скважистость, сыпучесть, гигроскопичность, теплопроводность и др.) и биологические (например, дыхание) свойства, значение которых зависит в основном от условий окружающей среды. Клетки зерна во время дыхания обеспечиваются энергией за счет кислорода окружающей среды. При аэробном дыхании (достаточно кислорода в окружающей среде) в зерне протекает реакция [4]:



В процессе аэробного дыхания семян в контейнере состав воздуха в межзерновом пространстве постоянно меняется, при этом содержание углекислого газа увеличивается, а кислорода – уменьшается.

При анаэробном дыхании (недостатке кислорода происходит спиртовое брожение:



В период хранения зерна должны быть созданы условия для его аэробного дыхания, при этом необходимо заботиться о том, чтобы образующийся в результате дыхания углекислый газ не накапливался в зерновой массе и вытеснялся из нее воздухом с достаточным содержанием кислорода [5]. При повышенном содержании углекислого газа необходимо производить вентиляцию зерновой массы наружным воздухом для исключения анаэробного дыхания зерна.

Анализ существующих способов хранения зерна показал, что оптимальным является хранение в металлических силосах (контейнерах) с частично разреженной воздушной средой, позволяющей не допустить образование конденсационной влаги внутри этого контейнера в процессе вентиляции межзернового пространства и замедлить, соответственно, скорость аэробного дыхания зерна [6]. К тому же предполагается, что в разреженной воздушной среде ограничивается жизнедеятельность насекомых и микроорганизмов а дыхание зерна остается аэробным.

Целью исследования авторами является попытка обосновать конструктивно-технологические параметры устройства для хранения зерна в разреженной среде и режимы его эффективной работы.

**Материалы и методы.** Было разработано устройство для хранения зерна в разреженной атмосфере [7] в виде герметичного контейнера, в котором создавалась разреженная атмосфера (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид герметичного контейнера для хранения семенного зерна в разреженной атмосфере

**Результаты и обсуждение.** При хранении семенного зерна в контейнере с регулируемой воздушной средой мы имеем дело с двумя видами термодинамических систем: закрытой и открытой (рисунок 2).

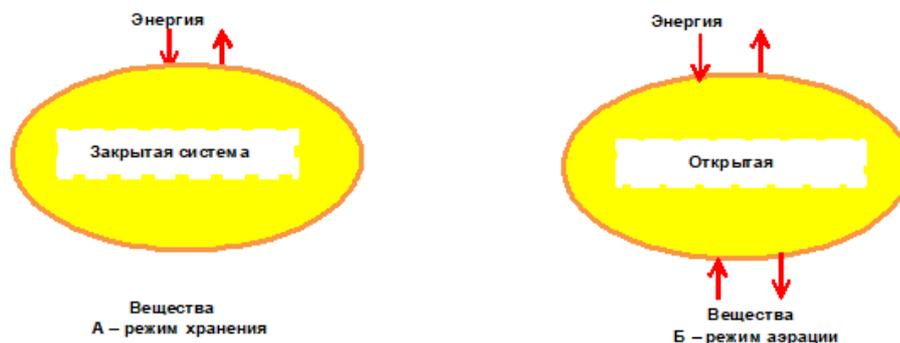


Рисунок 2 - Термодинамическая система обмена воздушной среды в объеме емкости для хранения зерновой массы

При хранении зерна большую часть времени контейнер будет закрытой термодинамической системой, пока не появится необходимость аэрации зерна для исключения его анаэробного дыхания. В режиме «Аэрация» происходит обновление старой воздушной смеси, на свежую, обогащенную кислородом вводимого воздуха в ёмкость из окружающей среды и имеющего свои температурно-влажностные показатели, поэтому можно считать, что режим «Аэрация»

обеспечивает существование открытой термодинамической системы. При аэрации происходят процессы переноса тепла, давления и массы.

Функцией состояния термодинамической системы является энтропия (S). Согласно второму началу термодинамики для открытых систем, энтропия в системе изменяется за счет процессов производства энтропии в самой системе и за счет обмена энтропии между системой и окружающей средой. Энтропия в открытых системах остается неизменной. Неравновесное состояние в открытых системах характеризуется химическим потенциалом компонентов системы.

Воздух является смесью состоящей из различных компонентов: азот N<sub>2</sub>; кислород O<sub>2</sub>; аргон Ar, углекислый газ CO<sub>2</sub>; неон Ne; гелий He; метан CH<sub>4</sub>; криптон Kr; водород H<sub>2</sub>; оксид азота N<sub>2</sub>O; ксенон Xe; Озон O<sub>3</sub>, адон Rn) [2,8]. Объемное и массовое содержание этих основных составляющих атмосферного воздуха около 99%. Поэтому для упрощения дальнейших теоретических исследований воздушная смесь рассматривается, как смесь только отмеченных нами основных компонентов. Известно, что в атмосферном воздухе постоянно присутствует водяной пар, плотность которого меняется в зависимости от температуры воздуха и с учетом климатических условий центральных районов Российской Федерации составляет от 8 до 17 · 10<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup>. Значение средней молярной массы условной воздушной смеси, исходя из сделанных ограничений, определяется в виде зависимости:

$$M_r = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{M_i}}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество компонентов в смеси;

$M_i$  – молярная доля  $i$ -го компонента в смеси, кг/моль;

$\omega_i$  – массовая доля газа.

Молярная масса компонентов воздушной смеси определяется через атомные массы элементов: для азота

$$Mr(N_2) = 2Ar(N) = 2 \cdot 140067 = 28,0134 \text{ г/моль},$$

для кислорода

$$Mr(O_2) = 2Ar(O) = 2 \cdot 15,9994 = 31,9988 \text{ г/моль},$$

для аргона

$$Mr(Ar) = Ar(Ar) = 39,948 \text{ г/моль},$$

для углекислого газа

$$Mr(CO_2) = 1 \cdot Ar(C) + 2Ar(O) = 1 \cdot 12,01115 + 2 \cdot 15,9994 = 44,00995,$$

для паров воды

$$Mr(H_2O) = 2 \cdot Ar(H) + 1Ar(O) = 2 \cdot 1,00797 + 15,9994 = 18,01534 \text{ г/моль}$$

Для сухой воздушной смеси

$$M_{cp} = \frac{1}{\frac{\omega(N_2)}{Mr(N_2)} + \frac{\omega(Ar)}{Mr(Ar)} + \frac{\omega(CO_2)}{Mr(CO_2)}} \quad (2)$$

Однако изменения, происходящие при хранении зерновой массы, по составу воздушной смеси в рабочем объеме герметичной емкости-зернохранилища постоянно меняется из-за дыхания семенного зерна. Вместе с углекислым газом смесь наполняется и водяными парами, которые могут перемещаться в межзерновом пространстве в результате теплообменных процессов между слоями зерна и образовывать конденсат на поверхности семян и внутренних стенках емкости при резких изменениях температуры наружного воздуха.

Объем заполненный воздушной смесью в герметичном устройстве состоит из объема зерновой массы и объемов в межзерновом пространстве и определится как:

$$V_{cv} = (\alpha \cdot S \cdot V_p) \div 100 \%, \quad (3)$$

где  $V_{cv}$  – объем воздухом внутри емкости для хранения, м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – коэффициент заполнения рабочего объема емкости-зернохранилища семенным зерном;

$S$  – скважистость зерновой массы, %;

$V_p$  – рабочий объем емкости для хранения зерна, м<sup>3</sup>.

Скважистость зерновой массы и зависит от формы и размеров зерна, его засоренности может быть определена:

$$S = 100 \cdot (V_p - V) / V_p \text{ или } S = 100 \cdot (1 - V / V_p). \quad (4)$$

Обозначив  $\delta = V / V_p$ ,

Получаем 
$$S = 100 \cdot (1 - \delta) \quad (5)$$

где  $S$  – скважистость зерновой насыпи, %;

$V$  – истинный объем зерен в зерновой насыпи, м<sup>3</sup>;

$\delta$  – степень заполнения рабочего объема емкости семенным зерном.

Качественные показатели сохранности семенного зерна в герметичном контейнере зависят от дыхательного коэффициента, представляющегося соотношением объемов углекислого газа к объему кислорода.

Если дыхательный коэффициент равен единице, то доли кислорода и углекислого газа должны быть равны ( $V_{CO_2} = V_{O_2}$ ), то дыхание зерна идёт по аэробному процессу.

При коэффициенте свыше единицы, дыхание становится анаэробным и запишется как:

$$\omega_{CO_2} = \frac{x_{CO_2} \cdot M_{CO_2}}{x_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + x_{O_2} \cdot M_{O_2}} = 0,57901 \quad (6)$$

$$\omega_{O_2} = \frac{x_{O_2} \cdot M_{O_2}}{x_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + x_{O_2} \cdot M_{O_2}} = 0,42988 \quad (7)$$

Тогда долевое соотношение масс запишется в виде:

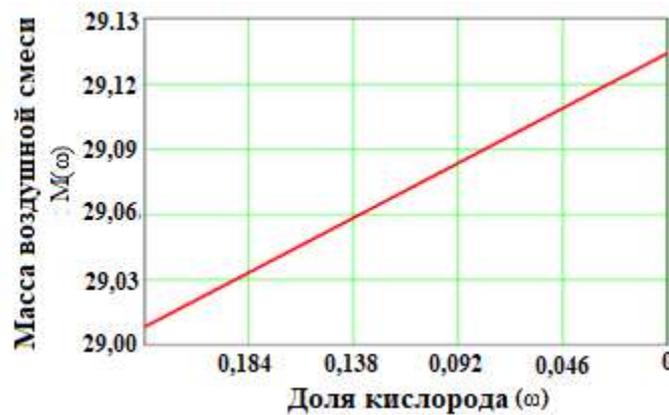
$$\frac{\omega_{CO_2}}{\omega_{O_2}} = \frac{0,57902}{0,42988} = 1,3469 \quad (8)$$

Средняя молярная масса воздушной смеси при дыхании семян может быть определена из формулы:

$$M_{cp} = \frac{1}{\frac{0,7550}{28,0134} + \frac{\omega_{O_2}}{31,9988} + \frac{0,01292}{39,948} + \frac{0,00046 + 1,3469(23,15 - \omega_{O_2})}{44,0095}} \quad (9)$$

Обработав формулу (9) по программе Mathcad, получены зависимости по содержанию кислорода и углекислого газа (рисунок 3). Эта зависимость указывает на то, что дыхательный коэффициент может быть использован для мониторинга условий хранения семенного зерна в качестве диагностического показателя пригодности воздушной смеси к хранению семян в герметичной емкости в реальном промежутке времени.

Вместе с тем из графической зависимости видно, что с уменьшением содержания кислорода в молярной массе смеси возрастает доля углекислого газа. При этом углекислый газ, как наиболее тяжелый, опускается в нижние слои зерновой массы, понижая содержанием кислорода в верхних слоях, что неизбежно приведет к интенсивному переходу зерна на анаэробное дыхание в нижних слоях зерновой массы, а затем и в верхних.



$M(\omega)$  – молярная масса смеси,  $\omega$  – молярная доля кислорода в смеси  
 Рисунок 3 - Зависимость массы воздушной смеси в контейнере от доли кислорода

Для снижения возможного процесса перехода семенного зерна, особенно в нижних слоях зерновой насыпи, на анаэробное дыхание необходимо оборудовать герметичную емкость накопителем углекислого газа, который должна располагаться ниже придонном слое зерна. Наличие такого накопителя также позволит упростить процесс хранения семян за счет расположения в нем необходимых датчиков контроля состояния воздушной смеси и снизить частоту проведения принудительной аэрации зерновой насыпи.

Для расчёта объемов накопителя углекислого газа, смесь воздуха внутри емкости рассматривается, как идеальный газ, для которого можно использовать уравнение Менделеева-Клапейрона, и которое для герметичной ёмкости будет иметь вид:

$$P_{xp} \cdot V_{cv} \cdot M_{cp} = m_{воз.см} \cdot R T_{xp}, \quad (10)$$

где  $P_{xp}$  — давление в ёмкости, Па;  
 $V_{cv}$  - объем воздуха в ёмкости, м<sup>3</sup>;  
 $R$  – газовая постоянная, Дж/(моль·°К);  
 $T_{xp}$  - температура в смеси воздуха, °К;  
 $M_{cp}$  – масса смеси, кг/моль;  
 $M_{воз.см}$  – масса воздуха в ёмкости, кг;

Из уравнений (3) и (10) массу смеси  $m_{воз.см}$  можно определить как:

$$m_{воз.см} = (P_{xp} \cdot \alpha \cdot S \cdot V_k \cdot M_{cp}) / (R T_{xp}), \quad (11)$$

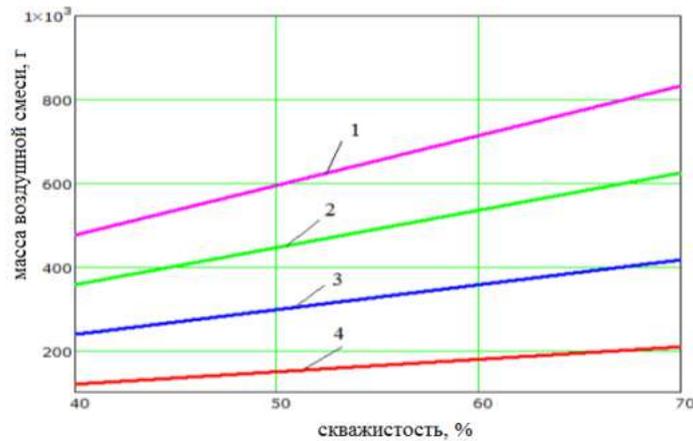
где  $V_k$  – объём емкости, м<sup>3</sup>.

Из формулы (11) видно, что при постоянном объёме ёмкости и температуры в ней на дыхание зерновой массы большое влияние оказывает давление воздушной смеси внутри герметичной емкости, и степень заполнения объема зерновой массой. Оптимальные значения этих технологических параметров планируется при проведении экспериментальных исследований.

Количественные показатели по содержанию углекислого газа в смеси определится как:

$$m(CO_2) = \omega(CO_2) \cdot [P_{xp} \cdot \alpha \cdot S \cdot V_k \cdot M_{cp}] \div (R T_{xp}), \quad (12)$$

Для складывающихся условий хранения семенного зерна в разряженной среде с использованием программы Mathcad, построены графические зависимости для бункера с рабочим объёмом  $V=1^3$  м при температуре зерновой массы  $t=20^\circ\text{C}$  по формуле 12 (рисунок 4).



Давление, кПа: 1 – 100, 2 - 75, 3 - 50, 4 – 25

Рисунок 4 - Зависимость изменения массы воздушной смеси от скважистости и разреженности внутри контейнера

Эти зависимости показывают изменение массы воздушной смеси в емкости с семенным зерном в зависимости от его скважистости и степени разреженности воздушной среды в объеме 1м<sup>3</sup> емкости:

$$V_{CO_2} = \frac{m(CO_2) \cdot R \cdot T_{xp}}{M_{cp} \cdot p_{xp}} \quad (13)$$

где  $M_{cp}$  – масса углекислого газа, кг/моль

Результаты полученные, в ходе исследований говорят о том, что на сохранность семенного зерна в емкости с разреженной воздушной средой значительное влияние оказывают такие технологические параметры, как её ёмкость, заполненная зерном, содержанием кислорода в воздушной массе и объём накопителя углекислого газа.

Значение этих показателей определяется экспериментальным путем. Объем накопителя углекислого газа устанавливается после нахождения оптимального давления воздушной смеси внутри герметичной емкости и массы углекислого газа образовавшегося в процессе дыхания семян.

**Заключение.** При обосновании отмеченных в статье параметров хранения семенного зерна в разреженной воздушной среде нами сформулированы главные технические требования к устройству для хранения семенного зерна в разреженной воздушной среде:

- устройство должно представлять герметичную емкость, имеющую тепловые характеристики, способствующие ограничению теплообменных процессов между слоями зерна, между собой и окружающей средой для прекращения миграции влаги в рабочем объеме устройства и отпотевания зерна;
- для снижения вероятности образования конденсата в рабочем объеме устройство процесс активной вентиляции зерновой массы должен быть заменён на процесс принудительной аэрации, которая будет проходить за счет разреженности воздушной смеси, при этом устройство должно иметь абсорбционный осушитель наружного воздуха используемого для аэрации зерна;
- замена воздушной смеси, в рабочем объеме устройства, должна осуществляться при снижении концентрации в ней кислорода до критического значения, характеризующего переход зерна на анаэробное дыхание.

#### Список источников

1. Латышонок Н.М. Особенности вентиляции зерновой насыпи, находящейся на хранении в герметичном силосе с регулируемой воздушной средой /М.Б. Латышонок, В.А. Макаров, Н.М. Датышонок, А.А. Слободская, А.В. Ивашкин //Вестник РГАТУ.- Рязань: РГАТУ, №3, 2020. – С. 40-46.

2. Технология и организация подготовки и хранения зерна... - <http://avtoreferat.seluk.ru>

3. Быстрицкий Г. Ф. Основы теплотехники и энергетическое оборудование промышленных предприятий. –М.: Юрайт, 2019. – 30 с.
4. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки: учеб.пособие/Е.Д. Казаков. В.Л. Кретович.-М.: Колос.1979.-152 с.
5. Z. O. Ajani (2000). Standardization of Maize Grain Stored by National Strategic Grain Reserve (N.S.G.R.) Unpublished Thesis. M. Eng. Thesis Department of Agricultural Engineering, Federal University of technology, Minna Nigeria.- pp.25-39.
6. Фадеев Л.В. Зерно-живое существо. Не бей его. /Л.В. Фадеев/Хлебопродукты. -2014.-№ 9.- С.42.
7. Патент РФ № 2713802, МПК А01F25/14 Устройство хранения зерна в регулируемой воздушной среде и способ его осуществления/ М.Б. Латышенко, А.В. Ивашкин, Н.М. Латышенко, В.И. Биленко, М.И. Голубенко.- 2019112936; заявлено 26.04.2019; опуб. 07.02.2020. Бюл. №4. -16 с.
8. Пилипюк В.Л. Технология хранения зерна и семян Саратов: IPR MEDIA. 2008 – 75 с.

#### References

1. Latyshonok N.M. Features of ventilation of a grain mound stored in a sealed silo with a controlled air environment / M.B. Latyshonok, V.A., Makarov, N.M. Datyshonok, A.A. Slobodskaya, A.V. Ivashkin // Bulletin of RSATU. - Ryazan: RSATU, No. 3, 2020. – P. 40-46.
2. Technology and organization of grain preparation and storage... - <http://avtoreferat.seluk.ru>
3. Bystritsky G.F. Fundamentals of heat engineering and energy equipment of industrial enterprises. – М.: Yurayt, 2019. – 30 p.
4. Kazakov E.D. Biochemistry of grain and products of its processing: textbook/E.D. Kazakov. V.L. Kretovich.-M.: Kolos. 1979.-152 p.
5. Z. O. Ajani (2000). Standardization of Maize Grain Stored by National Strategies Grain Reserve (N.S.G.R.) Unpublished Thesis. M.Eng. Thesis Department of Agricultural Engineering, Federal University of Technology, Minna Nigeria. - pp.25-39.
6. Fadeev L.V. Grain is a living being. Don't hit him. /L.V. Fadeev/Bread products. -2014.-No. 9.- P.42.
7. RF Patent No. 2713802, IPC A01F25/14 Device for storing grain in a controlled air environment and a method for its implementation / M.B. Latyshenok, A.V. Ivashkin, N.M. Latyshenok, V.I. Bilenko, M.I. Golubenko.- 2019112936; declared 04/26/2019; publ. 02/07/2020. Bull. No. 4. -16 s.
8. Pilipyuk V.L. Grain and seed storage technology Saratov: IPR MEDIA. 2008 – 75 p.

#### Информация об авторах

Латышенко Н. М. – кандидат технических наук, доцент; Шемякин А. В. – доктор технических наук, профессор; Макаров В. А. – доктор технических наук, профессор.

#### Information about the authors

Latyshonok N. – candidate of technical sciences, associate professor; Shemyakin A. – doctor of technical sciences, professor; Makarov V. – 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): 16.05.2024 Принята к публикации (Accepted): 22.06.2024

Тип статьи: научная

УДК 631.1

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-61-72

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

**Юрий Викторович Родионов<sup>1</sup>, Павел Тихонович Пантелеев<sup>2</sup>,  
Александр Егорович Ломовских<sup>3</sup>, Алексей Алексеевич Свиридов<sup>4</sup>,  
Сергей Владимирович Руденко<sup>5</sup>, Григорий Вячеславович Рыбин<sup>6</sup>**

<sup>1,6</sup> Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

<sup>1,3</sup> Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Российская Федерация

<sup>2,3,4,5</sup> ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Российская Федерация

<sup>1</sup> rodionow.u.w@rambler.ru, <sup>2,3,4,5</sup> lomovskih1979@yandex.ru, <sup>6</sup> enot1237@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Александр Егорович Ломовских, lomovskih1979@yandex.ru

Corresponding author: Alexander Lomovskikh, lomovskih1979@yandex.ru

**Реферат.** Эффективность системы материально-технического обеспечения (МТО) сельскохозяйственного предприятия (СХП) определяется количеством выходов в рейс автотракторных средств (АТС) за требуемый период времени. Предлагается повысить эффективность системы МТО в условиях низких температур с помощью методики определения технического состояния АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики (АСКД) в условиях низких температур. Для обоснования методики необходимо разработать методику формирования облика АСКД АТС, модель АТС с использованием предлагаемого способа проверки АТС с использованием АСКД, а также алгоритм проверки значимости влияния способа проверки АТС на количество рейсов, выполняемых СХП. Представлена блок-схема методики, на которой отражены взаимосвязи исходных данных с разрабатываемыми (используемыми) методикой обоснования облика, моделью и алгоритмом, а также логическая организация самой методики определения технического состояния АТС. Подробно рассмотрены основные компоненты разработанной методики определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур: методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур; модель МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД; алгоритм проверки статистической значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС в условиях низких температур с применением автоматизированной системы контроля и диагностики на количество рейсов, выполняемых СХП; способ проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур. Проведена проверка адекватности и исследованы свойства модели МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД. Оценка эффекта от применения предлагаемого способа, показала возможность увеличения количества рейсов от 10 до 20%. Подтверждена гипотеза о значимости влияния предлагаемого способа на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур за заданное время работы.

**Ключевые слова:** эффективность, система материально-технического обеспечения, автотракторные средства, автоматизированной системы контроля и диагностики, способ проверки, модель, низкие температуры.

## METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF AUTOMOTIVE VEHICLES USING AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM AND DIAGNOSTICS AT LOW TEMPERATURES

Yuri Rodionov<sup>1</sup>, Pavel Pantelev<sup>2</sup>, Alexandr Lomovskikh<sup>3</sup>, Alexey Sviridov<sup>4</sup>, Sergey Rudenko<sup>5</sup>,  
Grigory Rybin<sup>6</sup>

<sup>1,6</sup> Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation

<sup>1,3</sup> Michurinsky State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation

<sup>2,3,4,5</sup> air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin,  
Voronezh, Russian Federation

<sup>1</sup>rodionow.u.w@rambler.ru, <sup>2,3,4,5</sup>lomovskikh1979@yandex.ru, <sup>6</sup>enot1237@gmail.com

**Abstract.** Efficiency of the logistics system (LS) of an agricultural enterprise (AE) is determined by the number of outings of motor vehicles (MV) for the required period of time. It is proposed to increase the efficiency of the LS system in low temperature conditions using a technique for determining the technical condition of vehicles using an automated monitoring and diagnostic system (AMDS) in low temperature conditions. A methodology for forming the appearance of an AMDS MV, a model of an MV using the proposed method of checking an MV using an AMDS, as well as an algorithm for checking the significance of the influence of the method of checking an MV on the number of flights performed by AE must be developed to justify it. A flow diagram of the methodology, which reflects the relationship of the initial data with the developed (used) method of substantiating the appearance, model and algorithm, as well as the logical organization of the methodology itself for determining the technical condition of the MV is presented. The main components of the developed methodology for determining the technical condition of a vehicle using AMDS in low temperature conditions are discussed in detail: the method of forming the appearance of an AMDS MV based on AVR microcontrollers for low temperature conditions; model of LS of AE in conditions of low temperatures using the method of checking ATS with AMDS; an algorithm for checking the statistical significance of the influence of the proposed method of checking vehicles in low temperature conditions using an automated monitoring and diagnostic system on the number of flights performed by agricultural enterprises; a method for checking vehicles using AMDS in low temperature conditions. The adequacy was checked and the properties of the SHP LS model were investigated under low temperature conditions using the method of checking ATS with AMDS. Evaluation of the effect of using the proposed method showed the possibility of increasing the number of flights from 10 to 20%. The hypothesis about the significance of the influence of the proposed method on the number of flights performed by AE in low temperature conditions for a given operating time was confirmed.

**Keywords:** efficiency, logistics system, automotive equipment, automated control and diagnostic system, verification method, model, low temperatures.

**Для цитирования:** Родионов Ю.В., Пантелеев П.Т., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Руденко С.В., Рыбин Г.В. Методика определения технического состояния автотракторных средств с применением автоматизированной системы контроля и диагностики в условиях низких температур // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 61-72. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-61-72>.

**For citation:** Rodionov Yu., Pantelev P., Lomovskikh A., Sviridov A., Rudenko S., Rybin G. Methodology for determining the technical condition of automotive vehicles using an automated control system and diagnostics at low temperatures. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 61-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-61-72>.

**Введение.** Для качественного и оперативного выполнения задач, стоящих перед сельскохозяйственным предприятием (СХП), формируется система материально-технического обеспечения (МТО). Систему МТО можно отнести к классу сложных организационно-технических систем, состоящую из подсистем, выполняющих определенные функции в целях достижения СХП максимальной эффективности.

Процесс функционирования системы МТО представляет собой совокупность различных операций, в том числе с интенсивным использованием машинно-тракторного парка (МТП) состоящего из автотракторных средств (АТС), энергетических средств (ЭС), вспомогательных устройств и др. МТО в климатических условиях Северо-запада, Сибири и Дальнего Востока России, существенно затрудняется ввиду низких температур, сильных ветров, сопровождаемых

метелями. Также большая часть территории России находится в умеренном климатическом поясе, для которого в зимнее время характерны вышеуказанные погодные факторы, затрудняющие МТО.

Сложные климатические условия снижают производительность работы водительского и технического персонала при АТС, увеличивают время подготовки АТС для выполнения работ. Особенно заметно увеличение времени, затрачиваемого на запуск и прогрев силовых установок, а также диагностику специального оборудования АТС, что непосредственно влияет на время подготовки АТС к работе. Более того уровень автоматизации контроля и диагностирования АТС при подготовке к использованию, а также непосредственно в процессе работы является достаточно низким, что в значительной мере снижает эффективность системы МТО в целом. Эффективность системы МТО применительно к подсистеме транспортного обеспечения определяется количеством выходов в рейс за требуемый период времени. Количество обеспеченных выходов в рейс в основном зависит от числа участвующих в работах АТС и от времени, затрачиваемого на подготовку их к работе.

Таким образом, возникает противоречие в практике между необходимостью увеличения количества рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур за требуемый период времени и низкой эффективностью существующей системы МТО. Изложению решения данного вопроса посвящена настоящая статья.

**Материалы и методы.** С учётом ограничений существующих методов повышения эффективности, выявленных с помощью контент-анализа предметной области, научной задачей исследования является разработка методики определения технического состояния АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики (АСКД) в условиях низких температур, позволяющего повысить эффективность МТО, оцениваемую количеством выходов в рейс, при заданных ограничениях на оперативность и ресурсоемкость. Формализованная постановка задачи имеет следующий вид (1-2):

$$M: \begin{cases} H_0 - \text{"влияние предлагаемого способа проверки АТС} \\ \text{с применением АСКД значимо" если } F_p > F_{кр} \\ H_1 - \text{"влияние предлагаемого способа проверки АТС"} \\ \text{с применением АСКД не значимо" если } F_p \leq F_{кр} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\text{при: } P_{оп}^* \geq P_{оп}; C_{МТО}^* \leq C_{МТО}, \quad (2)$$

$$\text{где } F_p = \begin{cases} \frac{S_\delta}{S_{cp}}, & \text{если } S_\delta \geq S_{cp} \\ \frac{S_{cp}}{S_\delta}, & \text{если } S_\delta < S_{cp} \end{cases}, F_{кр} - \text{табличное значение критерия Фишера при заданном уровне}$$

статистической значимости  $\alpha$ .

Оценка межгрупповой дисперсии рассчитывается по формуле (3)

$$S_\delta = \frac{(N_{cp}^p - N_{общ}^p)^2 f_1 + (N_{cp}^{p*} - N_{общ}^{p*})^2 f_2}{I - 1}, \quad (3)$$

где  $N_{cp}^p$ ,  $N_{cp}^{p*}$  – среднее количество рейсов рассчитанное без учета возможности применения способа проверки АТС с применением АСКД и с учетом такой возможности соответственно;  $N_{общ}^p = \frac{\sum_{j=1}^{f_1} N_j^p + \sum_{j=1}^{f_2} N_j^{p*}}{n}$  – общее среднее значение количества рейсов;  $\sum_{j=1}^{f_1} N_j^p$ ,  $\sum_{j=1}^{f_2} N_j^{p*}$  – суммарное количество рейсов выполняемое СХП за время работ действий без учета применения предлагаемого способа проверки АТС и с учетом такой возможности соответственно;  $n = f_1 + f_2$  – суммарное количество наблюдений;  $f_1$ ,  $f_2$  – количество наблюдений рейсов (в нашем случае количество суток работ) без учета применения предлагаемого способа проверки АТС и с учетом такой возможности соответственно ( $f_1 = f_2$ );  $I$  – количество факторных признаков (в нашем случае  $I = 2$ ).

Оценка средних внутригрупповых дисперсий рассчитывается по формуле (4)

$$S_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^{f_1} (N_j^p - N_{cp}^p)^2 + \sum_{j=1}^{f_2} (N_j^{p*} - N_{cp}^{p*})^2}{n - I}, \quad (4)$$

где  $N_j^p, N_j^{p*}$  – количество рейсов наблюдаемое в  $j$ -е сутки без учета применения предлагаемого способа проверки АТС и с учетом такой возможности соответственно;  $P_{оп}^*, P_{оп}$  – вероятность того, что время подготовки АТС парка СХП к очередному выезду не превысит установленного после внедрения предлагаемого способа (без звездочки при традиционной организации МТО);  $C_{МТО}^*, C_{МТО}$  – стоимость обеспечения одного рейса после внедрения предлагаемого способа.

Количество рейсов зависит от времени подготовки и проверки АТС перед выездом (5-6):

$$N_j^p = w(\lambda, n, t_{н.о}, t_{под}, N_{пл.ср}, \gamma, t, R_t, P_p, R_i, t_{БП}, t_{пров}), \quad (5)$$

$$N_j^{p*} = g(\lambda, n, t_{н.о}, t_{под}, N_{пл.ср}, \gamma, t, R_t, P_p, R_i, t_{БП}, t_{пров}^*), \quad (6)$$

где  $w(*), g(*)$  – функции характеризующие зависимости количеств рейсов  $N_j^p, N_j^{p*}$  от входных показателей, рассчитанных без учета применения предлагаемого способа и с учетом такой возможности соответственно;

$\lambda$  – интенсивность потока заявок на обеспечение;  $n$  – число АТС;  $t_{н.о}$  – время непосредственного обслуживания одной заявки;  $t_{под}$  – среднее время подготовки водительского и технического состава и движения в парк;  $N_{пл.ср}$  – среднесуточное планируемое напряжение, выезд;  $\gamma$  – порядковый номер выезда;  $t$  – порядковый номер дня работ;  $R_t$  – моторесурс на каждый день периода работ  $T$ , выезд;  $P_p$  – вероятность возникновения неисправности АТС в рейсе;  $R_i$  – средний моторесурс за период  $T$ , выезд;  $t_{БП}$  – время цикла рейса, ч;  $t_{пров}$  – среднее время проверки АТС (включает диагностику, запуск и прогрев, гараж неотапливаемый);  $t_{пров}^*$  – среднее время проверки АТС после внедрения предлагаемого способа.

Разработана методика определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур, которая позволяет итерационно обосновать способ проверки АТС перед допуском их в рейс. В соответствии с постановкой научной задачи для обоснования предлагаемого способа необходимо разработать методику формирования облика АСКД АТС, модель АТС с использованием предлагаемого способа, а также алгоритм проверки значимости влияния способа проверки АТС на количество рейсов, выполняемых СХП [1-5].

Блок схема методики определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур представлена на рисунке 1.

На схеме представлены взаимосвязи исходных данных с разрабатываемыми (используемыми) методикой обоснования облика, моделью и алгоритмом, а также логическая организация самой методики определения технического состояния АТС [6].

В соответствии с представленной схемой, в ходе разработки методики определения технического состояния, необходимо:

а) с помощью методики формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур сформировать рациональный вариант АСКД;

б) с помощью модели МТО СХП в условиях низких температур определить показатели результативности, оперативности и ресурсоёмкости процесса МТО при традиционной организации проверки АТС и с применением предлагаемого способа;

в) с помощью способа проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур определить время проверки АТС с использованием предлагаемой АСКД;

г) с помощью алгоритма однофакторного дисперсионного анализа проверить гипотезу о значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС с применением АСКД на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур. В случае не подтверждения гипотезы скорректировать состав АСКД;

д) проверить выполнение ограничения 2 на оперативность и ресурсоёмкость процесса МТО. В случае невыполнения ограничения скорректировать состав АСКД;

е) сформировать рекомендации по использованию разработанного способа проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур.

Далее приведем содержательное описание основных компонентов разработанной методики определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур.

Методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур. Формирование облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур предлагается осуществлять согласно схемы представленной на рисунке 2 и состоящей из 8 этапов.

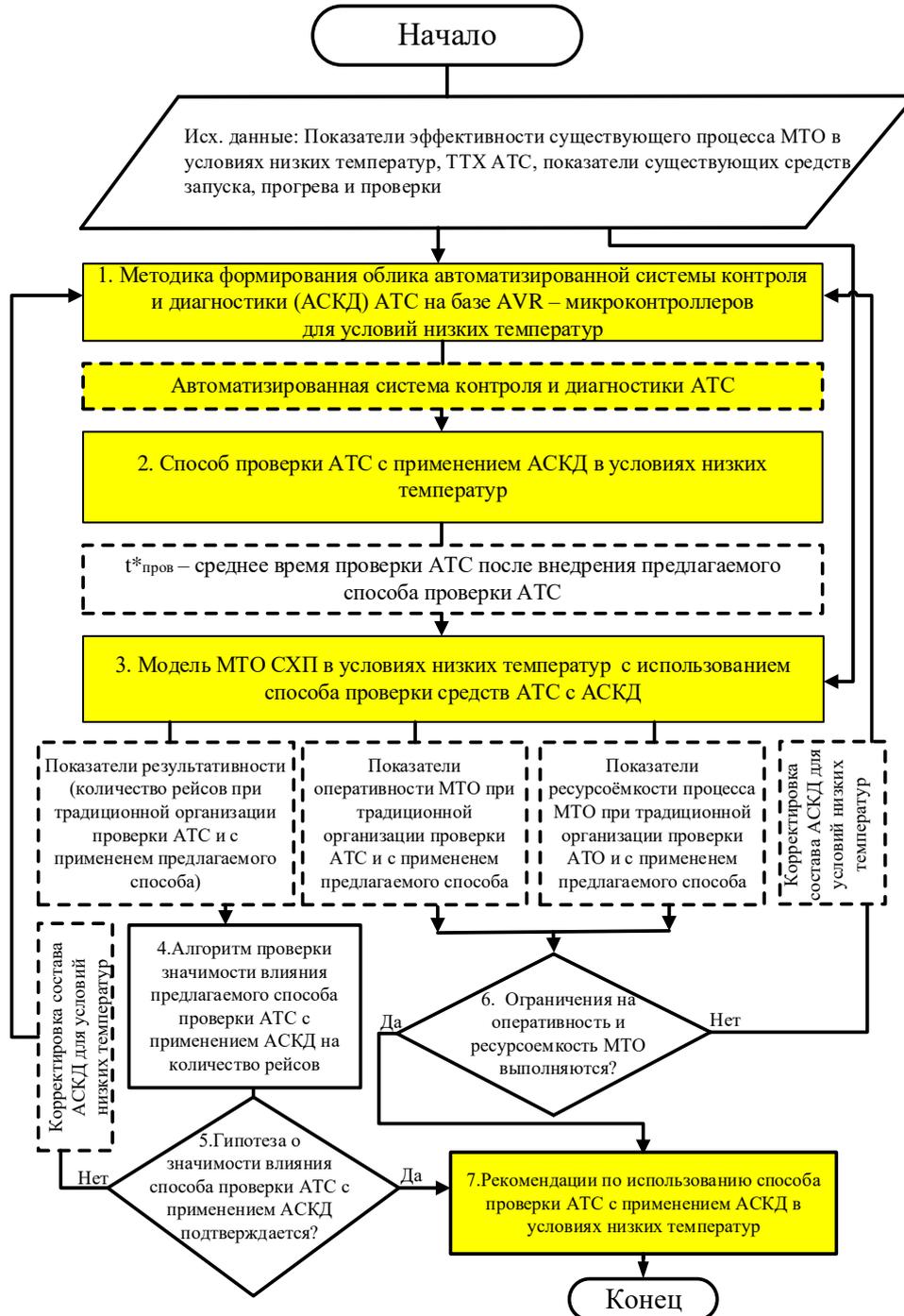


Рисунок 1 – Блок схема методики определения технического состояния АТС с применением АСКД для итерационного обоснования способа проверки АТС перед допуском их в рейс

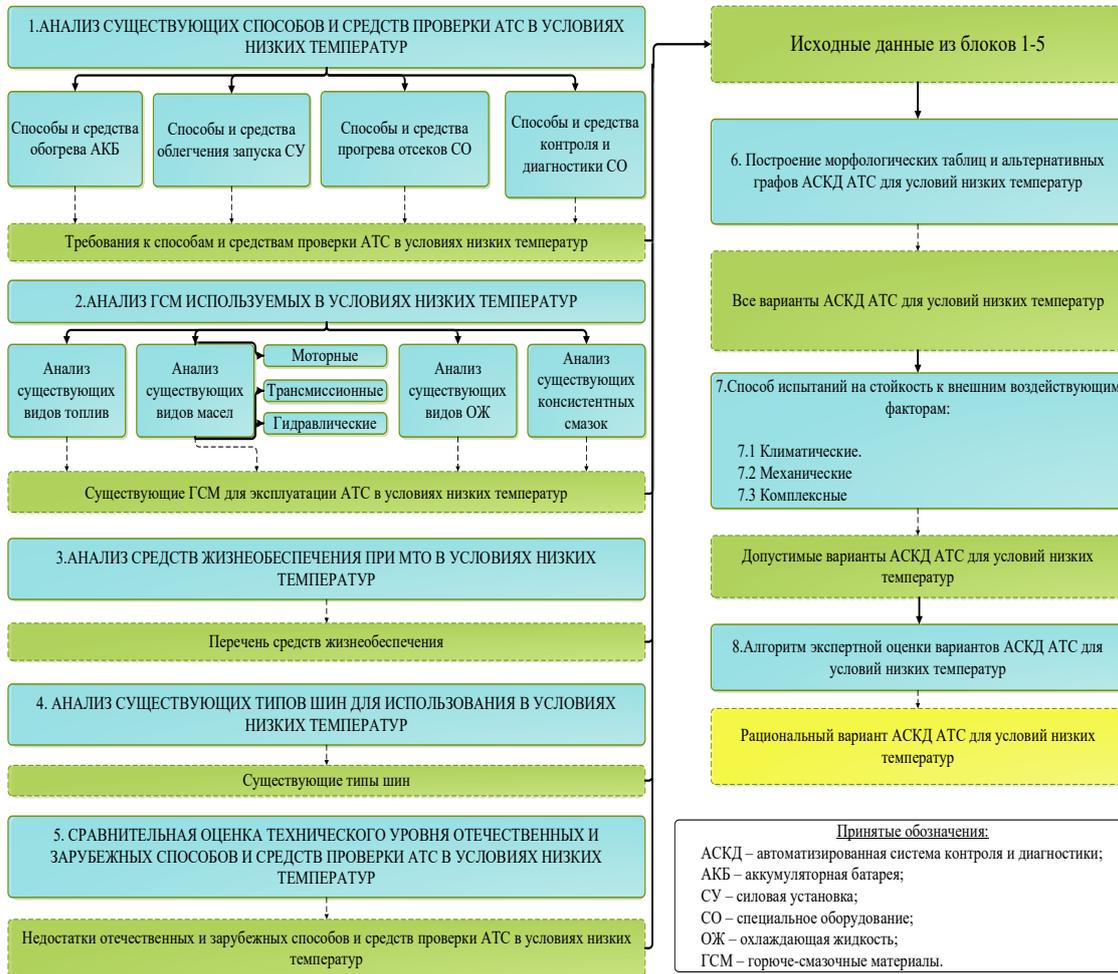


Рисунок 2 – Методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур.

Модель МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД. Эффективность СХП в условиях низких температур существенно зависит от организации МТО. Наиболее трудоемкими процессами МТО, подлежащими анализу, являются: автотракторное обеспечение, обеспечение ГСМ, запасными частями и другими видами материальных средств. Перечисленные задачи решаются в полном объеме непосредственно на СХП, следовательно, эффективность МТО целесообразно исследовать на базе оценки возможностей подразделений автотракторного обеспечения по обеспечению работы СХП.

Эффективность функционирования системы МТО предлагается оценивать по показателям результативности, оперативности и ресурсоемкости. Выбранные показатели всесторонне отражают свойства исследуемой системы в процессе функционирования и оценивают степень ее приспособленности к выполнению поставленных перед ней задач.

Модель предусматривает выполнение 19 шагов (рисунок 3): Ш1. Определение вспомогательного среднего времени подготовки, в течение которого АТС подготавливается к рейсу, приводится в исходное положение после рейса с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш2. Определение среднего времени одного рейса с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш3. Определение приведенной

интенсивности потока заявок на рейсы с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш4. Определение вероятности того, что все АТС свободны с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш5. Определение показателя оперативности МТО – вероятности того, что время подготовки АТС к повторному рейсу не превысит установленного; Ш6. Определение вероятности безотказной работы  $\gamma$ -го средства  $\beta$ -й группы АТС в течении времени работы  $T$ ; Ш7. Определение вероятности безотказной работы АТС на  $i$ -м СХП в течение заданного периода  $T$  и коэффициента готовности парка АТС; Ш8. Определение математического ожидания количества рейсов за период работы, обеспечиваемых в условиях потерь АТС в процессе эксплуатации (с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки); Ш9. Определение вероятности того, что все АТС свободны; Ш10. Определение математического ожидания количества рейсов, которое не будет обеспечено системой МТО; Ш11. Определение математического ожидания количества обеспечиваемых рейсов за период работы исходя из штатных возможностей СХП;

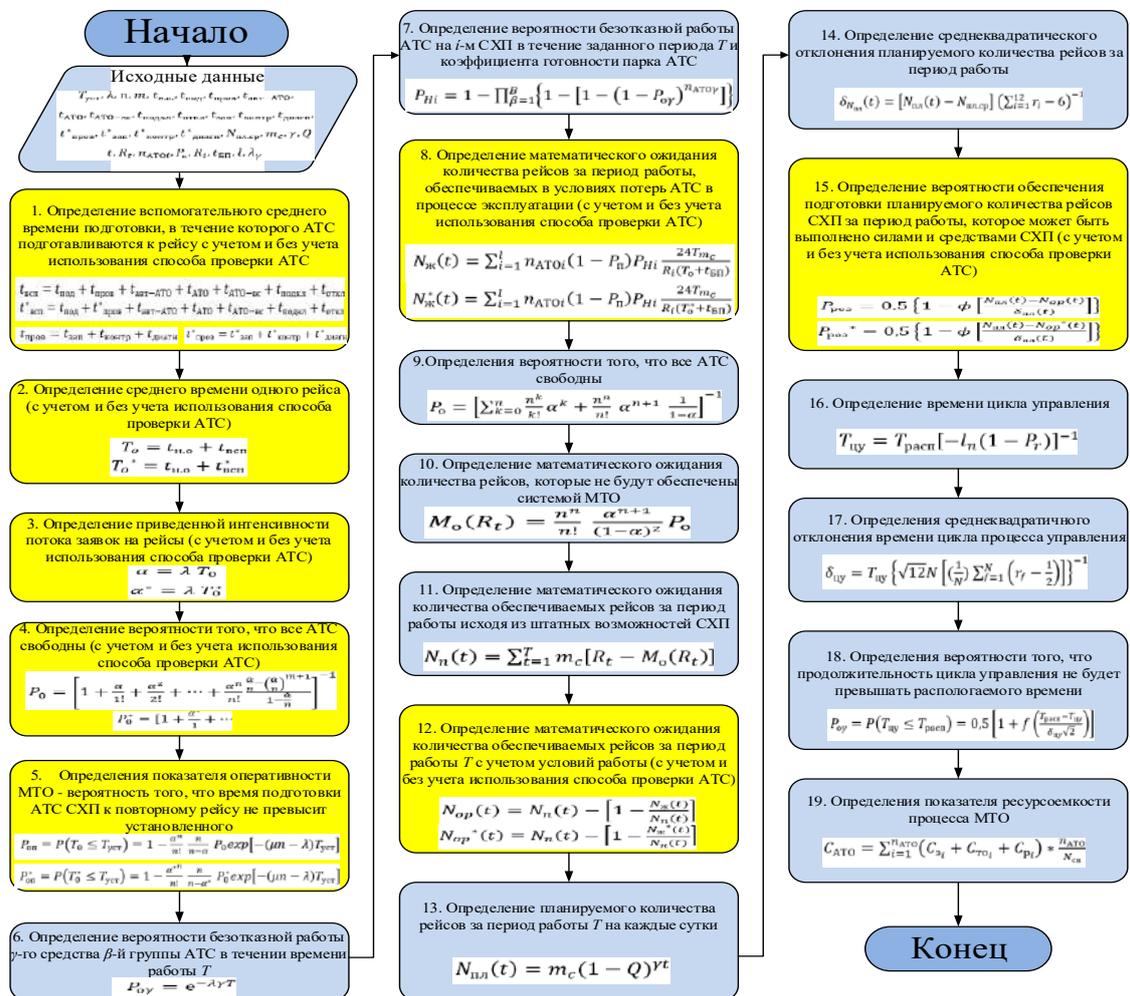


Рисунок 3 – Блок-схема модели МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД

Ш12. Определение математического ожидания количества обеспечиваемых рейсов за период работы  $T$  с учетом условий работы (с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки); Ш13. Определение планируемого количества рейсов за период работы  $T$  на каждые

сутки; Ш.14 Определение среднеквадратического отклонения планируемого количества рейсов за период работы; Ш.15 Определение вероятности обеспечения подготовки планируемого количества рейсов СХП за период работы, которое может быть выполнено силами и средствами СХП (с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки); Ш.16 Определение времени цикла управления; Ш.17. Определение среднеквадратического отклонения времени цикла процесса управления; Ш.18. Определение вероятности того, что продолжительность цикла управления не будет превышать располагаемого времени; Ш.19. Определение показателя ресурсоемкости процесса МТО. Модель программно реализована в среде MathCAD. Модель позволяет оценивать готовность подразделений МТО к выполнению поставленных задач с учетом использования предлагаемого способа проверки; выявлять «узкие» места в процессе МТО; оперативно производить коррекции планов и решений в различных условиях обстановки; вырабатывать и осуществлять мероприятия по повышению эффективности функционирования системы МТО.

Алгоритм проверки статистической значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС в условиях низких температур с применением автоматизированной системы контроля и диагностики на количество рейсов, выполняемых СХП. Алгоритм предусматривает выполнение 9 шагов:

Ш1. Определение количества наблюдений для каждого из значений качественного фактора и общего числа наблюдений; Ш2. Задание количества факторных признаков; Ш3. Определение среднего количества рейсов без учёта возможности использования предлагаемого способа и с учётом такой возможности; Ш4. Определение общего среднего; Ш5. Оценка межгрупповой дисперсии; Ш6. Оценка средней внутригрупповых дисперсий; Ш7. Определение расчётного значения критерия Фишера; Ш8. Определение критического значения критерия Фишера; Ш9. Проверка гипотезы о значимости фактора.

Алгоритм разработан на основе однофакторного дисперсионного анализа и позволяет принять или опровергнуть нулевую гипотезу о значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС с применением АСКД на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур.

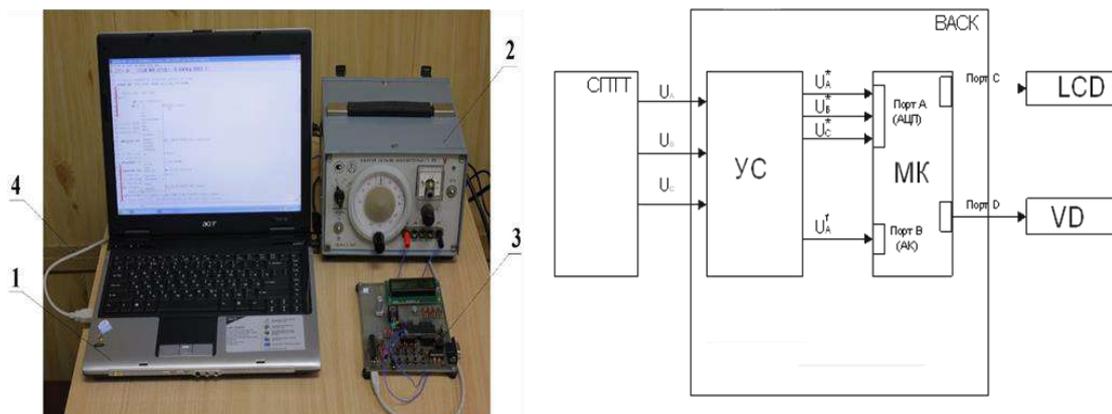
Способ проверки АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики в условиях низких температур. Суть способа состоит из одновременного использования на АТС (например на базе автомобиля УРАЛ-4320 и его модификаций) в сложных климатических условиях (температура минус 30 °С и более низкая): АСКД на базе AVR – микроконтроллера (рисунок 4а), которая устанавливается в систему управления специальной установкой АТС; усовершенствованного устройства улучшения качества топлива (рисунок 4б), установленное в топливной системе двигателя внутреннего сгорания (ДВС); устройства для обогрева аккумуляторных батарей (АКБ) (рисунок 4в), встроенное в систему охлаждения ДВС.

Автоматизированная система контроля и диагностики на базе AVR – микроконтроллера установленная, например, на электроагрегат работает следующим образом. В соответствии с характеристиками конкретного типа объекта (электроагрегат) предварительно определяются количество тестовых воздействий, подлежащих подаче устройством согласования (УС) АСКД. С выходов УС АСКД сигналы тестовых воздействий поступают на порты А, В микроконтроллера (МК) в зависимости от вида воздействий (частота, напряжение и т.п.). В МК производится обработка входных тестовых воздействий, после чего полученная информация через порты С, D отображается на устройствах индикации (мониторы, световые сигналы), что позволяет оператору (водителю-оператору) контролировать режимы работы систем электроагрегата.

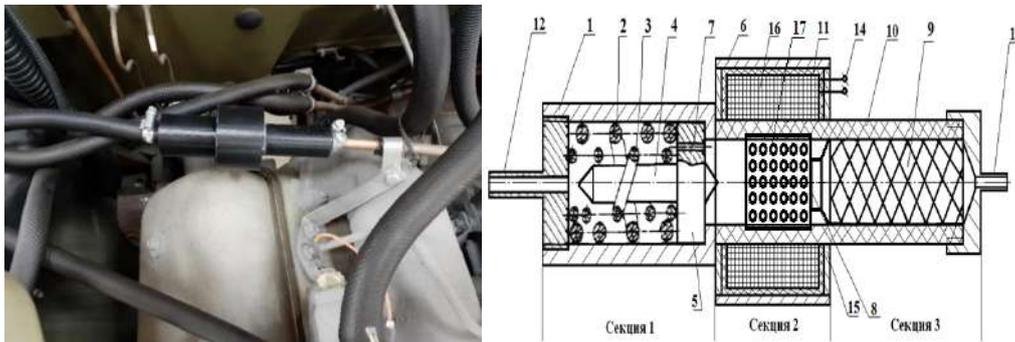
Суть работы усовершенствованного устройства улучшения качества топлива состоит в следующем. Корпус устройства, в который поступает топливо, изготовлен из диамагнитного материала. На корпусе установлен магнитопровод который обеспечивает ионизацию топлива, проходящего через устройство, а также изменяет его молекулярные свойства и накапливает «активированные» частицы в составе топлива. Использование в конструкции магнитопровода позволяет в "запустить" электромагнитную энергию обмотки в струю топлива благодаря использованию магнитной вставки. Результат заключается в более глубоком изменении молекулярных свойств топлива, что способствует более полному сгоранию топлива в цилиндрах ДВС.

Устройство для обогрева аккумуляторного отсека работает в двух режимах. При работающем двигателе теплоноситель движется за счет штатного насоса системы охлаждения двигателя в штатный котёл подогревателя, далее в теплообменную панель и затем возвращается в систему охлаждения. При неработающем двигателе теплоноситель движется за счет насоса котла подогревателя в теплообменную панель, установленную в аккумуляторном отсеке и далее в котел подогревателя. Управление (включение или отключение) устройством осуществляется с помощью пульта управления.

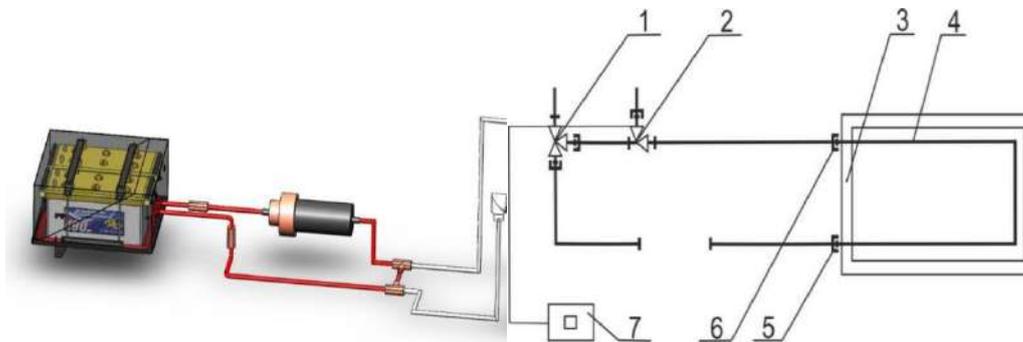
Предлагаемый способ позволяет сократить время проверки АТС перед допуском их к работе за счет сокращения времени запуска и прогрева силовых установок, а также автоматизации контроля работоспособности и диагностики технического состояния блоков, узлов и агрегатов специального оборудования АТС.



а) автоматизированная система контроля и диагностики на базе AVR – микроконтроллера: 1 - ноутбук; 2 - генератор низкочастотных сигналов ГЗ – 106; 3 - отладочная плата; 4 - соединительные провода



б) усовершенствованное устройство улучшения качества топлива:  
 1 – цилиндрический корпус; 2, 3 – винтовые элементы; 4 – цилиндрический стержень;  
 5 – цилиндрическая вставка; 6 – наружный магнитопровод; 7 – каналы; 8 – промежуточная камера; 9 – смесительный элемент; 10 – корпус; 11 – катушка; 12 – торцевая крышка с входным штуцером; 13 – торцевая крышка с выходным штуцером; 14 – электрические выводы; 15 – торцевые ферромагнитные шайбы; 16 – электрическая обмотка; 17 – вставка с размещенными в ней магнитами



в) устройство для обогрева аккумуляторных батарей:  
1, 2 – перепускной клапан; 3 – аккумуляторный отсек; 4 – теплообменную панель;  
5 – входной штуцер; 6 – выходной штуцер; 7 – пульт управления  
Рисунок 4 – АСКД АТС в условиях низких температур:

Устройство для обогрева аккумуляторного отсека работает в двух режимах. При работающем двигателе теплоноситель движется за счет штатного насоса системы охлаждения двигателя в штатный котёл подогревателя, далее в теплообменную панель и затем возвращается в систему охлаждения. При неработающем двигателе теплоноситель движется за счет насоса котла подогревателя в теплообменную панель, установленную в аккумуляторном отсеке и далее в котел подогревателя. Управление (включение или отключение) устройством осуществляется с помощью пульта управления.

Предлагаемый способ позволяет сократить время проверки АТС перед допуском их к работе за счет сокращения времени запуска и прогрева силовых установок, а также автоматизации контроля работоспособности и диагностики технического состояния блоков, узлов и агрегатов специального оборудования АТС.

**Результаты и их обсуждение.** Проведена проверка адекватности и исследованы свойства модели МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД.

Проверка адекватности осуществлялась двумя способами. В первом способе находились средние значения откликов разработанной модели и проверялась гипотеза о близости этих значений известным значениям апробированной модели. Во втором способе проводилась оценка дисперсии откликов разработанной модели, далее проверялась гипотеза о значимости различий этих оценок известным значениям дисперсии апробированной модели. Оба способа показали, что модель адекватна по критериям Стьюдента и Фишера.

В ходе исследования свойств модели была оценена погрешности имитации, обусловленной наличием в имитационной модели неидеальных генераторов псевдослучайных чисел, определена длительность переходного режима, оценена устойчивость и чувствительность результатов моделирования.

Реализация программ для исследования свойств модели позволила сделать выводы, что погрешность имитации, незначительна, входит в доверительные интервалы, а значит, что генераторы псевдослучайных чисел подобраны правильно. Проверка устойчивости результатов моделирования показала, что дисперсии откликов модели с увеличением модельного времени не увеличиваются и можно сделать вывод, что результаты моделирования устойчивы. Проверка чувствительности модели показала, что разработанная модель чувствительна по всем компонентам входных показателей, следовательно, при планировании экспериментов на модели необходимо учитывать все входные показатели.

Оценка эффекта от применения предлагаемого способа, включает в себя 4 шагов:

Ш1. Анализ эффективности функционирования существующей системы МТО СХП в условиях низких температур (оценка времени проверки АТС). Рассмотрена ситуация проверки АТС. Время проверки АТС в условиях низких температур составляет в среднем 40 минут. Оценка среднего

значения времени проверки АТС осуществлялась по ГОСТ Р 50779.21-2004. Среднее значение времени проверки АТС с доверительной вероятностью 0,95 не превышает 40 минут. Среднее время проверки других АТС не превышает времени проверки выбранного АТС, следовательно, в экспериментальных исследованиях, эту величину одностороннего доверительного интервала можно считать временем проверки АТС.

Ш2. Проведение натурального эксперимента по оценке времени проверки АТС с использованием способа проверки АТС с применением АСКД. Результаты 30 хронометражей показали, что среднее время проверки АТС с использованием способа составит 23 минуты, а оценка среднего с доверительной вероятностью 0,95 не превышает 24 минут, что почти в 2 раза меньше по сравнению с традиционными средствами проверки.

Ш3. Определение количества рейсов, выполняемых СХП за заданное время при традиционной организации проверки АТС и с применением предлагаемого способа. Количество рейсов определяется с помощью модели МТО СХП. С помощью модели получим следующие показатели. При традиционной организации проверки АТС: количество рейсов к началу каждого суток работы  $N_{с/в} = ||0 \ 151 \ 134 \ 134 \ 121 \ 103 \ 94 \ 88||$ ; суммарное количество рейсов (7 суток работы)  $N_{св} = 825$ . С учётом использования способа проверки АТС с применением АСКД: количество рейсов к началу каждого суток работы  $N_{с/в}^* = ||0 \ 204 \ 166 \ 147 \ 132 \ 115 \ 100 \ 87||$ ; суммарное количество рейсов за операцию (7 суток работы)  $N_{св}^* = 951$ ; Оценка эффекта от применения предлагаемого способа показала возможность увеличения количества рейсов от 10 до 20 %.

Ш4. Оценка значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС с применением АСКД. С помощью алгоритма дисперсионного анализа подтвердили гипотезу о значимости влияния предлагаемого способа на количество выполняемых СХП рейсов.

**Заключение.** В результате проведения исследования и решения поставленной научной задачи получены следующие основные научные результаты:

- разработана методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур;
- разработан способ проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур;
- разработана модель МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД;
- разработана методика определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур.

Оценка эффекта от применения предлагаемого способа, показала возможность увеличения количества рейсов от 10 до 20%. Подтверждена гипотеза о значимости влияния предлагаемого способа на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур за заданное время работы.

Таким образом, поставленная в работе научная задача, заключающаяся в разработке методики определения технического состояния АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики в условиях низких температур, позволяющей повысить эффективность МТО, оцениваемую количеством обеспечиваемых рейсов, выполняемых СХП при заданных ограничениях на оперативность и ресурсоемкость, решена, а цель исследования достигнута.

#### Список источников

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
2. Банди Б. Методы оптимизации / В.А. Вольнский, пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: Учебное пособие для студ. Втузов; под ред. Е.С. Вентцель. 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 208 с.
4. Кокорева Е.Б. Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники / Е.Б. Кокорева // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 2. С. 320–325.
5. Макаров В.Б. Техническое обслуживание и ремонт машин / В.Б. Макаров. – М.: Агропромиздат, 2019. 521 с.

6. Патент на промышленный образец № 137680: Структурно-логическая схема «Методика оценки эффективности восстановления средств АТО на аэродромах рассредоточения с применением встроенной автоматизированной системы контроля и диагностики». Автор и патентообладатель: С.В. Руденко, 2023.

#### References

1. Buslenko N.P. Modeling of complex systems. – М.: The science, 1978. – 400 p.
2. Bandi B. Optimization methods / V.A. Volynsky, trans. from English – М.: Radio and communications, 1988. – 128 p.
3. Wentzel E.S. Operations research. Tasks, principles, methodology: A textbook for students. Universities; edited by E.S. Wentzel. 4th ed., ster. – М.: Higher School, 2007. – 208 p.
4. Kokoreva E.B. Improving the efficiency of using agricultural machinery / E.B. Kokoreva // Bulletin of Science and Practice. 2018. V. 4. No. 2. S. 320–325.
5. Makarov V.B. Maintenance and repair of machines / V.B. Makarov. – М.: Agropromizdat, 2019. – 521 p.
6. Patent for industrial design No. 137680: Structural and logical scheme "Methodology for evaluating the effectiveness of restoring anti-terrorist operation facilities at dispersal airfields using an integrated automated control and diagnostic system". Author and patent holder: S.V. Rudenko, 2023.

#### Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; П.Т. Пантелеев - кандидат технических наук, доцент; А.Е. Ломовских – кандидат технических наук, доцент; А.А. Свиридов – кандидат педагогических наук; С.В. Руденко – адъюнкт; Г.В. Рыбин – магистрант.

#### Information about the authors

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; P. Panteleev - candidate of technical sciences, associate professor; A. Lomovskikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Sviridov – candidate of pedagogical sciences; S. Rudenko – adjunct; G. Rybin – master's student.

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

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

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

**The authors declare no conflict of interest.**

Поступила в редакцию (Received): 05.05.2024

Принята к публикации (Accepted): 15.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 629.3.017  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-73-84

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МГНОВЕННОГО ЦЕНТРА ПОВОРОТА И РАДИУСА ПОВОРОТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ШИРИНЫ КОЛЕИ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА

Александр Николаевич Беляев<sup>1</sup>, Владимир Иванович Оробинский<sup>2</sup>, Аркадий Васильевич Химченко<sup>3</sup>, Татьяна Владимировна Тришина<sup>4</sup>, Павел Викторович Шередекин<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Российская Федерация

<sup>1</sup> aifkm\_belyaev@mail.ru, <sup>2</sup> n7477@mail.ru, <sup>3</sup> himch.arkady@yandex.ru, <sup>4</sup> t.v.trishina@gmail.com, <sup>5</sup> pavel.sheredekin@syngenta.com

Автор, ответственный за переписку: Александр Николаевич Беляев, aifkm\_belyaev@mail.ru  
Corresponding author: Alexander Belyaev, aifkm\_belyaev@mail.ru

**Реферат.** Изменение ширины колеи трактора существенно расширяет его функциональные и улучшает эксплуатационные свойства, но при этом существенно нарушаются условия качения колес. При регулировке ширины колеи колесного трактора изменяются соотношения между углами поворота внутреннего ( $\alpha_B$ ) и наружного ( $\alpha_H$ ) управляемых колес, определяющие соответствие каждого ее значения условию идеального поворота, обеспечивающего свободное, без скольжения, качение колес. Кинематический анализ криволинейного движения машины при изменении ширины колеи позволяет определить углы поворота колес, соответствующие фактическому и правильному повороту, выбрать параметры рулевой трапеции, а также согласовать геометрию и кинематику вариантов поворота. Расчетные зависимости для исследования идеального поворота широко известны, на они не могут быть использованы для реального поворота, когда нарушается геометрия рулевой трапеции, осуществляющей фактический поворот, хотя исходные соотношения между углами  $\alpha_B$  и  $\alpha_H$  в этом случае сохраняются. Показано, что рулевая трапеция может выполнить условия правильного поворота машины лишь при одной из своих позиций. Получены аналитические зависимости для определения положения мгновенного центра поворота, теоретических минимального радиуса и радиуса поворота центра тяжести при изменении ширины колеи колесной машины. Проведенный анализ и сравнение результатов расчетов для трактора Беларус-80.1 показали, например, что при увеличении шкворневой колеи на 0,4 м радиусы правильного поворота возрастают на 0,2 м во всем диапазоне углов поворота колес. Результаты расчетов доказали необходимость в разработке конструкции рулевой трапеции, которая при изменении ширины колеи имела бы оптимальную геометрию, позволяющую сохранить кинематические параметры, близкие к правильному повороту.

**Ключевые слова:** колесный трактор, поворот, чистое качение, колея, рулевая трапеция, радиус поворота.

## DETERMINATION OF THE POSITION OF THE INSTANTANEOUS CENTER OF ROTATION AND THE TURNING RADIUS WHEN CHANGING THE TRACK WIDTH OF A WHEELED TRACTOR

Alexander Belyaev<sup>1</sup>, Vladimir Orobinsky<sup>2</sup>, Arkady Khimchenko<sup>3</sup>, Tatiana Trishina<sup>4</sup>, Pavel Sheredekin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russian Federation

<sup>1</sup> aifkm\_belyaev@mail.ru, <sup>2</sup> n7477@mail.ru, <sup>3</sup> himch.arkady@yandex.ru, <sup>4</sup> t.v.trishina@gmail.com, <sup>5</sup> pavel.sheredekin@syngenta.com

**Abstract.** Changing the tractor track width significantly expands its functionality and improves its performance properties, but at the same time the rolling conditions of the wheels are significantly disrupted. The relationship between the angles of rotation of the inner and outer steered wheels, which determine the correspondence of each of its values to the condition of ideal rotation, ensuring free rolling of the wheels without slipping, changes when adjusting the track width of a wheeled tractor. Kinematic analysis of the curvilinear movement of the machine when changing the track width allows you to determine the angles of rotation of the wheels corresponding to the actual and correct turn, select the parameters of the steering linkage, and also coordinate the geometry and kinematics of the turning options. Calculated dependencies for studying an ideal turn are widely known, but they are not suitable for a real turn, when the geometry of the steering trapezoid that performs the actual turn is violated. It is shown that the steering linkage can fulfill the conditions for correct rotation of the car only in one of its positions. Analytical dependencies were obtained to determine the position of the instantaneous center of rotation, the theoretical minimum radius and the turning radius of the center of gravity when changing the track width of a wheeled vehicle. The analysis and comparison of the calculation results for the Belarus-80.1 tractor showed, for example, that with an increase in the kingpin track by 0.4 m, the correct turning radii increase by 0.2 m over the entire range of wheel rotation angles. The calculation results proved the need to develop a steering trapezoid design that, when changing the track width, would have an optimal geometry that would allow maintaining kinematic parameters close to the correct turn.

**Keywords:** wheeled tractor, turn, clean rolling, track, steering trapeze, turning radius.

**Для цитирования:** Беляев А.Н., Оробинский В.И., Химченко А.В., Тришина Т.В., Шередекин П.В. Определение положения мгновенного центра поворота и радиуса поворота при изменении ширины колеи колёсного трактора // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 73-84. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-73-84>.

**For citation:** Belyaev A., Orobinsky V., Khimchenko A., Trishina T., Sheredekin P. Determination of the position of the instantaneous center of rotation and the turning radius when changing the track width of a wheeled tractor. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 73-84. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-73-84>.

**Введение.** Изменение ширины колеи трактора существенно расширяет его функциональные и улучшает эксплуатационные свойства. Так, например, при обработке сельскохозяйственных культур необходима точная подстройка колеи под ширину междурядий пропашных культур, а широкая колея придает трактору большую устойчивость при работе на склонах или при выполнении разгрузочно-погрузочных работ, особенно при подъеме материала на максимальную высоту [2, 5, 11].

Однако при регулировке ширины колеи  $B'$  происходит удлинение или укорочения расстояния между центрами осей шкворней (шкворневой колеи) поворотных цапф  $B$ , вокруг которых поворачиваются управляемые колеса, что, очевидно, искажает исходную геометрию рулевой трапеции, и, как следствие этого, изменяет кинематику, необходимую по условиям правильного (идеального) поворота, и требуемые его характеристики для обеспечения чистого (свободного) качения колес (рисунок 1) [1, 4, 6].

Условия идеального поворота оцениваются очевидной зависимостью [9, 15], устанавливающей вполне определенную и необходимую взаимосвязь между углами поворота наружного  $\alpha_H$  и внутреннего  $\alpha_B$  управляемых колес в соответствии с конструктивными особенностями машины

$$\operatorname{ctg}\alpha_H - \operatorname{ctg}\alpha_B = B/L, \quad (1)$$

где  $L$  – продольная (колесная) база машины, м.

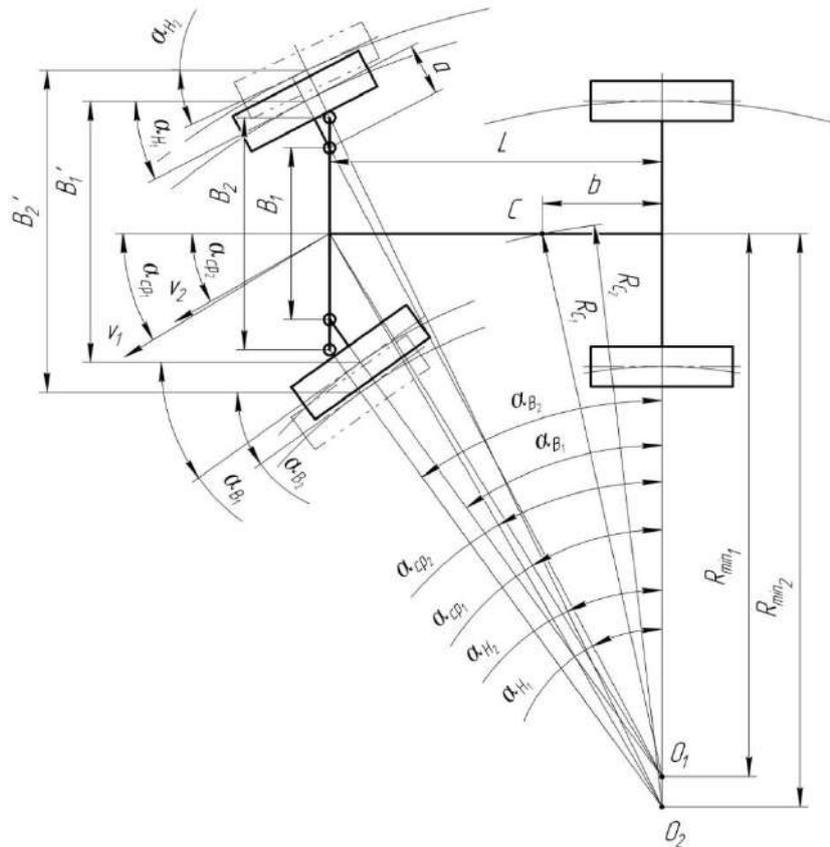


Рисунок 1 – Кинематическая схема идеального поворота колесной машины

Как видно из (1), отношение  $B/L$  должно быть всегда постоянным, а мгновенный центр поворота, являющийся пересечением нормалей к траекториям движения колес, должен лежать на продолжении неуправляемой оси. Только при выполнении этих теоретических положений машина будет совершать правильный поворот, и колеса будут двигаться без скольжения, то есть иметь чистое качение. Каждое изменение шкворневой колеи  $B$  дает различные, определяемые условием (1), соотношения между углами  $\alpha_H$  и  $\alpha_B$ , но в их основе лежат одни и те же закономерности, позволяющие, например, мгновенному центру поворота машины всегда находиться на продолжении оси заднего моста (на рисунке 1 – точки  $O_1$  и  $O_2$ ). При этом, очевидно, численные характеристики общей геометрии и кинематики идеального поворота будут отличаться. Основные из них можно определить по следующим известным зависимостям (рисунок 1) [1, 15]:

$$\operatorname{ctg}\alpha_{CP} = (\operatorname{ctg}\alpha_H + \operatorname{ctg}\alpha_B)/2; \quad (2)$$

$$\alpha_H = \operatorname{arctg}\left(\frac{L\operatorname{tg}\alpha_B}{L+B\operatorname{tg}\alpha_B}\right); \quad (3)$$

$$R_{\min} = \frac{L}{\operatorname{tg}\alpha_B} + \frac{1}{2}B = \frac{L}{\operatorname{tg}\alpha_H} - \frac{1}{2}B; \quad (4)$$

$$R_C = \sqrt{b^2 + L^2\operatorname{ctg}^2\alpha_{CP}}, \quad (5)$$

где  $\alpha_{CP}$  – средний угол поворота управляемых колес, град;

$R_{\min}$  – теоретический минимальный радиус поворота, м;

$R_C$  – теоретический радиус кривизны траектории, описываемой центром тяжести  $C$ , м;

$b$  – расстояние от центра тяжести  $C$  до задней оси машины, м.

Таким образом, от рулевого привода требуется, чтобы он обеспечивал вытекающие из геометрии поворота требуемые соотношения между углами поворота управляемых колес. В

современных тракторах и большинстве других мобильных энергетических средствах наиболее близкое к полученному, по условию положения (1), соотношение между углами  $\alpha_H$  и  $\alpha_B$  достигается, когда в качестве рулевого привода применяется 4рулевая трапеция (рисунок 2) [1, 12-16]. Четырехзвенный рычажный механизм рулевой трапеции состоит из балки переднего моста 3, рычагов поворотных цапф 1 и поперечной тяги 2, соединенных при помощи шаровых шарниров, и составляющих шарнирную трапецию рулевого привода, и является наиболее распространённым способом передачи движения от рулевого механизма к колесам (рисунок 2). Схемы поворота на рисунках 1 и 2 изображены для двух вариантов В и В' для наглядности оценки конструктивных изменений, более глубокого анализа и демонстративного сравнения результатов исследований.

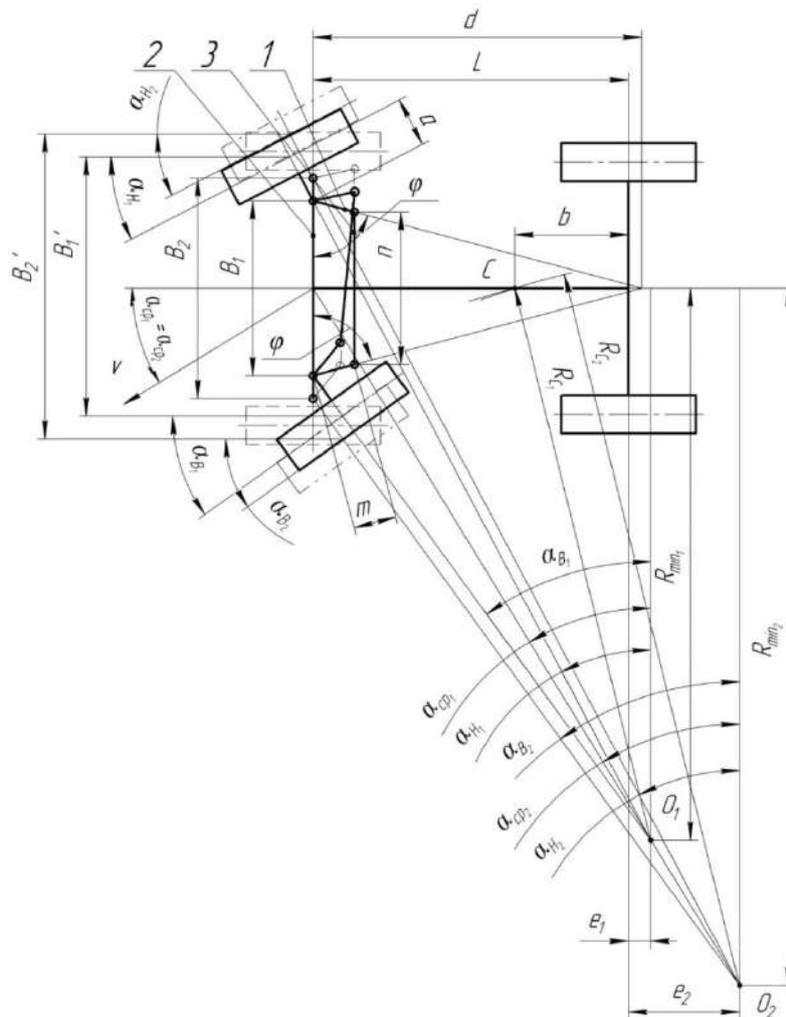


Рисунок 2 – Кинематическая схема фактического поворота колесной машины

Из условия (1) видно, изменение как  $L$ , так и  $B$ , при условии нарушения принятого между ними отношения  $B/L$ , приводит к искажению исходной взаимосвязи между углами  $\alpha_H$  и  $\alpha_B$ . А, так как в реальных существующих в настоящее время конструкциях колесных машин возможна только регулировка шкворневой колеи  $B$ , то указанное отношение  $B/L$  будет варьироваться всегда и соответствовать конкретному значению  $B$ .

Геометрические характеристики существующих в настоящее время конструкций рулевых трапеций позволяют лишь приближенно выполнять условия чистого качения колес и лишь при

одной величине колеи  $B$ , так как при ее регулировке варьируется длина  $n$  поперечной тяги  $3$ , а длина  $m$  поворотных рычагов  $1$  и угол их наклона  $\varphi$  к поперечной оси машины  $2$  остаются постоянными, что практически не сказывается на соотношении между углами  $\alpha_B$  и  $\alpha_H$  (рисунок 2), но расходится с условием (1) правильного поворота (рисунок 1) [1, 15]. Поэтому в данном случае рулевой привод, обеспечивающий выполнение условия чистого качения, реально выполнить трудно, так как для этого необходимо, чтобы при изменении  $B$  он каждый раз давал новые соотношения между углами поворота управляемых колес, соответствующие (1).

Следует отметить, что схемы поворота колесной машины (рисунок 1, и рисунок 2) выполнены из условия того, что управляемые колеса не обладают боковой упругостью, поэтому и оценка геометрических параметров рулевой трапеции и, следовательно, кинематических характеристик поворота не учитывает эластичные свойства шин, которые, очевидно, оказывают некоторое влияние на кинематику и динамику криволинейного движения [1]. Поэтому кинематический расчет в окончательном виде должен уточняться данными, связанными с уводом шин. Однако, для большинства условий проводимых в настоящей работе исследований указанное допущение вполне оправдано [1, 15].

Поэтому при выполнении поворота рулевой трапецией его геометрия и кинематика не будут соответствовать правильному повороту и известные расчетные зависимости (2-5) [1, 15] для численного определения геометрических и кинематических характеристик идеального поворота не могут быть использованы для оценки фактического (реального) поворота.

С целью прогнозирования устойчивости и маневренности колесной машины, движущейся по криволинейной траектории, необходимо предварительно определить положение мгновенного центра поворота, а затем – значения минимального теоретического радиуса  $R_{\min}$  и радиусы траекторий поворота характерных точек, например  $R_C$ , центра тяжести, при каждом варианте установленной ширины колеи.

Между углами поворота наружного  $\alpha_H$  и внутреннего  $\alpha_B$  управляемых колес уже установлены некоторые аналитические взаимосвязи, например (рисунок 2) [3]:

$$\alpha_H = \varphi + \operatorname{arctg} \frac{m \cos(\varphi + \alpha_B)}{B - m \sin(\varphi + \alpha_B)} - \arcsin \frac{m + 2B \sin \varphi - 2m \sin^2 \varphi - B \sin(\varphi + \alpha_B)}{\sqrt{B^2 + m^2 - 2Bm \sin(\varphi + \alpha_B)}}. \quad (6)$$

Средний угол поворота управляемых колес, исходя из рисунка 2, определяется формулой (2).

Исходя из анализа литературы по теме настоящего исследования, нами сделан вывод, что расчетные формулы для определения  $R_{\min}$ ,  $R_C$  и положения центра реального поворота, не установлены.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, целью данной статьи является вывод аналитических выражений, устанавливающих закономерности между геометрическими характеристиками рулевой трапеции и кинематическими параметрами реализуемого ею при этом реального поворота при изменении шкворневой колеи.

#### Методика исследования.

Минимальный радиус поворота, обеспечиваемого рулевой трапецией, согласно рисунку 2 и с помощью формулы (4), можно определить по следующим выражениям:

$$R_{\min} = \frac{L+e}{\operatorname{tg} \alpha_B} + \frac{1}{2} B = \frac{l+e}{\operatorname{tg} \alpha_H} - \frac{1}{2} B, \quad (7)$$

где  $e$  – расстояние от задней оси до мгновенного центра поворота,  $m$

Из равенства (7)

$$\frac{L+e}{\operatorname{tg} \alpha_B} + \frac{1}{2} B = \frac{L+e}{\operatorname{tg} \alpha_H} - \frac{1}{2} B$$

получаем «вылет» мгновенного центра поворота

$$e = B \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_H \cdot \operatorname{tg} \alpha_B}{(\operatorname{tg} \alpha_B - \operatorname{tg} \alpha_H)} - L. \quad (8)$$

Окончательно, с учетом (7) и (8) имеем мгновенный минимальный теоретический радиус поворота колесной машины, реализуемый рулевой трапецией

$$R_{\min} = B \cdot \left( \frac{\operatorname{tg} \alpha_H}{(\operatorname{tg} \alpha_B - \operatorname{tg} \alpha_H)} + \frac{1}{2} \right). \quad (9)$$

В исследуемом варианте из тригонометрических соображений мгновенный радиус кривой тракторной центра тяжести равен (рисунок 2)

$$R_C = \sqrt{(b + e)^2 + L^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha_{cp}}. \quad (10)$$

### Результаты и их обсуждение.

В качестве объекта, на котором была апробирована предлагаемая методика расчета, принят колесный трактор Беларус-80.1 с неразрезной рулевой трапецией со следующими техническими характеристиками и данными, полученными опытными натурными измерениями:  $L = 2,37$  м, диапазон регулировки  $B'$  в пределах от 1,35 до 1,75 м, а  $B$  от 1,02 м до 1,42 м с дискретными интервалами в 0,10 м,  $m = 0,2066$  м,  $\varphi = 73,83^\circ$ . [10].

Так, например для правильного поворота трактора Беларус-80.1 (рисунок 1) по формулам (4) и (5) при минимальной шкворневой колее  $B=1,02$  м (соответствует  $B'=1,35$  м) и угле  $\alpha_B=20^\circ$  получено  $R_{\min}=7,0215$  м,  $R_C=7,0658$  м, а при угле  $\alpha_B=40^\circ$  –  $R_{\min}=3,335$  м,  $R_C=3,427$  м. При максимальной величине  $B=1,42$  м ( $B'=1,75$  м) и  $\alpha_B=20^\circ$  –  $R_{\min}=7,222$  м,  $R_C=7,265$  м, а при  $\alpha_B=40^\circ$  –  $R_{\min}=3,535$  м,  $R_C=3,622$  м (рисунок 3, рисунок 4).

Таким образом, с увеличением колее трактора радиусы  $R_{\min}$  и  $R_C$  также возрастают. При этом, если  $B$  изменяется на 0,4 м, то во всем интервале  $\alpha_B$  приращения и  $R_{\min}$ , и  $R_C$  постоянны и составляют около 0,2 м, что соответствует при  $B = 1,02$  м примерно 3,0 %, а при  $B = 1,42$  м – 5,5 %.

Анализ формулы (6) доказывает, что при изменении величины шкворневой колее при повороте, осуществляемом рулевой трапецией, ее геометрия практически позволяет сохранять исходные соотношения между  $\alpha_H$  и  $\alpha_B$ , но при этом происходит рассогласование с условием идеального поворота (1), при котором каждой колее соответствует «своя», вполне определенная, закономерность между указанными углами, что может являться причиной значительного расхождения в значениях  $R_{\min}$  и  $R_C$  для исследуемых случаев и при прочих равных условиях движения, соответствующих конкретному углу  $\alpha_B$ , и причиной ухудшения устойчивости движения и маневренности машины.

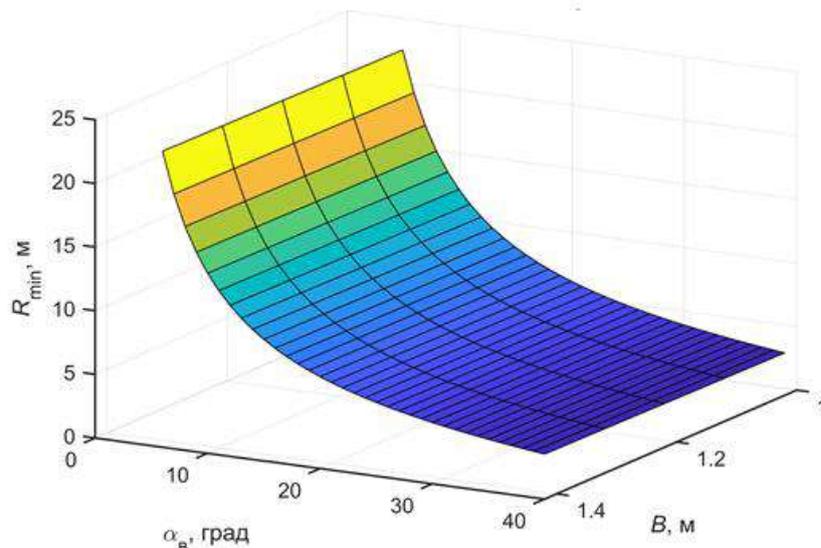


Рисунок 3 – Графики зависимостей теоретического минимального радиуса поворота от шкворневой колее и угла поворота внутреннего управляемого колеса при правильном повороте трактора Беларус-80.1

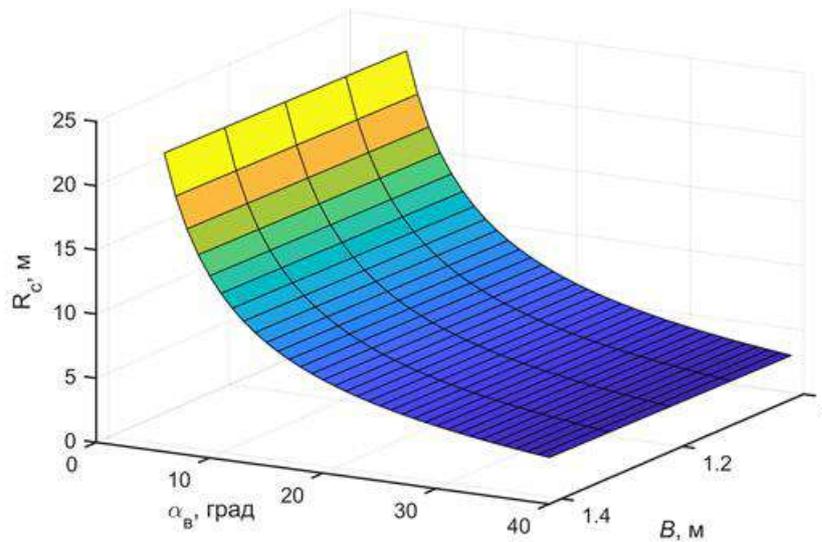


Рисунок 4 – Графики зависимостей теоретического радиуса кривизны траектории, описываемой центром тяжести, от шкворневой колеи и угла поворота внутреннего управляемого колеса при правильном повороте трактора Беларус-80.1

Для варианта поворота трактора Беларус-80.1, осуществляемого рулевой трапецией (рисунок 2), по формулам (9) и (10) при  $B=1,02$  м и угле  $\alpha_B=20^\circ$  определено  $R_{\min}=8,266$  м,  $R_C=8,512$  м,  $e=0,453$  м; при  $B=1,02$  м и угле  $\alpha_B=40^\circ$  –  $R_{\min}=3,0516$  м,  $R_C=3,334$  м,  $e=-0,237$  м; при  $B=1,22$  м (соответствует  $B'=1,55$  м) и  $\alpha_B=20^\circ$  –  $R_{\min}=10,101$  м,  $R_C=10,446$  м,  $e=1,0843$  м; при  $B=1,22$  м и  $\alpha_B=40^\circ$  –  $R_{\min}=3,741$  м,  $R_C=4,168$  м,  $e=0,257$  м; при  $B=1,42$  м и  $\alpha_B=20^\circ$  –  $R_{\min}=11,935$  м,  $R_C=12,382$  м,  $e=1,636$  м; при  $B=1,42$  м и  $\alpha_B=40^\circ$  –  $R_{\min}=4,4301$  м,  $R_C=5,0061$  м,  $e=0,75$  м (рисунки 5-7).

Таким образом, изменение  $B$  с  $1,02$  м до  $1,42$  м при  $\alpha_B=20^\circ$  дает рост  $R_{\min}$  на величину  $\Delta R_{\min}=3,669$  м или на  $30,74\%$ , а  $R_C$  – на  $\Delta R_C=3,87$  м ( $31,26\%$ ); при  $\alpha_B=40^\circ$  –  $\Delta R_{\min}=1,379$  м ( $31,11\%$ ),  $\Delta R_C=1,672$  м ( $33,401\%$ ).

Сравнение указанных кинематических характеристик с рассчитанными по формулам (4) и (5) дало следующие результаты: при  $B=1,02$  м и  $\alpha_B=20^\circ$   $R_{\min}$  возрастает на величину  $\Delta R_{\min}=1,245$  м ( $15,056\%$ ), а  $R_C$  – на  $\Delta R_C=1,446$  м ( $16,99\%$ ); при  $B=1,02$  м и  $\alpha_B=40^\circ$   $R_{\min}$  и  $R_C$  уменьшаются на  $\Delta R_{\min}=0,283$  м ( $8,5\%$ ) и  $\Delta R_C=0,093$  м ( $2,71\%$ ). Параметры  $B=1,42$  м,  $\alpha_B=20^\circ$  и  $B=1,42$  м,  $\alpha_B=40^\circ$  приводят к увеличению  $R_{\min}$  и  $R_C$ , соответственно на  $\Delta R_{\min}=4,713$  м ( $39,49\%$ ),  $\Delta R_C=5,117$  м ( $41,33\%$ ) и  $\Delta R_{\min}=0,895$  м ( $20,205\%$ ),  $\Delta R_C=1,384$  м ( $27,65\%$ ).

Из анализа кинематической схемы (рисунок 2) очевидно, мгновенный центр поворота  $O$  при этом размещается за задней осью машины, кроме варианта, когда  $B=1,02$  м и  $\alpha_B=40^\circ$  – он лежит внутри колесной базы, что в обоих случаях является признаком нарушения общих условий кинематики правильного поворота.

Однако, в случае  $B=1,02$  м и  $\alpha_B=40^\circ$  радиусы  $R_{\min}$  и  $R_C$ , как показали выше приведенные результаты расчетов, при управлении поворотом рулевой трапецией меньше, чем по условиям идеального поворота. Но это, как и во все других исследуемых вариантах, при которых происходит к тому же значительное уменьшение кривизны траектории поворота трактора, не приводит к улучшению устойчивости его движения, так как тоже нарушаются условия чистого качения колес.

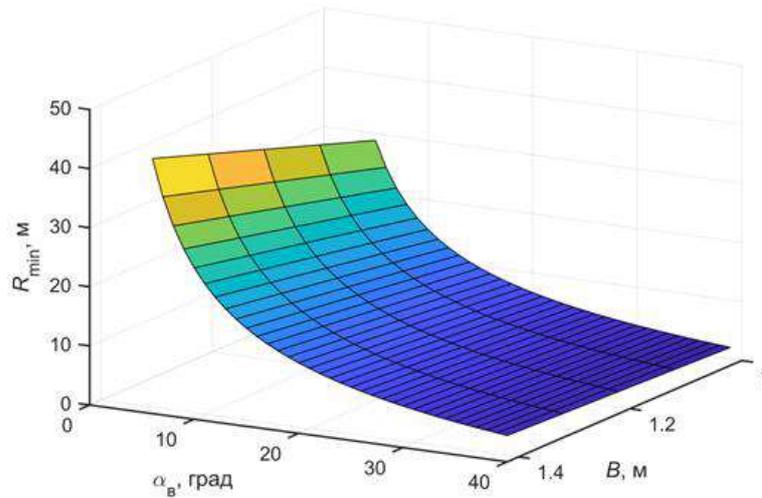


Рисунок 5 – Графики зависимостей теоретического минимального радиуса поворота от шкворневой колеи и угла поворота внутреннего управляемого колеса при реальном повороте трактора Беларус-80.1

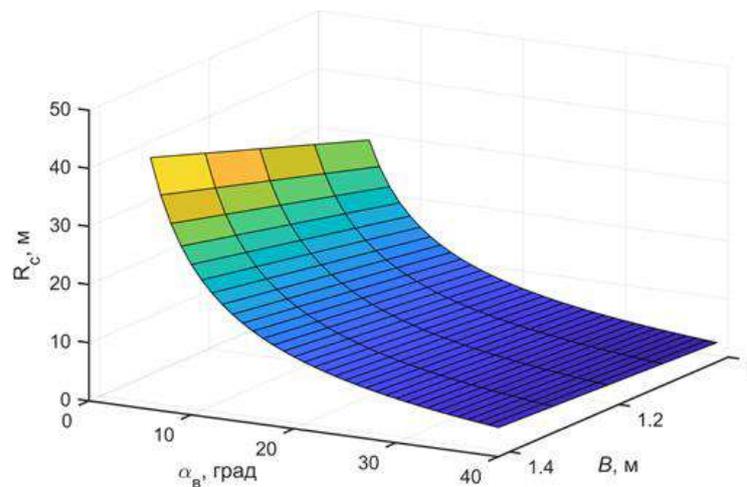


Рисунок 6 – Графики зависимостей теоретического радиуса кривизны траектории, описываемой центром тяжести, от шкворневой колеи и угла поворота внутреннего управляемого колеса при реальном повороте трактора Беларус-80.1

Выявлено, что наименьшая угловая рассогласованность в повороте колес, оцениваемая разностью  $\Delta\alpha_H$  между углами  $\alpha_H$  рассматриваемых видов управления поворотом, соответствует шкворневой колее  $B=1,02$  м. При этом в одном случае при  $\alpha_B=34^\circ$   $-\Delta\alpha_H=0$ . Мгновенный центр поворота  $O$  располагается за задней осью трактора, когда  $\alpha_B$  лежит в интервале от  $0^\circ$  до  $34^\circ$ , а внутри базы – от  $34^\circ$  до  $40^\circ$ . Это подтверждают приведенные результаты расчетов  $R_{\min}$  и  $R_C$  по (9) и (10). Опытные измерения геометрических параметров рулевой трапеции на исследуемом объекте также подтвердили наибольшую эффективность ширины колеи  $B=1,02$  м в обеспечении минимального проскальзывания шин, так как при этом не только мгновенный центр поворота стремится находиться ближе к продолжению задней оси, но и линии продолжения поворотных рычагов, находящихся под неизменным углом к основанию трапеции  $\phi$ , пересекаются с продольной осью на рекомендуемом расстоянии от передней оси  $d = kL$ .

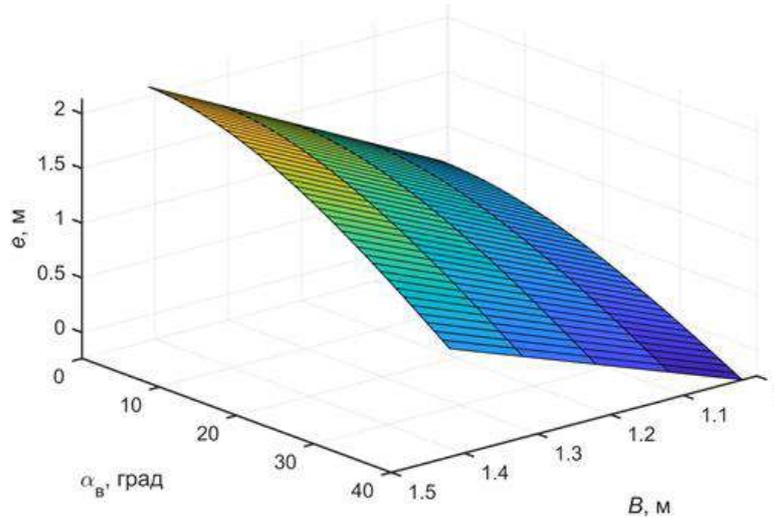


Рисунок 7 – Графики зависимостей расстояния от задней оси до мгновенного центра поворота от шкворневой колеи и угла поворота внутреннего управляемого колеса при реальном повороте трактора Беларус-80.1

Так как при регулировке трапеции длина  $m$  не меняется, то основным параметром, определяющим ее геометрию, является угол  $\varphi$ , рекомендуемые значения которого в существующих конструкциях равны  $64...74^\circ$  и определяемый расстоянием  $kL$  (рисунок 2) [1, 3, 4, 6, 7]

$$kL = \frac{B}{2} \operatorname{tg} \varphi. \quad (11)$$

Из (11) получаем

$$k = \frac{B \operatorname{tg} \varphi}{2L}.$$

Каждому отношению  $B/L$  соответствует конкретное значение коэффициента  $k$ . Его рекомендуемые пределы  $k=0,7...0,8$ . Следовательно,  $d = 0,7...0,8L$ .

Между параметрами  $B$ ,  $m$ ,  $n$ , и  $\varphi$ , характеризующими трапецию, приняты также определенные соотношения, которые обычно колеблются в следующих пределах:  $n/m=0,14...0,2$ ; по условиям компоновки принимается возможно большей длина рычагов  $l$  из интервала  $m=(0,16...0,25) B_{\min}$ , где  $B_{\min}$  – минимальная колея машины при ее изменении (рисунок 2).

А длина поперечной тяги определяется из тригонометрических соотношений (рисунок 2)

$$n = B - 2m \cos \varphi.$$

При постоянной длине поворотных рычагов и переменной колее изменяются осевые усилия в поперечной тяге, а ее увеличение может затруднить расположение механизма на машине, поэтому отношение  $m/n$  выбираются из установленных пределов по конструктивным особенностям и условиям обеспечения прочности и устойчивости поперечной рулевой тяги.

Для трактора Беларус-80.1 при  $B=1.02$  м,  $B=1.22$  м и  $B=1.42$  м, соответственно  $m/n=0,228$ ,  $m/n=0,187$  и  $m/n=0,158$ , что свидетельствует о более высокой степени нагружения деталей поперечной тяги при увеличении колеи. При этом для  $B=1.22$  м и  $B=1.42$  м расстояния  $d = 0,89L$  и  $d = 1,034L$  выходят за пределы рекомендуемых значений, а при  $B=1.02$  м –  $d = 0,74L$  соответствуют им.

Таким образом, при увеличении ширины колеи происходит изменение геометрии рулевой трапеции и общей исходной кинематики поворота машины, что является причиной нарушения условий чистого качения колес, приводящей к увеличению радиуса поворота, ухудшению поворачиваемости и маневренности машины, к скольжению и износу шин, к возрастанию динамических нагрузок на детали и узлы рулевого привода.

### **Выводы.**

1. Возможность регулировать ширину колеи трактора существенно расширяет его спектр применения, но при этом существенно нарушаются условия качения колес.
2. Получены аналитические зависимости для определения положения мгновенного центра поворота, теоретических минимального радиуса и радиуса поворота центра тяжести при изменении ширины колеи колесной машины.
3. Результаты расчетов доказали необходимость в разработке конструкции рулевой трапеции, которая при изменении ширины колеи имела бы оптимальную геометрию [8], позволяющую сохранить кинематические параметры, близкие к правильному повороту.

### **Список источников**

1. Беляев А.Н., Оробинский В.И., Тришина Т.В., Шередекин П.В. Обоснование геометрических параметров рулевой трапеции колесной машины // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2023. Том 16. № 2 (77). С. 116-123.
2. Беляев А.Н., Тришина Т.В. Анализ влияния изменения продольной базы и ширины колеи трактора на величины боковых и касательных сил Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы международной научно-практической конференции (Россия, Воронеж, 30 ноября 2023 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. С. 234-239.
3. Бухарин Н.А., Прозоров В.С., Щукин М.М. Автомобили. Конструкция, нагрузочные режимы, рабочие процессы, прочность агрегатов автомобиля: учебное пособие для вузов. 2-е изд., доп. и перераб. Л.: Машиностроение, 1973. 504 с.
4. Гришкевич А.И., Ломако Д.М., Автушенко В.П. и др. Автомобили: конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть: учебное пособие. Мн.: Вышэйшая школа, 1987. 200 с.
5. Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. и др. Тракторы: теория: учебник для вузов по специальности «Автомобили и тракторы». М: Машиностроение, 1988. 374 с.
6. Ксенович И.П., Гуськов В.В., Бочаров Н.Ф. и др. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет. М.: Машиностроение, 1991. 544 с.
7. Курганов А.И. Основы расчета шасси тракторов и автомобилей: учебное пособие. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1953. 611 с.
8. Патент на полезную модель № 224040 U1 РФ, МПК В62D 7/16. Рулевая трапеция колесного транспортного средства с изменяемой колесей / А.Н. Беляев, П.В. Шередекин, Т.В. Тришина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2024100138; заявл. 09.01.2024; опубл. 13.03.2024. Бюл. № 8. 6 с.
9. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Рулевое управление. Пер. с нем. В.Н. Пальянова; под ред. А.А. Гальбрейха. М.: Машиностроение, 1987. 232 с.
10. Руководство по эксплуатации тракторов «Беларус-80.1/82.1/820» // ООО «Минский тракторный завод», 2015. 381 с.
11. Скотников В.А., Машенский А.А., Солонский А.С. Основа теории и расчет трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.
12. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
13. Chen J., Shen X., Wang A. Steering Trapezoid Optimized Design of the Off-road Racing Car // The 12th Asia Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ACME 2021). Journal of Physics: Conference Series 2235 (2022) 012082.
14. Khristantoa M., Praptijantoa A., Kalega S. Measuring geometric and kinematic properties to design steering axis to angle turn of the electric golf car // 2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA 2014). Energy Procedia 68 ( 2015 ). Pp. 463-470.
15. Jazar Reza N. Vehicle Dynamics: Theory and Application // School of Aerospace Mechanical and Manufacturing Engineering RMIT University Melbourne VIC Australia. 2nd Edition, 2008. 997 p.
16. Pauwelussen Joop P. Essentials of Vehicle. Dynamics. UK, Oxford; USA, MA, 2015. 309 p.

### References

1. Belyaev A.N., Orobinsky V.I., Trishina T.V., Sheredekin P.V. Substantiation of geometric parameters of the steering trapezoid of a wheeled vehicle // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University, 2023. Volume 16. No. 2 (77). pp. 116-123.
2. Belyaev A.N., Trishina T.V. Analysis of the influence of changes in the longitudinal base and track width of a tractor on the values of lateral and tangential forces Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions: materials of the international scientific and practical conference (Russia, Voronezh, November 30, 2023). Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2023. pp. 234-239.
3. Bukharin N.A., Prozorov V.S., Shchukin M.M. Automobiles. Design, load conditions, work processes, strength of car units: a textbook for universities. 2nd ed., supplement and revision L.: Mechanical Engineering, 1973. 504 p.
4. Grishkevich A.I., Lomako D.M., Avtushenko V.P. and others. Cars: construction, construction and calculation. Control systems and chassis: textbook. Mn.: Higher School, 1987. 200 p
5. Guskov V.V., Velev N.N., Atamanov Yu.E. et al. Tractors: theory: textbook for universities specializing in "Cars and tractors". Moscow: Mechanical Engineering, 1988. 374 p.
6. Ksenevich I.P., Guskov V.V., Bocharov N.F., etc. Tractors. Design, construction and calculation. Moscow: Mashinostroenie, 1991. 544 p.
7. Kurganov A.I. Fundamentals of calculating the chassis of tractors and cars: textbook. Moscow: State Publishing House of Agricultural Literature, 1953. 611 p.
8. Patent for utility model No. 224040 U1 of the Russian Federation, IPC B62D 7/16. Steering trapeze of a wheeled vehicle with a variable track / A.N. Belyaev, P.V. Sheredekin, T.V. Trishina; applicant and patent holder of the Voronezh State Agrarian University. – No. 2024100138; application 09.01.2024; publ. 13.03.2024. Byul. No. 8. 6 p.
9. Raimpel Y. The chassis of the car: Steering. Trans. from German V.N. Palyanov; edited by A.A. Galbreich. M.: Mechanical Engineering, 1987. 232 p.
10. The manual for the operation of tractors "Belarus-80.1/82.1/820 " // Minsk Tractor Plant LLC, 2015. 381 p.
11. Skotnikov V.A., Mashenskiy A.A., Solonsky A.S. The basis of theory and calculation of a tractor and a car. M.: Agropromizdat, 1986. 383 p.
12. Smirnov G.A. Theory of motion of wheeled vehicles. 2nd ed., additional and revised. M.: Mechanical Engineering, 1990. 352 p.
13. Chen J., Shen X., Wang A. Steering Trapezoid Optimized Design of the Off-road Racing Car // The 12th Asia Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ACME 2021). Journal of Physics: Conference Series 2235 (2022) 012082.
14. Khristamtoa M., Praptijantoa A., Kalega S. Measuring geometric and kinematic properties to design steering axis to angle turn of the electric golf car // 2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA 2014). Energy Procedure 68 ( 2015 ). pp. 463-470.
15. Jazar Reza N. Vehicle Dynamics: Theory and Application // School of Aerospace Mechanical and Manufacturing Engineering RMIT University Melbourne VIC Australia. 2nd Edition, 2008. 997 p.
16. Pauwelussen Joop P. Essentials of Vehicle. Dynamics. UK, Oxford; USA, MA, 2015. 309 p.

### Информация об авторах

А.Н. Беляев – доктор технических наук, доцент; В.И. Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; А.В. Химченко – кандидат технических наук, доцент; Т.В. Тришина – кандидат технических наук, доцент; П.В. Шередекин – аспирант.

### Information about the authors

A. Belyaev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; V. Orobinsky – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; A. Khimchenko – candidate of technical sciences, associate professor; T. Trishina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; P. Sheredekin - 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): 11.05.2024      Принята к публикации (Accepted): 21.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 629.3.014  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-85-91

## НАГРУЖЕННОСТЬ ВЕДУЩИХ КОЛЕС ТРАКТОРА В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА

*Александр Николаевич Беляев*<sup>1</sup>, *Татьяна Владимировна Тришина*<sup>2</sup>,  
*Дмитрий Николаевич Афоничев*<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,  
г. Воронеж, Российская Федерация

<sup>1</sup>aifkm\_belyaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9195-7091>

<sup>2</sup>t.v.trishina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9976-979X>

<sup>3</sup>dmafonichev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9066-6428>

Автор, ответственный за переписку: Александр Николаевич Беляев, aifkm\_belyaev@mail.ru  
Corresponding author: Alexander Belyaev, aifkm\_belyaev@mail.ru

**Реферат.** *Нагруженность ведущих колес трактора в составе комбинированного агрегата исследовали. В качестве объекта исследования использовался энергонасыщенный универсально-пропашной трактор интегральной схемы класса 2 с ведущими сдвоенными колесами одинакового размера, выполняющий технологическую операцию в междурядьях пропашных культур в составе навесного широкозахватного комбинированного агрегата КРШ-8,1+НП-5,4+ЛТЗ-155+КРШ-8,1. Для определения выходных нагрузочных характеристик использовался метод тензометрирования, в качестве первичного источника сигнала применялись проволочные тензорезисторы на бумажной основе, а для оценки кинематических параметров – индуктивные бесконтактные датчики акселерометров и путеизмерительного колеса. Результаты обработки большого количества осциллограмм показали, что с увеличением поступательной скорости движения трактора суммарное тяговое усилие культиваторов также возрастает. Причина - повышение частот динамических воздействий сопротивления почвы на рабочие органы навесного оборудования и микропрофиля опорной поверхности на колеса трактора, причем, чем выше скорость, тем интенсивнее растет тяговое усилие. Установлено, что рост суммарного тягового усилия культиваторов приводит к возрастанию крутящего момента на колесах трактора, причем заднее навесное устройство и задний мост нагружаются больше передних на 15...20 %. По величине крутящего момента оцениваются тягово-энергетические показатели работы трактора в составе агрегата, и определяется коэффициент использования мощности двигателя. По значению мощности, затраченной на преодоление тягового усилия со стороны рабочего оборудования при выполнении той или иной технологической операции, можно оптимизировать комбинированный агрегат, как по скоростным, так и нагрузочным режимам. Получена зависимость коэффициента буксования колес от тягового усилия, которая позволяет не только определить величину и интенсивность буксования колес трактора, но и оценить тягово-сцепные свойства почвы, определяющие тяговые возможности сельскохозяйственного колесного трактора.*

**Ключевые слова:** колесный трактор, машинно-тракторный агрегат, ведущее колесо, крутящий момент, тяговое усилие, буксование, скорость движения.

## LOADING OF THE TRACTOR'S DRIVING WHEELS AS PART OF THE COMBINED UNIT

*Alexander Belyaev*<sup>1</sup>, *Tatiana Trishina*<sup>2</sup>, *Dmitry Afonichev*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,  
Voronezh, Russian Federation

<sup>1</sup>aifkm\_belyaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9195-7091>

<sup>2</sup>t.v.trishina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9976-979X>

<sup>3</sup>dmafonichev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9066-6428>

**Abstract.** *The load on the driving wheels of the tractor as part of the combined unit was studied. Energy-saturated universal row-crop integrated circuit tractor of class 2 with driving twin wheels of the same size, performing a technological operation in the inter-rows of row crops as part of a mounted wide-cut combined unit KRSh-8.1+NP-5.4+LTZ-155+KRSh-8.1 was used as a research object. The strain gauge method was used to determine the output load characteristics; paper-based wire strain gauges were used as the primary signal source, and inductive non-contact accelerometer and track-measuring wheel sensors were used to evaluate kinematic parameters. The results of processing a large number of oscillograms showed that with an increase in the forward speed of the tractor, the total traction force of the cultivators also increases. The reason is an increase in the frequency of dynamic effects of soil resistance on the working parts of mounted equipment and the microprofile of the supporting surface on the tractor wheels, and the higher the speed, the more intense the traction force increases. It has been established that an increase in the total traction force of cultivators leads to an increase in torque on the wheels of the tractor, with the rear linkage and rear axle being loaded more than the front ones by 15...20%. Based on the torque value, the traction and energy performance of the tractor as part of the unit is assessed, and the engine power utilization factor is determined. Based on the amount of power expended to overcome the traction force from the working equipment when performing a particular technological operation, it is possible to optimize the combined unit, both in terms of speed and load modes. The dependence of the wheel slip coefficient on traction force was obtained, which allows not only to determine the magnitude and intensity of tractor wheel slip, but also to evaluate the traction properties of the soil, which determine the traction capabilities of an agricultural wheeled tractor.*

**Keywords:** *wheeled tractor, machine-tractor unit, driving wheel, torque, traction, slipping, speed of movement.*

**Для цитирования:** Беляев А.Н., Тришина Т.В., Афоничев Д.Н. Нагруженность ведущих колес трактора в составе комбинированного агрегата // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 85-91. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-85-91>.

**For citation:** Belyaev A.N., Trishina T.V., Afonichev D.N. Loading of tractor driving wheels as part of a combined unit. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 85-91. (In Russ.)* <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-85-91>.

**Введение.** Реализуемый двигателем трактора крутящий момент передается через трансмиссию на его ведущие колеса. Как правило, машинно-тракторные агрегаты (МТА) работают в условиях неустановившейся внешней нагрузки, то есть сила сопротивления качению колес  $P_f$  и сила тяги – крюковое усилие  $P_{кр}$  переменны во времени, это вызывает буксование колес и колебания вращающихся масс двигателя и трансмиссии, повышает интенсивность изменения и величины нагрузок не только на их детали и узлы, но и на почву. Поэтому оценку величин крутящих моментов  $M_{кр}$  на колесах трактора в составе МТА необходимо проводить с учетом их неравномерности и некоторой периодичности, свойственной тому или иному технологическому процессу [1], в отличие от принятых допущений о постоянстве крутящего момента двигателя при определении крутящих моментов на ведущих колесах [2, 3], что приводит к не корректным результатам.

Известные эмпирические зависимости для описания кривой буксования колес трактора  $\delta$  включают в себя, как правило, многочисленные опытные коэффициенты, что является причиной их ограниченного применения, так как они не являются достаточно надежными [2, 4].

Исходя из вышесказанного, целью настоящей работы является экспериментальная оценка влияния внешних эксплуатационных факторов на формирование и изменение нагруженности ведущих колес трактора при выполнении технологической операции в условиях эксплуатации.

**Материалы и методы.** Использование комбинированных МТА на базе колесных тракторов с большой единичной мощностью позволяет не только повысить производительность, но и

получить более высокие технико-технологические показатели по сравнению с аналогичными машинами меньшего класса, что является перспективным направлением развития сельскохозяйственного производства [5, 6]. Поэтому в качестве объекта экспериментального исследования, на котором была апробирована, с учетом рекомендаций [1, 7, 8], методика испытаний, выбран энергонасыщенный универсально-пропашной трактор интегральной схемы класса 2 со всеми ведущими сдвоенными колесами одинакового размера [5, 8], выполняющий технологическую операцию в междурядьях пропашных культур в составе навесного широкозахватного комбинированного агрегата КРШ-8,1+НП-5,4+ЛТЗ-155+КРШ-8,1 (фронтальная и задняя навеска оборудования) [9]. Для определения выходных нагрузочных характеристик использовался метод тензометрирования, в качестве первичного источника сигнала при котором применялись проволочные тензорезисторы на бумажной основе, а для оценки кинематических параметров – индуктивные бесконтактные датчики акселерометров и путеизмерительного колеса [1, 10].

**Результаты и обсуждение.** Движение колесного сельскохозяйственного трактора при выполнении технологической операции осуществляется за счет взаимодействия движителя с опорной поверхностью, в результате которого вращение колеса преобразуется в поступательное прямолинейное движение машины. Так как качение колес трактора происходит в разных условиях как по особенностям взаимодействия с основанием (передние колеса движутся по рыхлой деформируемой почве, задние – по почве, укатанной передними колесами), так и по характеру реализации силового потенциала двигателя в виду колебаний и асимметрии действия внешней нагрузки со стороны рабочего оборудования, поэтому опытная проверка адекватности теоретических исследований работы колесного движителя трактора в составе МТА является актуальной задачей.

Результаты обработки большого количества осциллограмм, полученных при проведении экспериментов, показали, что с увеличением поступательной скорости движения трактора  $V$  суммарное тяговое усилие культиваторов  $P_{кр}$  также возрастает в виду повышения частот динамических воздействий сопротивления почвы на рабочие органы навесного оборудования и микропрофиля опорной поверхности на колеса трактора (рисунок 1). Причем, чем выше  $V$ , тем интенсивнее растет  $P_{кр}$ . Имеем следующую картину: при  $V=1,19$  м/с –  $P_{кр}=22,38$  кН, при  $V=1,43$  м/с –  $P_{кр}=22,6$  кН, при  $V=1,75$  м/с –  $P_{кр}=24,29$  кН.

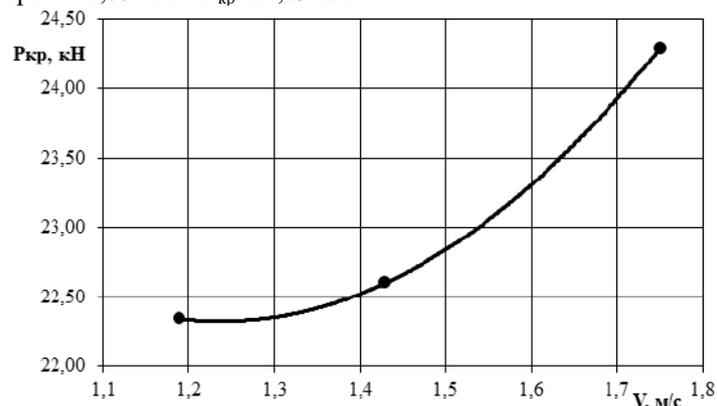


Рисунок 1 – Зависимость тягового усилия  $P_{кр}$  от поступательной скорости движения трактора  $V$

Выбор исследуемого диапазона скоростей поступательного движения  $V$  обусловлен требованиями, предъявляемыми к технологиям возделывания пропашных сельскохозяйственных культур, условиями обеспечения их не повреждения, ограниченными физиологическими возможностями человека при управлении машиной, когда необходимо следить за движением агрегата в междурядьях и успевать реагировать на его отклонения от требуемой траектории, а также снижением уровня воздействия на тракториста колебаний остова трактора [5].

Из-за роста  $P_{кр}$  увеличивается и крутящий момент  $M_{кр}$  на колесах трактора. На рисунке 2 представлена зависимость суммарных крутящих моментов  $M_{кр}$  от суммарной крюковой нагрузки  $P_{кр}$ . Если рассмотреть в разрезе мостов и навесного оборудования, то имеем, например, следующую картину: при  $V=1,43$  м/с по передним и задним навесным устройствам и мостам, соответственно:  $P_{кр.пер}=10,5$  кН,  $P_{кр.зад}=12,1$  кН и  $M_{кр.пер}=9,47$  кН·м,  $M_{кр.зад}=11,98$  кН·м.

По величине крутящего момента оцениваются тягово-энергетические показатели работы трактора в составе агрегата, и определяется коэффициент использования мощности двигателя. По значению мощности, затраченной на преодоление тягового усилия со стороны рабочего оборудования при выполнении той или иной технологической операции можно оптимизировать МТА, как по скоростным, так и нагрузочным режимам.

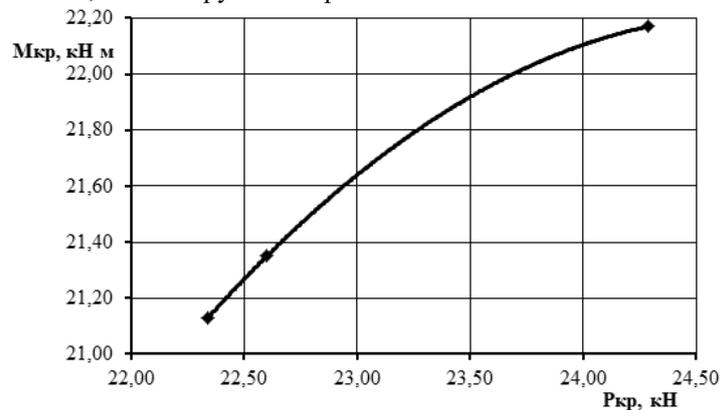


Рисунок 2 – Зависимость крутящих моментов на колесах трактора от тягового усилия навесного оборудования

Как известно [2, 4, 11, 12], при качении деформируемого колеса имеют место деформации грунта и шины, и по мере возрастания крутящих моментов зона сцепления колеса с почвой уменьшается, а зона скольжения растет. Как только момент достигает некоторого значения, все элементы шины в пятне контакта начнут скользить с разной скоростью, возникает процесс буксования – скольжение шины в пятне контакта в сторону противоположную направлению движения. При буксовании уменьшается скорость оси ведущего колеса из-за скольжения шины относительно основания во всех точках контакта в сторону обратную направлению движения. На рисунке 3 приведена кривая буксования – зависимость коэффициента буксования колес трактора  $\delta$  от тягового усилия  $P_{кр}$ .

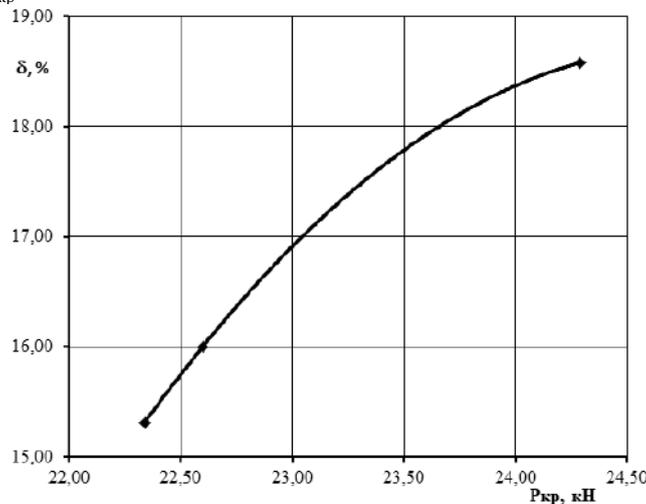


Рисунок 3 – Зависимость буксований колес трактора от тягового усилия навесного оборудования

Зависимость  $\delta = f(P_{кр})$  является наиболее простой, полной и удобной характеристикой оценки тягово-сцепных качеств трактора, например, для однотипных тракторов характеризующей также нормальную и тангенциальную прочность почвы. Кроме того, она учитывает влияние свойств почвы, формы, размеров и свойств сдвигающей поверхности, так как в данном случае в качестве сдвигающей поверхности выступает реальная площадь контакта движителей трактора с почвой.

Для сравнения: при прямолинейном движении в тех же условиях и на тех же скоростных режимах изучаемого МТА в транспортном положении при  $\delta=1...3\%$  получили:  $V=1,43$  м/с,  $V=1,67$  м/с и  $V=2,06$  м/с, а при культивации соответственно:  $V=1,19$  м/с,  $V=1,43$  м/с, и  $V=1,75$  м/с, что является следствием буксования колес в пределах  $15...19\%$  (рисунок 3). При этом в первом случае суммарный крутящий момент на колесах трактора изменяется в пределах  $M_{кр}=8,22...9,8$  кН·м, а во втором –  $M_{кр}=22,13...22,17$  кН·м.

#### **Выводы:**

1. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить функциональные зависимости между кинематическими и динамическими параметрами МТА и выявить причины, влияющие на их величины и характер изменения.

2. Экспериментально установлено, что с увеличением поступательной скорости движения трактора суммарное тяговое усилие культиваторов возрастает из-за повышения частот динамических воздействий сопротивления почвы на рабочие органы навесного оборудования и микропрофиля опорной поверхности на колеса трактора, чем выше скорость, тем интенсивнее растет суммарное тяговое усилие культиваторов.

3. Рост суммарного тягового усилия культиваторов приводит к возрастанию крутящего момента на колесах трактора, причем заднее навесное устройство и задний мост нагружаются больше передних на  $15...20\%$ .

4. Полученные экспериментальные зависимости крутящих моментов на колесах трактора от поступательной скорости движения и от силы тяги на крюке позволяют оценить энергоэффективность трактора и степень загрузки двигателя в реальных условиях эксплуатации.

5. Возрастание тягового усилия вызывает повышение коэффициента буксования колес трактора и как следствие – снижение скорости. Приведенная зависимость коэффициента буксования колес от тягового усилия позволяет не только определить величину и интенсивность буксования колес трактора, но и оценить тягово-сцепные свойства почвы, определяющие тяговые возможности сельскохозяйственного колесного трактора.

#### **Список источников**

1. 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.

2. Скотников В.А., Маценский А.А., Солонский А.С. Основа теории и расчет трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.

3. Беляев А.Н., Афоничев Д.Н., Тришина Т.В. Распределение крутящих моментов по колесам трактора // Наука в Центральной России. 2022. № 2(56). С. 16–22. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-16-22.

4. Гуськов В.В, Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. и др. Тракторы: теория. М.: Машиностроение, 1988. 374 с.

5. Виноградов К.Н., Дурманов А.С., Киселев Н.И. и др. Обоснование параметров и конструкции универсально-пропашного трактора повышенной эффективности. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1978. 164 с.

6. Дурманов А.С., Коцарь Ю.А., Головащенко Г.А., Плужников С.В. Тракторы РТМ-160 и РТМ-160У. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Саратов: Научная книга, 2006. 352 с.

7. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. М.: Колос, 1973. 194 с.

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Сельхозиздат, 1985. 352 с.

9. Агротехнические требования к 8-, 12-, 18-рядным культиваторам-растениепитателям для подготовки почвы к посеву и междурядной обработке низкостебельных пропашных культур. Сб. агротехнических требований на тракторы и сельхозмашины. Т. 30. М.: Машиностроение, 1982. С. 96–100.

10. Макаров Р.А., Ренский А.Б., Боркунский Г.Х., Этингоф М.И. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.

11. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

12. Беляев А.Н., Тришина Т.В., Афоничев Д.Н. Анализ боковых реакций почвы на колеса трактора при повороте [Электронный ресурс] // Resources and Technology. 2022. № 3, Т.19. С. 44–56. <URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=6363>>. DOI: 10.15393/j2.art.2022.6363.

### References

1. Belyaev A.N. Improving the efficiency of machine-tractor units based on integrated universal-rowed wheeled tractors: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.20.01 / A.N. Belyaev. Michurinsk-naukograd, 2019. 440 p. (In Russ.)

2. Skotnikov V.A., Mashenskiy A.A., Solonsky A.S. The basis of theory and calculation of a tractor and a car. M.: Agropromizdat, 1986. 383 p. (In Russ.)

3. Belyaev A.N., Afonichev D.N., Trishina T.V. Distribution of torques on tractor wheels // *Nauka v Central'noj Rossii = Science in the Central Russia*. 2022. No. 2(56). pp. 16-22. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-16-22. (In Russ.)

4. Guskov V.V., Velev N.N., Atamanov Yu.E. et al. Tractors: theory. M.: Mechanical engineering, 1988. 374 p. (In Russ.)

5. Vinogradov K.N., Durmanov A.S., Kiselyov N.I. and others. Substantiation of the parameters and design of a universal-tilled tractor of increased efficiency. Voronezh: Publishing House of the Voronezh State University, 1978. 164 p. (In Russ.)

6. Durmanov A.S., Kotsar Yu.A., Golovashchenko G.A., Pluzhnikov S.V. Tractors RTM-160 and RTM-160U. Construction, operation and maintenance. Saratov: Scientific book, 2006. 352 p. (In Russ.)

7. Vedenyapin G.V. General methodology of experimental research and processing of experimental data. M.: Kolos, 1973. 194 p. (In Russ.)

8. Dospikhov B.A. Methodology of field experience. M.: Agricultural publishing house, 1985. 352 p. (In Russ.)

9. Agrotechnical requirements for 8-, 12-, 18-row cultivators-plant feeders for preparing the soil for sowing and row-to-row processing of low-stemmed row crops. Collection of agrotechnical requirements for tractors and agricultural machinery. Vol. 30. M.: Mashinostroenie, 1982. pp. 96-100. (In Russ.)

10. Makarov R.A., Rensky A.B., Borkunsky G.H., Etingof M.I. Tensometry in mechanical engineering. Reference manual. M.: Mechanical engineering, 1975. 288 p. (In Russ.)

11. Smirnov G.A. Theory of motion of wheeled vehicles. 2nd ed., additional and revised. M.: Mashinostroenie, 1990. 352 p. (In Russ.)

12. Belyaev A.N., Trishina T.V., Afonichev D.N. Analysis of lateral soil reactions on tractor wheels when turning [Electronic resource] // Resources and Technology. 2022. No. 3, Vol. 19. pp. 44-56. <URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=6363>>. DOI: 10.15393/j2.art.2022.6363. (In Russ.)

### Информация об авторах

А. Н. Беляев – доктор технических наук, доцент; Т. В. Тришина – кандидат технических наук, доцент; Д. Н. Афоничев – доктор технических наук, профессор.

### Information about the authors

A. Belyaev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; T. Trishina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; D. Afonichev – 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): 10.05.2024      Принята к публикации (Accepted): 21.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 636.082.4  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-92-101

## БРУДЕРНЫЙ ОБОГРЕВАТЕЛЬ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

*Александр Николаевич Судаков*<sup>1</sup>, *Евгений Александрович Андрианов*<sup>2</sup>,  
*Алексей Александрович Андрианов*<sup>3</sup>, *Николай Игоревич Скуратов*<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Московский государственный зоологический парк, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2,3</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,  
г. Воронеж, Российская Федерация

<sup>1</sup> ansudak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7431-0675>

<sup>2</sup> evgeniy377@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4248-7684>

<sup>3</sup> alexey739@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9141-3948>

<sup>4</sup> aixgal@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9580-6036>

Автор, ответственный за переписку: Александр Николаевич Судаков, ansudak@gmail.com  
Corresponding author: Alexander Sudakov, ansudak@gmail.com

**Реферат.** Известно, что обеспечение оптимального температурного режима молодняка сельскохозяйственных птиц на раннем сроке постэмбрионального развития возможно исключительно в узком диапазоне температур, и инструментальный контроль температур при содержании молодняка под брудерными лампами не обеспечивает необходимой точности. Согласно действующим рекомендациям производителей современных кроссов сельскохозяйственной птицы регулировка высоты подвеса брудерных ламп осуществляется на основании данных визуального контроля, в ходе которого оценивается поведение молодняка. Исследовали возможность автоматизации процесса регулировки высоты подвеса брудерных ламп. Использовали программно-аппаратный комплекс видеоналитики на базе нейронной сети YOLOv2, платформу машинного зрения PyAi-k210 от компании «01studio» на базе микроконтроллера Kendryte k210 и электрический линейный привод. Обучение нейронной сети осуществляли на основе набора данных из 1000 изображений для каждого класса с разрешением 224x224 пикселя. Для обучения использовали облачный сервис [Maixhub.com](https://www.maihub.com). При автоматической augmentации применяли ротацию и отражения изображений. Использовали модель `mobilenet_0.5_831Kb`. Продолжительность обучения – 100 эпох. Для управления линейным приводом использовали 4 электромагнитных реле, из них - 2 силовых электромагнитных реле с двумя группами контактов для переключения полярности питания линейного привода и 2 электронных релейных модуля с гальванической развязкой, управление которыми осуществлялось непосредственно с контактов микроконтроллера. Программный код микроконтроллера, полученный при обучении модели, скорректировали для формирования управляющего сигнала на электронные релейные модули. Программирование осуществляли на языке `MicroPython`. В результате исследования был изготовлен тестовый образец устройства, регистрирующего положение молодняка птиц в брудере и автоматически изменяющего высоту подвеса брудерной лампы.

**Ключевые слова:** брудер, обогрев, молодняк птиц, нейронная сеть, управление.

## BROODER HEATER WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*Alexander Sudakov*<sup>1</sup>, *Evgeniy Andrianov*<sup>2</sup>, *Aleksey Andrianov*<sup>3</sup>, *Nikolai Skuratov*<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Moscow State Zoological Park, Moscow, Russian Federation

<sup>2,3</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,  
Voronezh, Russian Federation

<sup>1</sup> ansudak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7431-0675>

<sup>2</sup> evgeniy377@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4248-7684>

<sup>3</sup> alexey739@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9141-3948>

<sup>4</sup> aixgal@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9580-6036>

**Abstract.** *It is known that ensuring optimal temperature regime of young poultry at the early stage of embryonic development is possible only in a narrow temperature range and instrumental control of temperatures when keeping young poultry under brooder lamps does not provide the necessary accuracy. According to the current recommendations of manufacturers of modern crosses of poultry, the adjustment of the brooder lamp suspension height is based on the data of visual control during which the behavior of young birds is evaluated. The possibility of automating the process of adjusting the height of the suspension of brooder lamps was investigated. A video analytics software and hardware complex based on the YOLOv2 neural network, a PyAi-k210 machine vision platform from the 01studio company based on a Kendryte k210 microcontroller, and an electric linear actuator were used. The neural network was trained on a dataset of 1000 images for each class with a resolution of 224x224 pixels. Maixhub.com cloud service was used for training. Image rotation and reflections were applied for automatic augmentation. The mobilenet\_0.5 831Kb model was used. The training duration is 100 epochs. 4 electromagnetic relays were used to control the linear actuator. 2 power electromagnetic relays with two groups of contacts for switching the polarity of the linear actuator power supply and 2 electronic relay modules with galvanic isolation, which were controlled directly from the microcontroller contacts. The program code of the microcontroller, obtained during training of the model, was adjusted to form a control signal to the electronic relay modules. Programming was carried out in MicroPython language. As a result of the study, a test sample of the device was made, which registers the position of young birds in the brooder and automatically changes the height of brooder lamp suspension.*

**Keywords:** *brooder, heating, young birds, neural network, control.*

**Для цитирования:** Судаков А. Н., Андрианов Е. А., Андрианов А. А., Скуратов Н. И. Брудерный обогреватель с искусственным интеллектом // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 92-101. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-92-101>.

**For citation:** Sudakov A., Andrianov E., Andrianov A., Skuratov N. Brooder heater with artificial intelligence. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 92-101. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-92-101>.

**Введение.** Промышленное птицеводство является абсолютным мировым лидером по производству животного белка и одной из наиболее динамично развивающихся отраслей животноводства [1]. Совместными усилиями селекционеров, зоотехников и разработчиков кормов были созданы современные кроссы сельскохозяйственной птицы, позволяющие получать показатели продуктивности и конверсии корма, близкие к физиологическому пределу. Отмечается рост объемов внедрения цифровых технологий [2]. Вместе с тем, с ростом продуктивности сельскохозяйственной птицы возросли и ее требования к условиям содержания на всех этапах технологического процесса выращивания. Для получения заявленных производителями кроссов показателей требуется строгое соблюдение рекомендаций по следующим параметрам: микроклимат, состав кормов, режим вентиляции и т.д.

Одним из критически важных параметров условий содержания является температурный режим помещений. Учитывая, что на раннем сроке постэмбрионального развития птицы не имеют развитого механизма терморегуляции, особенно важно обеспечить оптимальный температурный режим в первые несколько суток после переноса молодняка из инкубатора в брудеры. В частности, установлено, что нормальная ректальная температура суточного цыпленка составляет 40-41°C. За пределами указанного диапазона происходит изменение физиологических показателей молодняка, и получение показателей роста, заявленных производителем кросса, становится невозможным [3]. Для поддержания оптимальной ректальной температуры молодняка в первые несколько суток требуется строго соблюдать параметры температурного режима в брудерах. Однако, обеспечение оптимальных температурных условий при сохранении удовлетворительных показателей затрат энергии – сложная техническая задача. Наиболее распространены два принципиально отличных способа обогрева молодняка птиц.

При наличии вентиляторов, обеспечивающих активное движение воздуха, автоматическое поддержание оптимальной температуры воздуха во всем внутреннем объеме помещения для содержания молодняка может быть обеспечено нагревателями различных типов, управляемых терморегулятором, который фиксирует температуру воздуха в помещении. Данный способ позволяет с высокой точностью обеспечить оптимальный температурный режим в автоматическом режиме. Терморегулятор может быть запрограммирован на постепенное снижение температуры в процессе роста молодняка. Вместе с тем, существенным недостатком указанного способа является высокий удельный расход тепловой энергии, обусловленный необходимостью обогрева всего объема помещения, вне зависимости от количества поголовья. В настоящее время воздушный обогрев широко применяется в настольных брудерах, однако, в промышленных масштабах его применение нецелесообразно в связи со значительными тепловыми потерями, которые недопустимы в условиях развития энергосберегающих технологий [4].

В промышленном птицеводстве получил распространение способ выращивания молодняка с применением брудерных ИК-ламп, которые размещают на подвесах над полом птичника. Характерной особенностью данного способа является необходимость регулировки высоты подвеса лампы в зависимости от возраста молодняка, вида и породы, а также температуры в помещении. Несмотря на то, что в литературных источниках представлены сведения о высоте подвеса брудерных ламп в зависимости от температуры воздуха в помещении, указанные данные носят рекомендательный характер и рассчитаны на предварительную регулировку высоты подвеса [5].

Руководства по выращиванию современных кроссов сельскохозяйственной птицы содержат данные о температуре подстилки и воздуха под брудерными лампами. Однако, все перечисленные способы выбора высоты подвеса ламп обеспечивают грубую настройку температуры и требуют корректировки после высадки молодняка в брудеры. Единственным, не требующим измерения ректальной температуры молодняка и обеспечивающим оптимальный температурный режим способом, является визуальный контроль поведения поголовья.

«Справочник по выращиванию бройлеров Росс 308» содержит следующую информацию – «В то время, как наблюдение за температурой и влажностью является важным технологическим приемом, наиболее эффективным индикатором оптимальности брудерных условий является регулярное и внимательное наблюдение за поведением цыплят. Общее правило заключается в том, что, если цыплята распределены по брудерной зоне равномерно, это означает, что они чувствуют себя комфортно и нет необходимости в корректировке условий микроклимата. Если цыплята собираются в группы под брудерными лампами или в брудерной зоне, это означает, что им холодно; в этом случае необходимо увеличить температуру и/или относительную влажность. Если цыплята собираются рядом со стенами птичника или брудерного ограждения вдали от источника тепла и/или имеют затрудненное дыхание, это указывает на то, что им жарко; в этом случае необходимо уменьшить температуру и/или относительную влажность» [6].

Более наглядная информация по визуальной оценке температуры цыплят приводится в «Руководстве по выращиванию и содержанию бройлеров Кобб» (рисунок 1).

Необходимость визуальной оценки поведения молодняка возникает по причине сложности частых замеров ректальной температуры и малой информативности измерения температуры воздуха, помимо которой на температуру тела цыплят влияют: температура подстилки, относительная влажность воздуха и скорость воздушных потоков.

Таким образом, складывается ситуация, при которой решающее влияние на успешность одного из важнейших этапов производства продукции промышленного птицеводства оказывает один человек, который осуществляет субъективную экспертную оценку состояния поголовья и принимает решение об изменении условий микроклимата посредством изменения высоты подвеса брудерных ламп. Учитывая, что за брудерный период изменение высоты подвеса ламп производится многократно, поиск решения, направленного на автоматизацию процесса, является актуальным, а наиболее перспективным направлением автоматизации процессов, включающих необходимость визуального контроля, является применение нейронных сетей [8].



Рисунок 1 - Рекомендации по настройке брудерного обогрева [7]

Цель исследования – определить возможность применения машинного зрения на основе нейронной сети для автоматического управления приводами регулировки высоты подвеса брудерных ламп в зависимости от поведения поголовья.

**Материалы и методы.** Совместное исследование проводили в 2024 году кафедра механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности Воронежского ГАУ и отдел орнитологии Московского зоопарка. Аппаратная часть комплекса машинного зрения была представлена микроконтроллером Kendryte k210 на платформе машинного зрения PyAi-k210 от компании «01studio», модулем камеры OV2640, электронными релейными модулями на оптопарах с гальванической развязкой HD-02 3,3В, силовыми реле HJR1-2C-L-3VDC и линейным приводом AL03-12-A2-205-200-C11. Программная часть представлена нейронной сетью на базе YOLOv2, обученной с использованием облачного сервиса Maixhub.com. Исполняемый программный код микроконтроллера, автоматически полученный при обучении модели, скорректирован для формирования управляющего сигнала на электронные релейные модули. Программирование осуществляли на языке MicroPython.

Использовали брудер и термометр собственной разработки [9,10].

В качестве брудерной лампы использовали Облучатель ССП-09-250-001УЗХ2 с лампой ИКЗК E27 215-225-250, 250 Вт.

Эксперимент проводили в процессе брудерного содержания кур.

**Результаты и их обсуждение.** Для выбора компонентов аппаратной и программной частей комплекса изучили рекомендации по предварительной настройке высоты подвеса брудерных ламп (Таблица 1).

Таблица 1. Рекомендации по предварительному выбору высоты подвеса брудерных ламп.

№	Рекомендация	Источник
1.	Температура пола под брудерным отопителем 40,5 °С	[7]
2.	Ректальная температура цыплят 39,4-40,5 °С	[11]
3.	Температура воздуха 33-35 °С	[12]
4.	Температура воздуха 29,2-36,0 °С (в зависимости от влажности воздуха)	[6]
5.	Высота подвеса брудерной лампы от пола 60-80 см в зависимости от температуры в помещении.	[5]
6.	Температура воздуха 31-32 °С	[3]

С учетом представленных рекомендаций, специфики работы устройства, а также для обеспечения низкой стоимости конечного продукта, в качестве аппаратной основы применили специализированное решение для машинного зрения – платформу PyAi-k210. В ходе поисковых экспериментов было установлено, что для достижения цели исследования достаточно применить

тип обработки входного видеосигнала – классификация, при котором нейронная сеть может классифицировать изображение в целом, на выходе формируя следующие виды ответа: «холодно», «жарко», «нормально». Для обучения нейронной сети был сформирован набор данных, состоящий из 3000 изображений (рисунок 2).



Рисунок 2 - Фотографии из обучающего набора данных нейронной сети. Слева – «холодно», в центре – «жарко», справа – «нормально».

Обучение нейронной сети проводили с использованием облачного сервиса Maixhub.com. После загрузки изображений на удаленный сервер и выбора настроек для платформы PyAi-k210, обучение модели происходит в автоматическом режиме (рисунок 3).

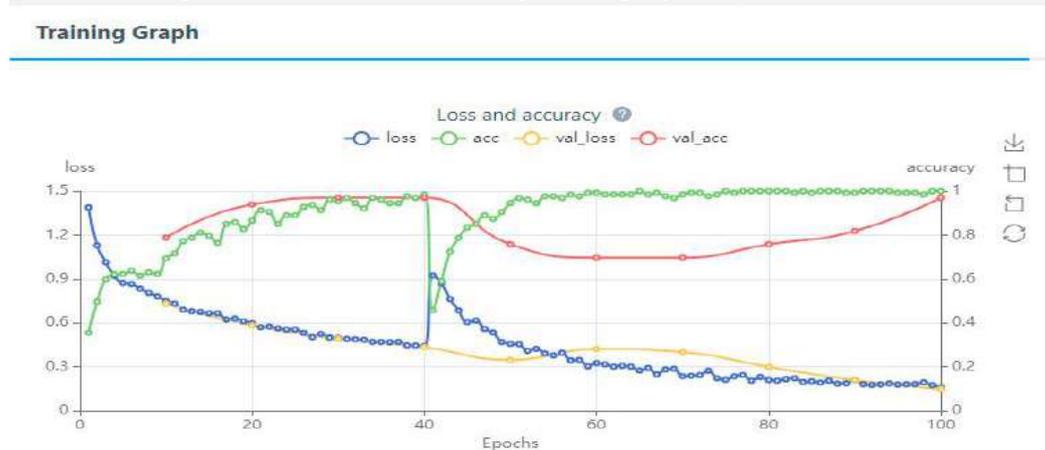


Рисунок 3 - Фрагмент веб-интерфейса в процессе обучения нейронной сети на сайте Maixhub.com

По окончании обучения с сайта необходимо выгрузить на локальный компьютер и перенести на карту памяти микроконтроллера файл модели нейронной сети в формате \*.kmodel и исполняемый файл main.py. После включения микроконтроллер осуществляет классификацию получаемых с видеосъемки изображений автоматически.

Однако, для подключения электронных релейных модулей, в сформированный при расчете модели нейронной сети код требуется внести ряд изменений. Ниже приведен программный код с описанием отдельных блоков:

```
# 1. Импорт необходимых библиотек
import sensor, image, time
import KPU as kpu
import gc, sys
from machine import UART
from fpioa_manager import fm
from Maix import GPIO
```

```
import utime
# 2. распределение контактов
fm.register(19, fm.fpioa.GPIO3)
fm.register(20, fm.fpioa.GPIO4)
UP = GPIO(GPIO.GPIO3, GPIO.OUT,value=0)
DOWN = GPIO(GPIO.GPIO4, GPIO.OUT,value=0)
# 3. Настройка компонентов для работы нейронной сети
input_size = (224, 224)
labels = ['good', 'hot', 'cold']
class Comm:
    def __init__(self, uart):
        self.uart = uart
    def send_classify_result(self, pmax, idx, label):
        msg = "{}: {:.2f}: {} \n".format(idx, pmax, label)
        self.uart.write(msg.encode())
def init_uart():
    fm.register(10, fm.fpioa.UART1_TX, force=True)
    fm.register(11, fm.fpioa.UART1_RX, force=True)
    uart = UART(UART.UART1, 115200, 8, 0, 0, timeout=1000, read_buf_len=256)
    return uart
def main(labels = None, model_addr="/sd/m.kmodel", sensor_window=input_size, lcd_rotation=0,
sensor_hmirror=True, sensor_vflip=True):
    sensor.reset()
    sensor.set_pixformat(sensor.RGB565)
    sensor.set_framesize(sensor.QVGA)
    sensor.set_windowing(sensor_window)
    sensor.set_hmirror(sensor_hmirror)
    sensor.set_vflip(sensor_vflip)
    sensor.run(1)
    uart = init_uart()
    comm = Comm(uart)
    # 4. Начало цикла
    try:
        task = None
        task = kpu.load(model_addr)
        while(True):
            img = sensor.snapshot()
            t = time.ticks_ms()
            fmap = kpu.forward(task, img)
            t = time.ticks_ms() - t
            plist=fmap[:]
            pmax=max(plist)
            max_index=plist.index(pmax)
            #comm.send_classify_result(pmax, max_index, labels[max_index].strip())
            label = labels[max_index]
            if label == 'hot': #если классифицировано состояние «жарко»
                UP.value(1) # включить реле подъема
                utime.sleep(5) # продолжительность подъема 5 секунд
                UP.value(0) # выключить реле подъема
                utime.sleep(300) # время ожидания 5 минут
            elif labe == 'cold': # если классифицировано состояние «холодно»
                DOWN.value(1) #Включить реле опускания
                utime.sleep(1) # продолжительность опускания 5 секунд
```

```
DOWN.value(0) #Выключить реле опускания
utime.sleep(300) # время ожидания 5 минут
# 5. Завершение цикла
except Exception as e:
    raise e
finally:
    if not task is None:
        kpu.deinit(task)
except Exception as e:
    sys.print_exception(e)
finally:
    gc.collect()
```

Описание действий микроконтроллера при классификации изображения типа «нормально» не требуется. Однако, наличие класса «нормально» - необходимо. Это вызвано тем, что нейронная сеть при анализе изображения определяет наиболее вероятный класс. При отсутствии класса «нормально», нейронная сеть будет выбирать из получаемого изображения только классы «жарко» и «холодно» вне зависимости от ситуации в брудере. Алгоритм работы устройства представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 - Алгоритм работы устройства.

Общий вид рабочей модели брудерного обогревателя с нейросетевым управлением представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 - Общий вид рабочей модели устройства

Брудерный обогреватель с искусственным интеллектом используют следующим образом. Линейный привод, с закрепленной ИК-лампой, подвешивают над полом брудера таким образом, чтобы в среднем положении длины привода расстояние от лампы до пола брудера отвечало рекомендациям по предварительной настройке высоты подвеса брудерных светильников. Видеокамеру блока машинного зрения устанавливают таким образом, чтобы зона съемки охватывала необходимый для контроля участок пола. После высадки молодняка в брудер и подачи питания на устройство, нейронная сеть начинает анализировать поступающие с видеокамеры изображения и определять наиболее вероятный класс из следующих: «жарко», «холодно», «нормально». В случае, если молодняк занимает наиболее удаленные от источника тепла зоны брудера, и изображение с видеокамеры классифицируется нейронной сетью - «жарко», микроконтроллер подает питание на контакты, управляющие релейным модулем с гальванической развязкой, отвечающим за подъем лампы. Релейный модуль коммутирует цепь питания силового двухконтактного реле, которое коммутирует подачу питания прямой полярности линейному приводу. Линейный привод поднимает брудерную лампу в течение 5 секунд, за которые лампа поднимается на 50 мм. После этого подъем останавливается на 5 минут. В случае, если молодняк концентрируется под нагревателем и нейронная сеть классифицирует изображение с видеокамеры - «холодно», микроконтроллер подает питание на второй релейный модуль, который включает силовое реле, подающее обратную полярность на линейный привод, и лампа опускается на 50 мм. Если изображение нейронной сетью классифицируется - «нормально», питание на релейные модули не подается. Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 6.

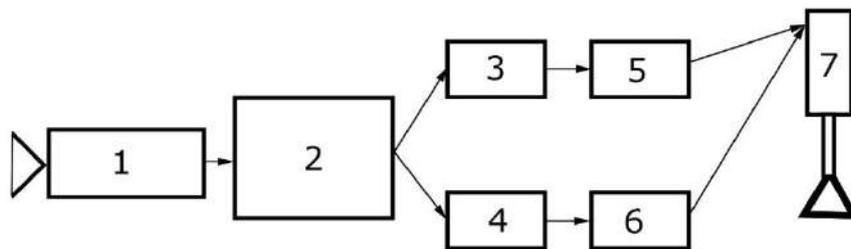


Рисунок 6 - Принципиальная схема устройства. 1 – видеокамера, 2 – микроконтроллер, 3 – релейный модуль подъема, 4 – релейный модуль опускания, 5 – силовое реле подъема, 6 – силовое реле опускания, 7 – линейный привод с брудерной лампой

Тестовый эксперимент продемонстрировал возможность автоматизации процесса регулировки высоты подвеса брудерных ламп для обеспечения оптимальной температуры при выращивании молодняка птиц. Было установлено, что характерные типы поведения молодняка успешно классифицируются нейронной сетью.

Вместе с тем, следует отметить, что применение линейного привода с более широким диапазоном перемещений нецелесообразно в связи с рисками перемещения брудерной лампы в избыточно низкие или высокие положения. Положительную роль также играет наличие концевых выключателей, интегрированных в линейный привод, позволяющих исключить необходимость программных решений ограничения работы электродвигателя в крайних положениях.

**Заключение.** Современный уровень развития электронных компонентов и программных решений в области искусственного интеллекта позволяет осуществлять автоматизацию технологических процессов, которые до недавнего времени требовали обязательного участия человека.

Вместе с тем, особенностью нейронных сетей является определение вероятности классификации изображения, которая изменяется в широком диапазоне в зависимости от качества обучающего набора данных, а также ситуации, происходящей в реальном времени с наблюдаемым объектом. Абсолютная точность работы нейронной сети недостижима, что накладывает определенные границы ее использования. При использовании автоматизированных систем на базе машинного зрения необходимо предусматривать защитные механизмы, исключающие критические сбои в работе системы в целом, вне зависимости от результатов работы нейронной

сети. В рамках описанного эксперимента защитным механизмом стало ограничение длины хода линейного привода.

Возможным решением проблемы отклонений в работе систем автоматизации на основе нейронных сетей является применение дополнительных аварийных оповещателей, основанных на традиционных инструментальных методах контроля.

В целом, следует отметить, что применение систем нейросетевой видеоналитики в промышленном птицеводстве позволяет приступить к решению задач автоматизации и контроля процессов, которые до недавнего времени требовали обязательного участия человека.

#### Список источников

1. Фисинин, В. И. Уровень динамики развития мясного и яичного птицеводства России. Результаты работы отрасли в 2022 году / В. И. Фисинин // Птицеводство. – 2023. – № 4. – С. 4-8. – EDN MIANAG.
2. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве / Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Ю. Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 3(297). – С. 2-9. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-3-2-9. – EDN FXGGHZ.
3. Буяров, В. С. Научные основы ресурсосберегающих технологий производства мяса бройлеров / В. С. Буяров, Т. А. Столляр, А. В. Буяров ; под общ. редакцией В. С. Буярова. – Орёл : Издательство Орловского государственного аграрного университета, 2013. – 284 с. – ISBN 978-5-93382-202-8. – EDN RYUVEN.
4. Пиляев, С. Н. Повышение энергоэффективности асинхронного электропривода в сельском хозяйстве / С. Н. Пиляев, Д. Н. Афоничев, С. А. Врагов // Наука в центральной России. – 2023. – № 4(64). – С. 47-55. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-4-47-55. – EDN GANWEK.
5. Рекомендации по инфракрасному обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птиц (М., "Колос", 1979 г.).
6. Справочник по выращиванию бройлеров ROSS [Электронный ресурс] // [https://ru.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/RUS\\_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-RU.pdf](https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-RU.pdf) (Дата обращения: 14.05.2024).
7. Руководство по содержанию и выращиванию бройлеров КОББ [Электронный ресурс] // [http://kfhmakosh.ru/sites/default/files/rukovodstvo\\_kobb500.pdf](http://kfhmakosh.ru/sites/default/files/rukovodstvo_kobb500.pdf) (Дата обращения: 14.05.2024).
8. Рогов, М. А. Перспектива использования нейронных сетей на рынке АПК / М. А. Рогов, А. А. Дубовицкий // Наука и Образование. – 2022. – Т. 5, № 2. – EDN VTXLPN.
9. Брудер для молодняка сельскохозяйственной птицы / А. Н. Судаков, Е. А. Андрианов, А. А. Андрианов, Н. И. Скуратов // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 12 февраля 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 224-229. – EDN VINYPE.
10. Разработка отечественного высокоточного термометра для инкубаторов / А. Н. Судаков, О. А. Липа, Д. А. Липа [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2023. – Т. 70, № 4(53). – С. 95-101. – DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-95-101. – EDN SKDXDI.
11. Советы по инкубации 2020 [Электронный ресурс] // [https://ru.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/RUS\\_TechDocs/HatcheryTips-RU.pdf](https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/HatcheryTips-RU.pdf) (Дата обращения: 14.05.2024).
12. LOHMANN LSL-CLASSIC LAYERS MANAGEMENT GUIDE [Электронный ресурс] // <https://lohmann-breeders.com/media/strains/cage/management/LOHMANN-LSL-Classic-Cage.pdf> (Дата обращения: 14.05.2024).

#### References

1. Fisinin V.I. The level of dynamics of development of meat and egg poultry industry in Russia. Industry performance results in 2022. Ptitsevodstvo = Poultry. 2023; 4. P. 4-8. – EDN MIANAG. (In Russ.)
2. Research results of agro-engineering research organizations on the development of digital systems in agriculture / Y. F. Lachuga, A. Y. Izmailov, Y. P. Lobachevsky, Y. Kh. Shogenov // Tekhnika

- i oborudovanie dlya sela = Machinery and equipment for rural areas. 2022; 3(297). P. 2-9. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-3-2-9. – EDN FXGGHZ. (In Russ.)
3. Buyarov, V. S. Scientific bases of resource-saving technologies of broiler meat production / V. S. Buyarov, T. A. Stollyar, A. V. Buyarov. Oryol : Izdatel'stvo Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Oryol : Publishing House of Oryol State Agrarian University. 2013. 284 p. – ISBN 978-5-93382-202-8. – EDN RYUVEN. (In Russ.)
  4. Pilyaev, S. N. Improving energy efficiency of asynchronous electric drive in agriculture / S. N. Pilyaev, D. N. Afonichev, S. A. Vragov // Nauka v tsestral'noj Rossii = Science in central Russia. 2023; 4(64). P. 47-55. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-4-47-55. – EDN GAHWEK. (In Russ.)
  5. Recommendations on infrared heating of young farm animals and birds. Moskva «Kolos» = Moscow “Kolos”. 1979; 32 p. (In Russ.)
  6. ROSS Broiler Breeder's Handbook. Retrieved from [https://ru.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/RUS\\_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-RU.pdf](https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-RU.pdf) (accessed 17.05.2024). (In Russ.)
  7. Guidelines for the maintenance and rearing of COBB broilers Retrieved from [http://kfhmakosh.ru/sites/default/files/rukovodstvo\\_kobb500.pdf](http://kfhmakosh.ru/sites/default/files/rukovodstvo_kobb500.pdf) (accessed 17.05.2024). (In Russ.)
  8. Rogov, M. A. Perspective on the use of neural networks in agriculture / M. A. Rogov, A. A. Dubovitskij // Nauka i Obrazovanie = Science and Education. 2022; 5(2) – EDN BTXLPN. (In Russ.)
  9. Brooder for young poultry / A. N. Sudakov, E. A. Andrianov, A. A. Andrianov, N. I. Skuratov // Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv i tekhnologij v APK : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 12 fevralya 2024 goda. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I = Trends in the development of technical means and technologies in agro-industrial complex : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, February 12, 2024. - Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great. 2024; P. 224-229. – EDN VINYPE. (In Russ.)
  10. Development of domestic high-precision thermometer for incubators / A. N. Sudakov, O. A. Lipa, D. A. Lipa [i dr.]// Èlektrotehnologii i èlektrooborudovanie v APK = Electrotechnologies and electrical equipment in agro-industrial complex. 2023. 4(53). P. 95-101. – DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-95-101. – EDN SKDXDI. (In Russ.)
  11. Tips for incubation 2020 Retrieved from [https://ru.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/RUS\\_TechDocs/HatcheryTips-RU.pdf](https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/HatcheryTips-RU.pdf) (accessed 17.05.2024). (In Russ.)
  12. LOHMANN-LSL-CLASSIC LAYERS MANAGEMENT GUIDE Retrieved from <https://lohmann-breeders.com/media/strains/cage/management/LOHMANN-LSL-Classic-Cage.pdf> (accessed 17.05.2024).

#### Информация об авторах

А.Н. Судаков – кандидат сельскохозяйственных наук; Е. А. Андрианов - доктор сельскохозяйственных наук, профессор; А. А. Андрианов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; Н. И. Скуратов - заведующий отделом Орнитологии.

#### Information about the authors

A. Sudakov – Candidate of Agricultural Sciences; E. Andrianov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor; A. Andrianov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; N. Skuratov - head of the Ornithology 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): 11.05.2024 Принята к публикации (Accepted): 18.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 631.171  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-102-108

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ВАРОЧНОГО КОТЛА С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ

*Анатолий Михайлович Шувалов*<sup>1</sup>, *Алексей Николаевич Машков*<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*  
<sup>1</sup> vniiti@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Михайлович Шувалов, vniiti@mail.ru  
Corresponding author: Anatoliy Shuvalov, vniiti@mail.ru

**Реферат.** В статье рассмотрены особенности работы системы энергообеспечения газоиспользующего варочного котла в режиме пропорционального регулирования мощности. Они связаны с тем, что процесс приготовления продукта происходит в динамическом режиме: нагрев до кипения, варка и остывание. Эти циклы повторяются при каждой новой загрузке котла. Основным показателем эффективности работы котла является его коэффициент полезного действия (КПД). Рассматриваются два варианта определения КПД: расчетный и экспериментальный. Указывается, что в расчетном методе определения КПД существенное влияние на его величину оказывает удельная теплоёмкость корма (продукта), которая может варьировать в широком диапазоне в зависимости от состава. Установлено, что на точность расчета существенно влияют различные потери теплоты на нагрев металлоконструкций, на продувку паровой рубашки в начальный период работы котла, удаляемую теплоту от корпуса котла в окружающую среду, потери энергии сходящими в атмосферу газами, определяемые по формулам, в которых различные коэффициенты варьируют в широком диапазоне. Предлагается более точный метод определения КПД – экспериментальный. Экспериментальными исследованиями определены общий расход газа на нагрев продукта до кипения в автоматическом и в ручном режиме, отдельно определён расход газа на компенсацию потерь теплоты и на поддержание тихого кипения. По результатам экспериментальных исследований определена полезная составляющая энергии на нагрев продукта до кипения. По экспериментально полученным данным общего расхода газа и полезного определён КПД при работе котла в различных режимах.

**Ключевые слова:** потери энергии, кормоварочный котёл, термическая обработка, температура, мощность, экспериментальные исследования, кипение, полезная энергия.

## RESEARCH RESULTS OF THE ENERGY SUPPLY SYSTEM OF A COOKER WITH SMOOTH POWER CONTROL

*Anatoliy Shuvalov*<sup>1</sup>, *Alexey Mashkov*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,  
Tambov, Russian Federation*  
<sup>1</sup> vniiti@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the features of the operation of the energy supply system of a gas-using digester in the mode of proportional power control are discussed in the article. They are due to the fact that the process of preparing the product occurs in a dynamic mode: heating to a boil, cooking and cooling. These cycles are repeated with each new boiler loading. The main indicator of the efficiency of a boiler is its efficiency factor (COP). Two options for determining efficiency: calculated and experimental are considered. It is indicated that in the calculation method for determining efficiency, its value is significantly influenced by the specific heat capacity of the feed (product), which can vary over a wide

*range depending on the composition. It has been established that the accuracy of the calculation is significantly influenced by various heat losses for heating metal structures, for purging the steam jacket during the initial period of boiler operation, heat removed from the boiler body into the environment, energy losses with gases escaping into the atmosphere, determined by formulas in which various coefficients vary over a wide range. A more accurate method for determining efficiency is proposed - experimental. The total gas consumption for heating the product to a boil in automatic and manual modes, the gas consumption for compensating for heat losses and maintaining a quiet boil was determined separately by experimental studies. The useful energy component for heating the product to a boil was determined based on the results of experimental studies. The efficiency when the boiler operates in various modes is determined from experimentally obtained data on the total gas consumption and useful gas consumption.*

**Keywords:** energy losses, feed boiler, heat treatment, temperature, power, experimental studies, boiling, useful energy.

**Для цитирования:** Шувалов А.М., Машков А.Н. Результаты исследования системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 102-108. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-102-108>.

**For citation:** Shuvalov A., Mashkov A. Research results of the energy supply system of a cooker with smooth power control. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 102-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-102-108>.

**Введение.** В настоящее время правительством проводится широкомасштабная работа по газификации села. По добыче газа Россия занимает второе место в мире. На экспорт отправлено 35% от всего добытого газа [1-3]. Уровень газификации природным газом в сельском хозяйстве России составляет около 70% [4]. В соответствии с «Программой развития газоснабжения и газификации Тамбовской области с 2016 по 2021 годы» уровень газификации в сельской местности 82% [5]. В сельской местности в настоящее время прокладка газопроводов до ввода в сельский дом осуществляется за счет средств государства. Это способствует реализации широкомасштабной газификации села.

Однако изобилие природного газа, его дешевизна по сравнению с другими энергоносителями не стимулирует потребителя на его экономию. Здесь же следует указать, что в России энергоёмкость производства товаров и услуг в 2 раза больше, чем в странах западной Европы. До недавнего времени отопление сельских домов осуществлялось каменным углем или дровами. Корм животным и пищу приготавливали на электрических плитах или на газовых плитах с газобаллонным топливом. Это трудоёмкие и энергозатратные технологии.

В столовых сельхозпредприятий, сельских больницах и школах для приготовления пищи используют бачки, которые устанавливают на газовые плиты, работающие на природном или на сжиженном газе. Потери теплоты от не теплоизолированных бачков увеличивают расход газа. И не менее важно в летний период внешняя теплота от бачков значительно повышает температуру воздуха в столовых. Обслуживающий персонал вынужден открывать окна, в результате создаются сквозняки, что приводит к простудным заболеваниям.

С целью создания комфортных условий для обслуживающего персонала и энергосбережения в теплоэнергетических процессах создан экспериментальный образец системы энергообеспечения варочного котла с пропорциональным регулированием расхода газа [6, 7].

Известно, что эффективность работы варочного котла оценивается коэффициентом полезного действия. Однако анализ основ теплопередачи и справочной литературы [7-14] показывает, что для расчетов составляющих теплового баланса и КПД используется широкий спектр коэффициентов, которые варьируют в широком диапазоне и существенно могут влиять на точность расчетов. В этой связи было принято решение определить КПД по результатам экспериментальных исследований.

Цель работы. Определить энергетическую эффективность системы энергообеспечения варочного котла с регулированием газа пропорционально потребляемому тепловому потоку.

**Материалы и методы исследования.** Для проведения исследований был создан макетный образец варочного котла (рисунок 1). В нём автоматика для регулирования потребляемого теплового потока выполнена на базе термоэлектрической батареи, разработанной с использованием полупроводниковых элементов Пельтье. В результате создан простой по устройству и надёжный в эксплуатации комплект автоматики регулирования расхода газа.

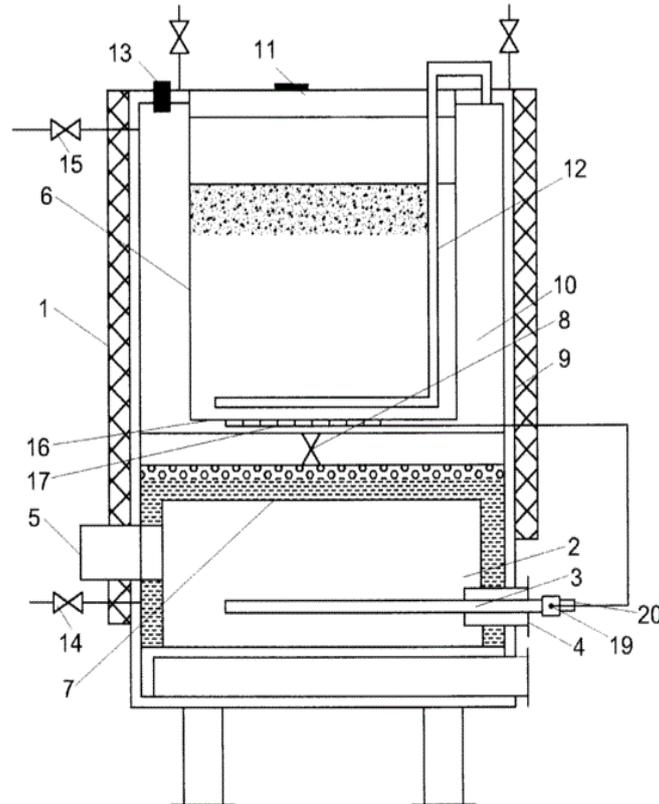


Рисунок 1 – Схема экспериментального образца кормоварочного котла с плавным регулированием мощности с варочной ёмкостью на 100л

Кормоварочный котел содержит корпус 1, топку с теплообменной камерой 2, газовую горелку 3, воздушную дверку 4, патрубок для отвода продуктов сгорания 5, варочный сосуд 6. Паровая рубашка 10 содержит предохранительный клапан 13 и краны подвода и отвода холодной и подогретой воды 14,15. На поверхности дна 16 варочного сосуда 6 смонтирована термоэлектрическая батарея 17, состоящая из полупроводниковых термоэлектрических элементов 18. Термоэлектрическая батарея 17 электрически соединена с входом газорегулирующего соленоида 19. При этом одна сторона термоэлектрических элементов омывается паром и нагрета до температуры пара. Противоположные поверхности элементов соединены с поверхностью дна варочного сосуда и имеют температуру этой поверхности, близкой к температуре корма, находящегося в варочном сосуде.

Методикой предусматривалось выявить энергосберегающий режим работы системы энергообеспечения и определить КПД по результатам экспериментальных исследований.

**Результаты и их обсуждение.** Оценочным показателем системы энергообеспечения варочного котла является коэффициент полезного действия, который определяется делением полезно затраченной энергии на разогрев корма в варочной ёмкости до кипения и последующей варки на общую энергию, включающую полезную составляющую энергии и суммарные потери, возникающие в процессе работы котла.

Следует отметить, что каждая составляющая теплового баланса варочного котла определяется по формулам, в состав которых входят различные коэффициенты с широким диапазоном по величине. Следовательно, расчетным путём нельзя определить достаточно точно КПД варочного котла.

Здесь же важно отметить особенности работы системы энергообеспечения котла с пропорциональным регулированием теплового потока. В этом случае расход газа изменяется нелинейно в функции времени, что усложняет и снижает точность определения КПД расчетным путём. Как следует из графика (рисунок 2) в варочном котле в начале нагрева котла температурный напор максимальный, так как температура котла минимальная и в результате потребляемый тепловой поток в первые тридцать минут максимальный - 14 л/мин. При закипании продукта (воды, котла, бульона) температура его близка к температуре пара в паровой рубашке котла и температурный напор минимальный, следовательно, и минимальный расход газа, равный 3,7 л/мин. Таким образом, потребляемый расход газа в автоматическом режиме изменяется нелинейно от максимума до минимума.

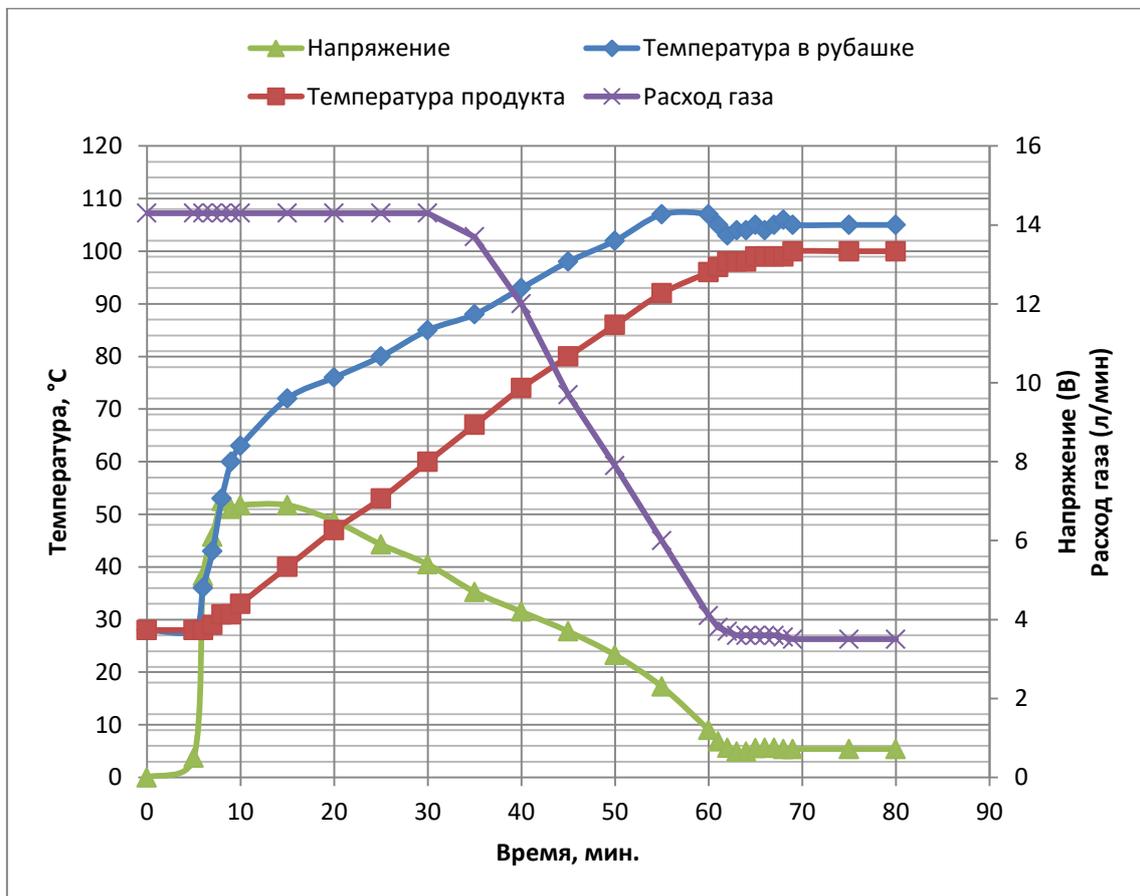


Рисунок 2 – Динамика расхода газа, температуры пара в паровой рубашке и разогреваемого продукта в режиме плавного регулирования мощности газовой горелки

По результатам экспериментальных исследований расход газа на нагрев содержимого варочной ёмкости составляет: в ручном режиме  $L_p = 747$ л, в автоматическом - 618л. А расход газа на компенсацию потерь теплоты и поддержание тихого кипения в ручном режиме составляет  $L_{пот.р} = 378$  л, в автоматическом -  $L_{пот.ав} = 138$  л.

Для определения полезной составляющей расхода газа отделим полезную энергию тихого кипения от теплопотерь: на поддержание тихого кипения температура корма на 5 °С меньше и если 105 °С обеспечивается мощностью 9л/мин, то на 5 °С нужна мощность 0,43л/мин. Следовательно теплопотери в автоматическом режиме составят

$$L_{\text{ав.пот}} = 98,44\text{л.}$$

Полезная составляющая по экспериментальным данным составляет:

$$L_{\text{полез}} = L_{\text{общ}} - L_{\text{пот}} = 519,56\text{л}$$

Тогда КПД на разогрев содержимого варочной ёмкости до кипения в автоматическом режиме определится:

$$\text{КПД} = 519,56/618 = 0,84$$

Важно отметить, что полезная составляющая энергии на разогрев продукта и в автоматическом и в ручном режиме одинаковая.

Тогда КПД в ручном режиме:

$$\text{КПД} = 519,56/747 = 0,695$$

Низкий КПД в ручном режиме объясняется перерасходом потребляемого газа, то есть при отсутствии пропорционального регулирования расхода газа излишки топлива выбрасываются в атмосферу вместе с отработанными газами.

И так как энергия, вырабатываемая газовой горелкой варочного котла, используется не только на разогрев продукта до кипения, но и на варку продукта в течение необходимого времени, то рассмотрим вопрос потребления газа варочным котлом за полный цикл: разогрев до кипения плюс варка продукта. Варка продукта в варочном котле с расходом газа пропорционально потребляемому тепловому потоку осуществляется на минимальной мощности в режиме тихого кипения и зависит от длительности варки продукта.

Как следует из литературы, время варки продуктов составляет широкий диапазон от 0,5 до 3-х часов в зависимости от марки продукта, примем время варки продукта 60 мин.

Тогда расход газа на разогрев продукта и тихое кипение  $L_{\text{общ}} = 798\text{л}$

Полезная составляющая на разогрев продукта до кипения и на тихое кипение в автоматическом режиме

$$L_{\text{а}} = L_{\text{т}} + L_{\text{пол}} = 699,7\text{л}$$

КПД котла в процессе варки продукта составляет:

$$\text{КПД} = 699,7 / 798 = 0,87$$

В ручном режиме расход газа на разогрев продукта и тихое кипение  $L_{\text{общ,р}} = 1287\text{л}$

Полезная составляющая расхода газа в ручном режиме  $L_{\text{р}} = 1059,7\text{л}$

КПД котла в ручном режиме = 0,82

Следует отметить, что при приготовлении корма животным и птицам, а так же для приготовления пищи в столовых возникает потребность загружать варочную ёмкость котла не на 100 кг, а например на 60 или на 40 кг. В этом случае полезная составляющая энергии на нагрев содержимого варочной ёмкости уменьшается пропорционально загрузке варочной ёмкости, а потери теплоты практически не уменьшаются. Следовательно, КПД варочного котла с уменьшением загрузки варочной ёмкости также уменьшается.

Кроме того существенное влияние на расход энергии оказывает длительность варки. Например, концентрированные корма можно приготовить за 60 минут, а мясные компоненты варятся 120-150 минут.

Для оценки влияния уровня загрузки варочной ёмкости и длительности варки на расход газа были проведены расчеты с учетом результатов экспериментальных исследований (таблица 1).

Таблица 1 - Расход газа на варку содержимого варочной ёмкости при различной загрузке котла и при различной длительности варки.

Длительность варки продукта, мин	60	90	120	150
Суммарный расход газа при загрузке варочной ёмкости на V=100кг, л	888	1023	1158	1293
Суммарный расход газа при загрузке V=60кг	696	844	993	1142
Суммарный расход газа при загрузке V=40кг	683	859	1034	1210

С учетом данных таблицы 1 и результатов экспериментальных исследований определён КПД котла при различной загрузке варочной ёмкости и различной длительности варки (таблица 2).

Таблица 2 - Коэффициент полезного действия при различной загрузке котла и длительности варки.

Длительность варки, мин	60	90	120	150
КПД при загрузке V= 100кг	0,87	0,75	0,67	0,6
КПД при загрузке V= 60 кг	0,67	0,55	0,47	0,41
КПД при загрузке V= 40 кг	0,45	0,4	0,3	0,26

Из таблицы 2 следует, что КПД котла с плавным регулированием мощности уменьшается с 0,87 до 0,45 с уменьшением загрузки варочной ёмкости и существенно уменьшается с увеличением времени варки.

#### Выводы.

1. КПД котла с плавным регулированием мощности при загрузке 100% достигает 0,87 и значительно выше КПД= 0,82 ручного режима, и снижается с 0,87 до 0,45 при уменьшении загрузки варочной ёмкости.
2. Коэффициент полезного действия кормоварочного котла с плавным регулированием мощности существенно уменьшается с увеличением длительности варки содержимого варочной ёмкости.

#### Список источников

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы. – М., 2013. – 388 с.
2. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Оценка потребностей сельского хозяйства РФ в энергоресурсах, их структура на период до 2030г.//Инновации в сельском хозяйстве.-2018.-№28.-с.101-109
3. <http://global-finances.ru/dobycha-gaza-v-rossii-po-godam/>
4. <https://minenergo.gov.ru/node/16732>
5. [mpgu.tambov.gov.ru/download/6800000000212108283](http://mpgu.tambov.gov.ru/download/6800000000212108283)
6. Патент на изобретение. №2708097 РФ. СПК А47J 27/06. Котёл кормоварочный /Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. Опубл. 04.12.2019. Бюл. №34.
7. Хохрин, С.Н. корма и кормление животных / С.Н. Хохрин. – СПб.: Лань, 2002. – 512 с.
8. Мишуров, Н.П. Приготовление кормов в фермерских хозяйствах / Н.П. Мишуров. – М.: Росинформагротех, 2002. – 58 с.
9. Евтефеев, Ю.В. Кормопроизводство / Ю.В. Евтефеев. – Барнаул, 2001. – 360 с.
10. Астахов, А.С. Краткий справочник по машинам и оборудованию для животноводческих ферм / А.С. Астахов. 1977. – 256 с.
11. Антуфьев, В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов / В.Т. Антуфьев, М.А. Амосова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищеварочных производств», 2007. - №1.
12. Исаченко В.П. Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1981. – 416 с.
13. Беляев М.И. Тепловое оборудование. – М.: Экономика, 1990. – 559 с.

14. Литвина Л.С. Фролова З.С. Тепловое оборудование общественного питания. – М.: Экономика, 1987. – 272 с.

#### References

1. State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020. – М., 2013. – 388 p.
2. Tikhomirov D.A., Tikhomirov A.V. Assessment of the needs of agriculture in the Russian Federation for energy resources, their structure for the period up to 2030 // Innovations in agriculture. - 2018. - No. 28. - pp. 101-109
3. <http://global-finances.ru/dobycha-gaza-v-rossii-po-godam/>
4. <https://minenergo.gov.ru/node/16732>
5. [mpgu.tambov.gov.ru/download/680000000212108283](http://mpgu.tambov.gov.ru/download/680000000212108283)
6. Patent for invention. No. 2708097 RF. SPK A47J 27/06. Feed boiler / Shuvalov A.M., Mashkov A.N., Chernov D.S.; applicant and patent holder FGBNU VNIITiN. Publ. 04.12.2019. Bull. No. 34.
7. Khokhrin, S.N. feed and feeding of animals / S.N. Khokhrin. – St. Petersburg: Lan, 2002. – 512 p.
8. Mishurov, N.P. Preparation of feed on farms / N.P. Mishurov. – М.: Rosinformagrotekh, 2002. – 58 p.
9. Evtefeev, Yu.V. Feed production / Yu.V. Evtefeev. – Barnaul, 2001. – 360 p.
10. Astakhov, A.S. A short guide to machines and equipment for livestock farms / A.S. Astakhov. 1977. – 256 p.
11. Antufiev, V.T. The concept of improving gas digester boilers / V.T. Antufiev, M.A. Amosova // Scientific journal of NRU ITMO. Series “Processes and apparatus of digestive production”, 2007. - No. 1.
12. Isachenko V.P. Osipova V.A., Sukomel A.S. Heat transfer. – М.: Energy, 1981. – 416 p.
13. Belyaev M.I. Thermal equipment. – М.: Economics, 1990. – 559 p.
14. Litvina L.S. Frolova Z.S. Thermal equipment for public catering. – М.: Economics, 1987. – 272 p.

#### Информация об авторах

А.М. Шувалов - доктор технических наук, профессор; А. Н. Машков - кандидат технических наук.

#### Information about the authors

A. Shuvalov – Full Doctor of technical sciences, Professor; A. Mashkov - Candidate of Technical Sciences.

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

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

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

***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 01.06.2024      Принята к публикации (Accepted): 24.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 681.3:631.333.5  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-109-117

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА В ФОРМЕ ТРЕХГРАННОГО КЛИНА ПРИ ДВИЖЕНИИ В МАССЕ ПОДСТИЛОЧНОГО ОВЕЧЬЕГО НАВОЗА

*Бибигуль Джэксенбаевна Сарбалина*

*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Российская Федерация  
Rumasa79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3762-8873>*

**Реферат.** Рассматривается содержание овец в зимний период времени в овчарнях на утрамбованной подстилке, представляющей собой накопленный монолит, содержащий твердые и жидкие фракции, периодически рассыпанную солому и остатки корма, уплотненные со временем животными в овчарне. Накопленная толщина слоя навоза за стойловый период составляет до 25-30 см. Анализ существующих технологий уборки накопленного навоза показал, что они энергоемки, требуют большого количества разнообразной техники и не отвечают современным технологическим требованиям. Так агрегат уборки навоза АУН-10, который не получил распространение из-за недостатков процесса предварительного разрушения пласта виброножами. Рассматривается разработанное устройство для уборки овечьего подстилочного навоза, главным рабочим органом которого является навесное устройство, включающее три трехгранных клина, которые разрыхляют навозную массу в вертикальной плоскости, в винтовая спираль шнека срезает разрыхленный навоз и транспортирует его на выгрузной транспортер. Рассмотрены элементы процесса разрушения навозной массы при взаимодействии на нее рабочего органа в форме трехгранного клина. Определяли тяговое сопротивление рабочего органа в форме трехгранного клина при движении в массе подстилочного овечьего навоза. Определены траектории движения навоза и силы, действующие на трехгранный клин при его движении, углы резания навоза, направление реакции клина.

**Ключевые слова:** рабочий орган трехгранного клина, траектория движения навоза, тяговое сопротивление, критерии прочности.

## DETERMINATION OF THE TRACTION RESISTANCE OF A WORKING BODY IN THE FORM OF A TRIANGULAR WEDGE WHEN MOVING IN A MASS OF BEDDING SHEEP MANURE

*Bibigul Sarbalina*

*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation  
Rumasa79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3762-8873>*

**Abstract.** Keeping sheep in sheepfolds in winter on compacted bedding, which is an accumulated monolith containing solid and liquid fractions, periodically scattered straw and feed residues compacted over time by animals in the sheepfold, is considered. The accumulated thickness of the manure layer during the stall period is up to 25-30 cm. An analysis of existing technologies for removing accumulated manure has shown that they are energy-intensive, require a large amount of various equipment and do not meet modern technological requirements. For example, the AUN-10 manure removal unit, which has not become widespread due to the shortcomings of the process of preliminary destruction of the formation with vibrating knives. We consider a developed device for harvesting sheep bedding manure, the main working body of which is a mounted device, including three triangular wedges that loosen the manure mass in a vertical plane, cut off the loosened manure into the helical spiral of the auger and transport it to the unloading conveyor. The elements of the process of destruction of the manure mass when a working body in the form of a triangular wedge interacts with it are considered. The traction resistance of a working body in the shape of a triangular wedge was determined when moving through a

*mass of sheep bedding. The trajectories of movement of manure and the forces acting on the triangular wedge during its movement, the cutting angles of manure, and the direction of reaction of the wedge are determined.*

**Keywords:** *working body of a triangular wedge, trajectory of movement of manure, traction resistance, strength criteria.*

**Для цитирования:** Сарбалина Б.Д. Определение тягового сопротивления рабочего органа в форме трехгранного клина при движении в массе подстилочного овечьего навоза// Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 109-117. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-109-117>.

**For citation:** Sarbalina B. Determination of the traction resistance of a working body in the form of a triangular wedge when moving in a mass of bedding sheep manure. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 109-117. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-109-117>.

**Введение.** В зимнее время овец содержат в овчарнях на несменяемой подстилке. Подстилка представляет слежавшийся монолит, включающий твердые и жидкие фракции, периодически подсыпаемую измельченную солому и остатки корма и уплотненного животными на протяжении стойлового периода. Толщина слоя может достигать 25-30 см. Уборка такого навоза традиционно осуществляется специальными агрегатами типа АУН-10 на базе тракторов класса 0,9 в сцепке с одноосным прицепом 1 ПТС-2 или комплексом, включающим несколько машин: бульдозер с навеской БН-Ф-2,5-1 и БН-Ф-2,3-2, погрузчик ПК-10Е (сельскохозяйственный вариант), агрегат уборки навоза АПТ-1, погрузчик-экскаватор, транспортное средство и др.[1].

Анализ литературных источников показал, что существующие технологии весьма энергоемки, требуют большого количества разнообразной техники и не отвечают современным технологическим требованиям. К сожалению мало исследований свойств подстилочного овечьего навоза из-за отсутствуют приборной базы для измерения физических величин, его характеризующих. Для определения возможности качественного разрыхления навоза с наименьшими затратами надо знать сопротивляемость навоза при различных условиях взаимодействия рабочих органов с навозной массой.

Для качественной работы агрегата типа АУН- 10 необходимо предварительное разрушение пласта навоза, плотность которого достигает 800 кг/м<sup>3</sup>. Предлагаемое в агрегате АУН-10 измельчение пласта с помощью виброножей технологически не выгодно, так как ножи быстро выходят из строя и плохо разрушают пласт.

Наилучшим с точки зрения выполнения технологического процесса является использование рабочих органов в виде клиньев. За счет работы клиньев масса навоза перемещается по поверхности клина, растягивается за счет увеличения общей длины соприкосновения с рабочей гранью и разрыхляется. Далее навоз поступает к наклонному, а затем и подающему транспортерам и подается в транспортное средство, установленное за трактором.

В работе использовано разработанное устройство для уборки овечьего подстилочного навоза (патент РФ №215500) [2,3], состоящее из рамы, выгрузного транспортера, трактора с навеской, шнеков, и ворошителя конической треугольной формы. Главным рабочим органом предложенной машины является навесное устройство, включающее три трехгранных клина, которые разрыхляют навозную массу с целью возможности дальнейшего транспортирования в прицепную тележку. Суть работы этого устройства в следующем. При внедрении рабочего органа в пласт подстилочного навоза, ворошители конической треугольной формы разрыхляют пласт с растительными остатками в вертикальной плоскости, в винтовая спираль шнека срезает разрыхленный навоз и транспортирует его на выгрузной транспортер. Загруженная в транспортное средство измельченная масса перевозится и укладывается в бурт.

Для анализа работы предлагаемого рабочего органа – трехгранного клина рассмотрим процессы, происходящие при его движении в массе навоза.

**Результаты и их обсуждение.** С целью определения процессов, происходящих при воздействии клина на подстилочный слой и усилий, возникающих при этом, были определены

показатели прочности навоза (таблица 1). Как показывают опыты, наименьший предел прочности навоза наблюдается – при сдвиге ( $\tau$ ), наибольший – при растяжении ( $\sigma_p$ ), среднее значение при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ).

Таблица 1 Временное сопротивление растяжению, сжатию и сдвигу подстилочного овечьего навоза

Влажность навоза, %	Растяжение	Сжатие	Сдвиг
	$\sigma_p$ , кПа	$\sigma_{сж}$ , кПа	$\tau$ , кПа
25-34	73,8	64,4	22,1
35-44	80,3	48,8	32,7
45-54	85,6	37,2	48

Показатели предела прочности навоза разрушению могут служить ориентиром при оценке фактических деформаций навоза при взаимодействии с рабочими органами орудий.

Рассмотрим некоторые элементы процесса разрушения навозной массы при взаимодействии на нее рабочего органа в форме трехгранного клина (рисунок 1).

Знание угла вхождения навоза на клин  $\eta$  позволяет определить угол резания навоза трехгранным клином  $\chi$ . Этот угол лежит в плоскости OmB (рисунок 1) и измеряется углом между направлением движения (осью X) и траекторией движения навоза S.

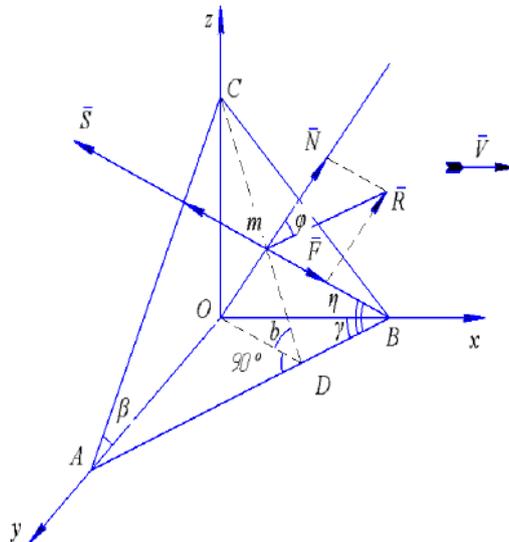


Рисунок 1 – Траектория движения навоза и силы, действующие на трехгранный клин при его движении

Навоз движется по клину по траектории S, определяемой углом  $\eta$ . Угол  $\eta$  - это угол между траекторией движения навоза и лезвием клина AB.

По траектории S действует сила трения  $F = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$  в направлении, обратном движению. Угол OmD прямой ( $\angle OmD = 90^\circ$ ). Также прямыми являются углы:  $\angle mDB = 90^\circ$ ,  $\angle ODB = 90^\circ$ . Такое представление механики процесса движения позволяет определить угол  $\eta$ :

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{mD}{BD}; \operatorname{tg} \gamma = \frac{OD}{BD}; \operatorname{cose} = \frac{mD}{OD};$$

$$\operatorname{tg} \eta \operatorname{cose} = \frac{OD}{BD} \frac{mD}{OD} = \frac{mD}{BD} = \operatorname{tg} \gamma;$$

$$\operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{cose}$$

Угол  $\eta$  определяет траекторию движения навоза.

На рисунке 2 показано влияние углов  $\gamma$  и  $\varepsilon$  на траекторию движения навоза по клину. В литературе по почвообработке угол  $\eta$  называют углом вхождения почвы на клин.

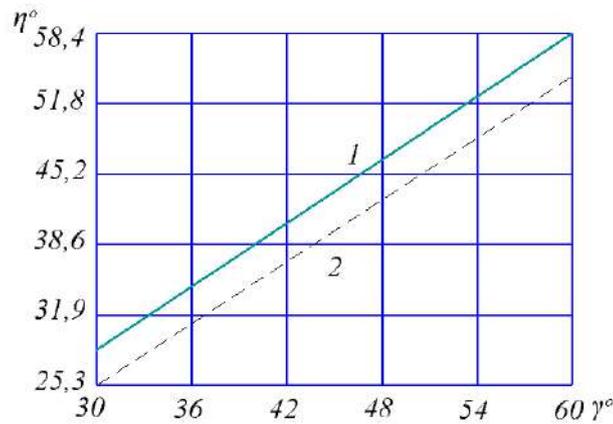


Рисунок 2 – Траектория движения навоза по трехгранному клину – угол  $\eta$   
 1 –  $\varepsilon = 20^\circ$ ; 2 –  $\varepsilon = 35^\circ$

Знание угла  $\eta$  позволяет определить угол резания навоза трехгранным клином  $\chi$ . Этот угол лежит в плоскости  $OмВ$  (рисунок 1) и измеряется углом между направлением движения клина (осью  $x$ ) и траекторией движения навоза  $S$ . Угол резания представляется как один из обобщающих конструктивных показателей трехгранного клина. Угол  $\chi$  определяется следующим образом (рисунок 1)

$$\sin \chi = \frac{Om}{OB}; \quad \sin \gamma = \frac{OD}{OB}; \quad \sin \varepsilon = \frac{Om}{OD}$$

то есть

$$\sin \gamma \cdot \sin \varepsilon = \frac{OD}{OB} \cdot \frac{Om}{OD} = \frac{Om}{OB} = \sin \chi,$$

$$\sin \chi = \sin \gamma \cdot \sin \varepsilon$$

Значение угла резания  $\chi$  в зависимости от установочных углов трехгранного клина  $\gamma$  и  $\varepsilon$  представлено на рисунке 3. Отсюда следует, что угол резания трехгранного клина всегда меньше любого из установочных углов.

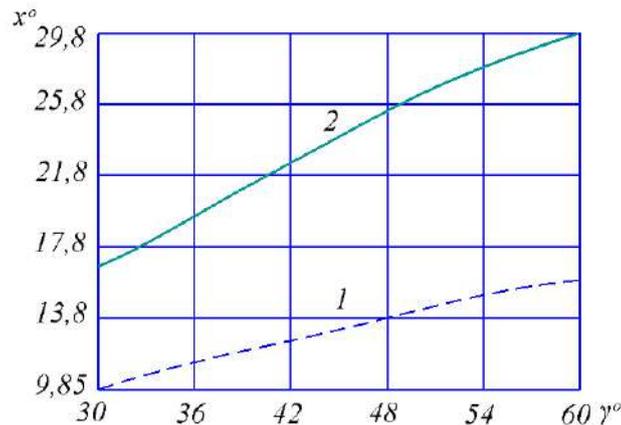
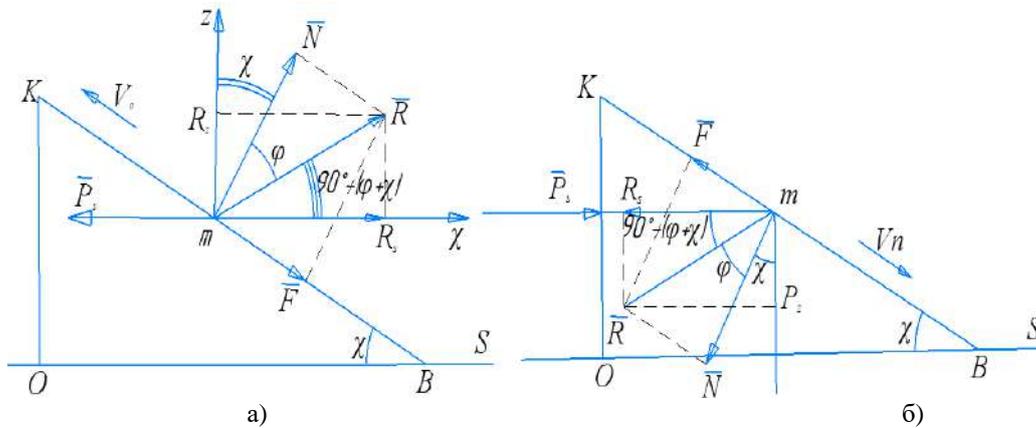


Рисунок 3 – Угол резания навоза  $\chi$  трехгранным клином 1 –  $\varepsilon = 20^\circ$ ; 2 –  $\varepsilon = 35^\circ$

Определим тяговое сопротивление трехгранного клина в зависимости от угла  $\chi$  (рисунок 4). На рисунке 4 представлены направления реакции клина (рисунок 4а) и направление реакции навоза при движении рабочего органа (рисунок 4б).



а - направление реакции клина; б - направление реакции навоза при движении клина  
 Рисунок 4 – Схема для определения силы P

Рассмотрим составляющие усилий при движении клина:

$$R = \frac{N}{\cos \varphi};$$

$$R_s = R_{\cos} [90^\circ - (\chi + \varphi)] = \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\chi + \varphi);$$

$$R_z = R_{\cos}(\chi + \varphi);$$

$$P_s = R_s + R_z * \operatorname{tg} \varphi_1.$$

Величина тягового сопротивления трехгранного клина определяется в следующем виде:

$$P_s = R[\sin(\chi + \varphi) + \cos(\chi + \varphi) * \operatorname{tg} \varphi_1].$$

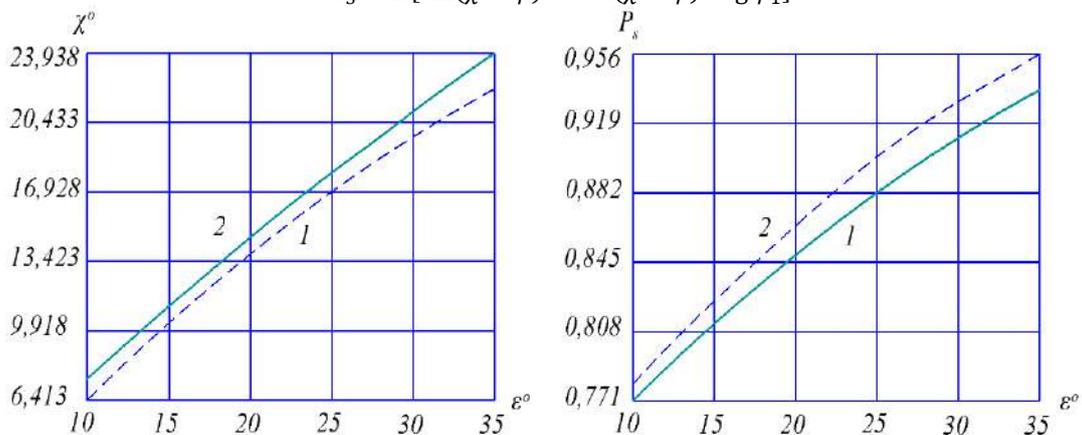


Рисунок 5 – Углы резания и тяговое сопротивление трехгранного клина при следующих значениях переменных:  
 $\varphi = \varphi_1 = 20^\circ$ ;  $N = 1$ ;  $1 - \gamma = 40^\circ$ ;  $2 - \gamma = 45^\circ$

Трехгранный клин испытывает наличие составляющих тягового сопротивления по всем осям координат. Используя теоретические и экспериментальные данные Г.Н.Синеокова и И.М.Панова [6, 7], определим составляющие силы  $\bar{R}$  трехгранного клина по осям декартовых координат. В этом случае основные зависимости можно выразить в следующем виде [8,9,10]:

$$\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}; \quad \bar{R} = (R_x + F_x; R_y + F_y; R_z + F_z)$$

Координаты углов клина (рисунок 6)

$$A(0; y_a; 0); B(x_b; 0; 0); C(0; 0; z_c); AB = (x_b; -y_a; 0); AC = (0; -y_a; z_c).$$

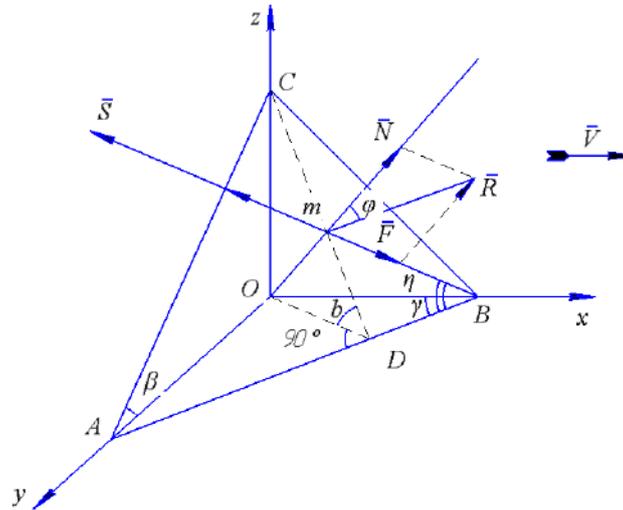


Рисунок 6 – Силы, действующие на трехгранный клин при его движении в навозе

Обозначим вектор единичной длины  $\bar{N}_0$ , нормальный к плоскости ABC.

Тогда  $\bar{N} = B \cdot \bar{N}_0$ , где B – любое положительное число:

$$\bar{N}_0 = \frac{AB \cdot AC}{|AB \cdot AC|}$$

$$AB \cdot AC = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_b & -y_a & 0 \\ 0 & -y_a & z_c \end{vmatrix} = -y_a z_c \vec{i} - x_b z_c \vec{j} - x_b y_a \vec{k} = (-y_a z_c; -x_b z_c; -x_b y_a)$$

$$|AB \cdot AC| = \sqrt{y_a^2 z_c^2 + x_b^2 z_c^2 - x_b^2 y_a^2} = d;$$

$$N_x = \frac{|\bar{N}| \cdot y_a z_c}{d}; N_y = \frac{|\bar{N}| \cdot x_b z_c}{d}; N_z = \frac{|\bar{N}| \cdot x_b y_a}{d};$$

Используя аналогичный математический аппарат, определим составляющие силы  $\vec{F}$  по осям координат:

$$F = q F_0,$$

где  $\bar{F}_0$  - вектор единичной длины:

$$q = |\bar{N}| \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\varphi$  - угол трения навоза о поверхность клина при движении:

$$\bar{F}_0 = \frac{m \bar{B}}{|m \bar{B}|}; \quad m \bar{B} = (x_b - x_m; y_b - y_m; z_b - z_m)$$

$$\text{Так как } y_A = 0; z_A = 0, \text{ то } m \bar{B} = (x_b - x_m; -y_m; -z_m).$$

$$|m \bar{B}| = \sqrt{(x_b - x_m)^2 + (y_b - y_m)^2 + (z_b - z_m)^2} = e;$$

$$F_x = |\bar{N}| \cdot \operatorname{tg} \varphi \frac{x_b - x_m}{e}; F_y = |\bar{N}| \cdot \operatorname{tg} \varphi \frac{(-y_m)}{e};$$

$$F_z = |\bar{N}| \cdot \operatorname{tg} \varphi \frac{(-z_m)}{e}.$$

Для завершения процесса нахождения  $\vec{F}(F_x; F_y; F_z)$  найдем координаты точки m ( $x_m; y_m; z_m$ ). Координаты точки m можно определить на основе следующей теоремы: точка m лежит на плоскости ABC в том и только в том случае, когда векторы  $\vec{Am}, \vec{AB}, \vec{AC}$  компланарны. Условием компланарности трех векторов является равенство нулю определителя третьего порядка, составленного из их координат:

$$\begin{vmatrix} x_m - x_a & y_m - y_a & z_m - z_a \\ x_b - x_a & y_b - y_a & z_b - z_a \\ x_c - x_a & y_c - y_a & z_c - z_a \end{vmatrix} = 0;$$

$$\begin{vmatrix} x_m - 0 & y_m - y_a & z_m - 0 \\ x_b - 0 & 0 - y_a & 0 - 0 \\ 0 - 0 & 0 - y_a & z_c - 0 \end{vmatrix} = -x_m y_a z_c - x_b y_a z_m - x_b y_m z_c + x_b y_a z_c = 0;$$

$$\frac{x_m}{N_x} = \frac{y_m}{N_y} = \frac{z_m}{N_z}; \rightarrow x_m = \frac{N_x}{N_y} y_m = \frac{y_a}{x_b} y_m,$$

$$y_m = \frac{N_y}{N_z} z_m = \frac{z_c}{y_a} z_m;$$

$$x_m y_a z_c + x_b y_a z_m + x_b y_m z_c = x_b y_a z_c;$$

$$\begin{cases} x_m - \frac{y_a}{y_b} y_m = 0, \\ y_m - \frac{z_c}{y_a} z_m = 0, \\ \left( x_b y_a + \frac{z_c^2}{y_a} x_b + \frac{z_c^2}{x_b} y_a \right) * z_m = x_b y_a z_c; \end{cases}$$

$$\frac{d^2 * z_m}{x_b y_a} = x_b y_a z_c;$$

$$z_m = \frac{x_b^2 y_a^2 z_c}{d^2}; \quad y_m = \frac{x_b^2 z_c^2 y_a}{d^2}; \quad x_m = \frac{y_a^2 z_c^2 x_b}{d^2}.$$

**Результаты и их обсуждение.** Выполненные расчеты позволяют определить все составляющие сил по осям координат  $\vec{N}(N_x; N_y; N_z)$  и  $\vec{F}(F_x; F_y; F_z)$  и вычислить составляющие силы  $\vec{R}$  по осям:

$$\begin{cases} R_x = N_x + F_x \\ R_y = N_y + F_y \\ R_z = N_z + F_z \end{cases}$$

В первом приближении сила тягового сопротивления трехгранного клина ABC при его равномерном движении в направлении  $\vec{V}$  равна:  $P_X = R_X + R_Z \operatorname{tg} \varphi_1 + R_Y \operatorname{tg} \varphi_2$ , где:

$\varphi_1$ - угол трения нижней грани клина о поверхность пола;

$\varphi_2$ - угол трения боковой грани клина о пласт навоза.

Если  $\varphi = \varphi_1 = \varphi_2$ , то  $P_X = R_X + \operatorname{tg} \varphi \cdot (R_Z + R_Y)$

Значение  $P_x$ , а также отношения  $R_Y/P_X$  и  $R_Z/P_X$  для  $N=1$  и различных углов  $\epsilon$  и  $\gamma$  представлены на рисунках 7-9.

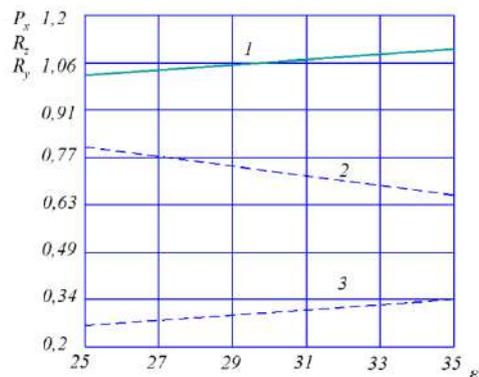


Рисунок 7 – Горизонтальная составляющая тягового сопротивления трехгранного клина  $P_x$  и отношения  $R_Y/P_X$  и  $R_Z/P_X$  ( $N=1$ ,  $\gamma=40^\circ$ ,  $\varphi=\varphi_1=\varphi_2=20^\circ$ ):

1 –  $P_x$ ; 2 –  $R_Z/P_X$ ; 3 –  $R_Y/P_X$

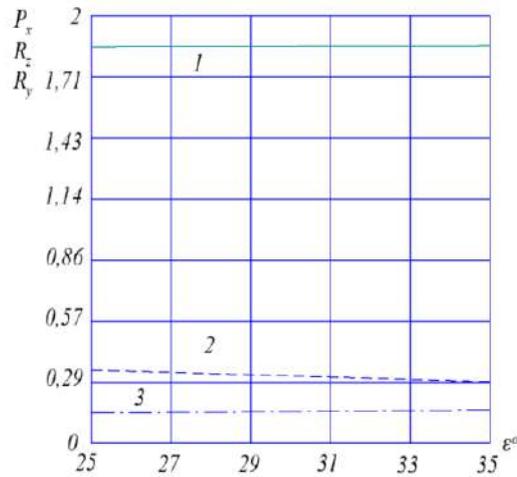


Рисунок 8 – Составляющие тягового сопротивления трехгранного клина ( $N=1, \gamma=40^\circ, \varphi=\varphi_1=\varphi_2=40^\circ$ ) ( $N=1, \gamma=40^\circ, \varphi=\varphi_1=\varphi_2=40^\circ$ ):  
 1 –  $P_x$ ; 2 –  $R_z/P_x$ ; 3 –  $R_y/P_x$

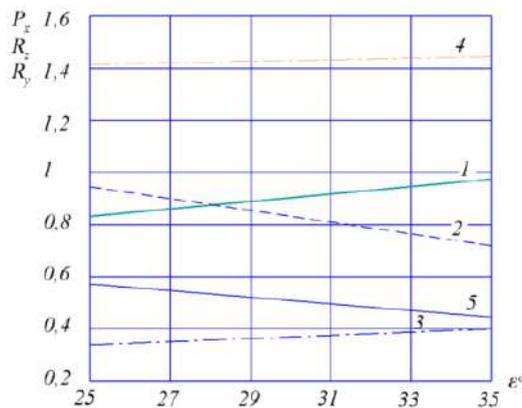


Рисунок 9 – Составляющие тягового сопротивления трехгранного клина ( $N=1, \gamma=40^\circ, \varphi=\varphi_1=\varphi_2=20^\circ$ ):  
 1 –  $P_x$  при  $\varphi_2=10^\circ$ ; 2 –  $R_z/P_x$  при  $\varphi_2=10^\circ$ ; 3 –  $R_y/P_x$ ; 4 –  $P_x$  при  $\varphi_2=40^\circ$ ; 5 –  $R_z/P_x$  при  $\varphi_2=40^\circ$

**Заключение.** Сила  $P_x$  является силой, которую необходимо преодолеть, чтобы сообщить клину движение. Эту силу называют силой тягового сопротивления.

Конкретные расчеты, проведенные для навозной массы влажностью в пределах 20-60 %, с показателями прочности на растяжение в пределах 70-90 кПа, пределом прочности на сдвиг в пределах 20...50 кПа показывают, что разрушающее устройство, включающее три клина длиной 1500 мм и максимальной высотой клина 600 мм снижают сопротивление перемещению навозоуборочного агрегата до 70 %, разрыхленная масса легко перемещается выгрузным транспортером в транспортную тележку.

#### Список источников

1. Завражнов А.И., Ведищев С.М., Бралиев М.К. и др. Техническое обеспечение животноводства; под редакцией А.И. Завражнова, -2-е изд., - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 516 с.
2. Хмыров, В.Д. Совершенствование средств механизации уборки навоза глубокой подстилки [Текст]: монография / В.Д. Хмыров, В.Б. Куденко. – Мичуринск – наукоград РФ, 2011. – 125 с.

3. Хмыров В.Д., Сарбалина Б.Д., Труфанов Б.С. Ворошитель – измельчитель погрузчик подстилочного овечьего навоза. Патент №215500, 15.12.22г.
4. Горячкин В.П. Собрание сочинений; в 3 томах. М.: -Колос, - 1968.
- 5.Тарханов О. В., Тарханова Л. С. Современные технологии переработки навоза и помета как тормоз экономики / О.В. Тарханов, Л.С. Тарханова. - Уфа: Системы и технологии, 2009. – 159с.
6. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. М, 1965.-311с.
7. Панов И.М. Физические основы механики почвы. / И.М.Панов., В.И.Ветохин.- Киев.: Феникс,2008. –266с.
8. Бледных В.В. Теория почвообрабатывающего клина и ее приложения: монография / В.В. Бледных, П.Г. Свечников. - Челябинск: ЧГАА, 2013.-92с.
- 9.Хмыров, В.Д. Устройство для выгрузки навоза глубокой подстилки [Текст] В.Д. Хмыров, В.Б. Куденко, Б.С. Труфанов // Сельский механизатор. – 2008г. – №11. – С. 34.
10. Хмыров, В.Д. Технология производства и уборки подстилочного навоза [Текст] / В.Д. Хмыров, В.Б. Куденко, Б.С. Труфанов // Мировой опыт и перспективы развития сельского хозяйства: материалы междунауч. – практ. конф., посвящ. 95-летию Воронеж. гос. аграр. ун-та (23–24 окт. 2007г.).– Воронеж, 2007. – Ч. 1. – С. 160–161.

#### References

1. Zavrazhnov A.I., Vedishchev S.M., Braliev M.K. et al. Technical support for livestock breeding; edited by A.I. Zavrazhnova, -2nd ed., - St. Petersburg: Lan, 2021.-516 p.
2. Khmyrov, V.D. Improving the means of mechanization of deep litter manure collection [Text]: monograph / V.D. Khmyrov, V.B. Kudenko. – Michurinsk – science city of the Russian Federation, 2011. – 125 p.
3. Khmyrov V.D., Sarbalina B.D., Trufanov B.S. Tedder – chopper and loader of sheep manure. Patent No. 215500, 12/15/22
4. Goryachkin V.P. Collected Works; in 3 volumes. M.: Kolos, - 1968.
5. Tarkhanov O. V., Tarkhanova L. S. Modern technologies for processing manure and litter as a brake on the economy / O.V. Tarkhanov, L.S. Tarkhanova. - Ufa: Systems and Technologies, 2009. – 159 p.
6. Sineokov G.N. Design of tillage machines. M, 1965.-311 p.
7. Panov I.M. Physical foundations of soil mechanics. / I.M.Panov., V.I.Vetokhin. - Kyiv.: Phoenix, 2008. –266s.
8. Blednykh V.V. The theory of tillage wedge and its applications: monograph / V.V. Blednykh., P.G. Svechnikov. - Chelyabinsk: ChGAA, 2013.-92p.
9. Khmyrov, V.D. Device for unloading deep litter manure [Text] V.D. Khmyrov, V.B. Kudenko, B.S. Trufanov // Rural machine operator. – 2008 – No. 11. – P. 34.
10. Khmyrov, V.D. Technology of production and collection of litter manure [Text] / V.D. Khmyrov, V.B. Kudenko, B.S. Trufanov // World experience and prospects for the development of agriculture: materials of international. scientific – practical conf., dedicated 95th anniversary of Voronezh. state agrarian University (October 23–24, 2007).– Voronezh, 2007. – Part 1. – P. 160–161.

#### Информация об авторах

Б.Д.Сарбалина - аспирант.

#### Information about the authors

B.D. Sarbalina - graduate student.

Поступила в редакцию (Received): 10.05.2024      Принята к публикации (Accepted): 24.06.2024

Тип статьи: обзорная  
УДК 621.892:665.753  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-118-130

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АПК

Валерий Васильевич Остриков<sup>1</sup>, Алексей Юрьевич Корнев<sup>2</sup>,  
Александр Викторович Кошелев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия

<sup>1</sup> viitinlab8@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2927-768X>

<sup>2</sup> vniitinlab7@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2765-2506>

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

**Реферат.** Анализ актуальных проблем использования топлив и смазочных материалов в АПК показал, что первоочередными остаются вопросы качества нефтепродуктов. В последние 2 года многие зарубежные поставщики известных брендов масел прекратили сотрудничество с Российской Федерацией и на замену им пришли масла, которые по заверениям производителей не уступают по своим характеристикам лучшим мировым аналогам. Проведённый мониторинг основных свойств масел показал на значительную часть недостоверности такой информации. Важной и усугубляющейся проблемой изменения свойств нефтепродуктов, особенно дизельного топлива и бензинов, являются условия их хранения. Мониторинг качества дизельных топлив, хранящихся на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий, показал, что фракционный состав, содержание механических примесей и воды в большинстве случаев превышает допустимые значения. Остаётся нерешённой многолетняя проблема использования остатков несезонного топлива, хранящегося на нефтескладах хозяйств. Сельскохозяйственному производству требуется современная экспресс-лаборатория контроля качества товарных, приобретаемых и используемых топлив и масел, что поможет снизить затраты на ремонт и эксплуатацию тракторов и комбайнов на 25 – 30 %, продлить срок службы дорогостоящей техники на 20 – 25 %. Определённые проблемы представляет использование в сельскохозяйственной технике соединений на основе возобновляемого сырья в качестве альтернативного топлива. Некоторые из эксплуатационных характеристик биодизельного топлива требуют улучшения. Так, по сравнению с дизельным топливом, оно имеет примерно на 10 % большую плотность и примерно в 1,5 раза более высокую кинематическую вязкость, меньший коэффициент сжимаемости и меньшую долю углерода в молекуле, обладает сравнительно низкой окислительной стабильностью и относительно высокой температурой кристаллизации, а также большей гидрофильностью. Можно выделить два основных подхода к решению указанных проблем: минимизация недостатков эксплуатационных характеристик современных видов биодизельного топлива за счет применения смесевых дизельных топлив с содержанием биокомпонента до 20 % и получение биодизельного топлива с улучшенными эксплуатационными характеристиками. В рамках каждого из этих подходов предложены свои решения. Важной проблемой остаётся использование отработанных моторных масел. Наиболее значимых результатов получения вторичных продуктов из отработанных масел удалось достичь в связи с разработкой новых способов очистки отработанных минеральных и синтетических моторных масел и их смесей.

**Ключевые слова:** нефтепродукты, масло, дизельное топливо, биотопливо, присадки и добавки, контроль качества, срок службы.

## MODERN PROBLEMS OF THE USE OF PETROLEUM PRODUCTS IN AGRICULTURE

Valery Ostrikov<sup>1</sup>, Alexey Kornev<sup>2</sup>, Alexander Koshelev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,  
Tambov, Russia

<sup>1</sup> viitinlab8@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2927-768X>

<sup>2</sup> vniitinlab7@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2765-2506>

**Abstract.** An analysis of current problems in the use of fuels and lubricants in the agro-industrial complex showed that issues of the quality of petroleum products remain a priority. Many foreign suppliers of well-known brands of oils have ceased cooperation with the Russian Federation in the last two years and have been replaced by oils that, according to manufacturers, are not inferior in their characteristics to the best world analogues. The monitoring of the basic properties of oils showed a significant part of the unreliability of such information. An important and growing problem of changing the properties of petroleum products, especially diesel fuel and gasoline, is their storage conditions. Monitoring the quality of diesel fuels stored in oil warehouses of agricultural enterprises has shown that the fractional composition, content of mechanical impurities and water in most cases exceeds permissible values. The long-standing problem of using leftover unseasonal fuel stored in farm oil depots remains unresolved. Agricultural production requires a modern express laboratory for quality control of commercial, purchased and used fuels and oils, which will help reduce the cost of repair and operation of tractors and combines by 25 - 30%, and extend the service life of expensive equipment by 20 - 25%. The use of compounds based on renewable raw materials as an alternative fuel in agricultural machinery poses certain problems. Some of the performance characteristics of biodiesel require improvement. Thus, compared to diesel fuel, it has approximately 10% higher density and approximately 1.5 times higher kinematic viscosity, lower compressibility coefficient and lower proportion of carbon in the molecule, has relatively low oxidative stability and a relatively high crystallization temperature, and also more hydrophilic. There are two main approaches to solving these problems: minimizing the shortcomings in the performance characteristics of modern types of biodiesel fuel through the use of mixed diesel fuels with a biocomponent content of up to 20% and obtaining biodiesel fuel with improved performance characteristics. Solutions have been proposed within each of these approaches. The use of used motor oils remains an important problem. The most significant results in obtaining secondary products from used oils were achieved in connection with the development of new methods for purifying used mineral and synthetic motor oils and their mixtures.

**Keywords:** petroleum products, oil, diesel fuel, biofuels, additives and additives, quality control, service life.

**Для цитирования:** Остриков В.В., Корнев А.Ю., Кошелев А.В. Современные проблемы использования нефтепродуктов в АПК // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 118-130. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-118-130>.

**For citation:** Ostrikov V., Kornev A., Koshelev A. Modern problems of the use of petroleum products in agriculture. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 118-130. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-118-130>.

**Введение.** Одним из проблемных элементов в работе сельскохозяйственной техники являются смазочные масла, дизельное топливо и бензины. Доля затрат на нефтепродукты при производстве сельскохозяйственной продукции достаточно велика и играет одну из первостепенных ролей не только влияющих на себестоимость произведённого продукта, но и в целом на финансовую состоятельность хозяйства. В последние 10 – 15 лет ситуация с поставками, хранением топлив и масел изменилось. Усложнилась задача приобретения качественного топлива у крупных поставщиков и представительств компаний, производящих продукцию высокого качества. Непосредственно в большинстве сельскохозяйственных предприятий технические средства хранения и заправки топлива и масла имеют устаревшие конструкции и сроки службы. Переход к коммерческой системе производства топлив и масел, выпускаемых по ТУ изготовителей привёл к снижению качества нефтепродуктов, реализуемых по несколько заниженным ценам.

Сопроводительные документы, сертификаты качества и указанные в них характеристики не всегда соответствуют действительным значениям.

В последние 2 – 3 года многие зарубежные поставщики известных брендов масел прекратили сотрудничество с Российской Федерацией. На замену им пришли масла, которые по заверениям производителей не уступают по своим характеристикам лучшим мировым аналогам.

Мониторинг и анализ основных свойств, проведённый ФГБНУ ВНИИТиН, указал на недостоверность большей части информации. Например, простое нагревание масел до температуры 250 – 300 °С в течение часа (при постоянном перемешивании) показало снижению уровня масла в металлическом стакане на 1/3 и более, что не коррелируется с известным понятием угара. Неоднократно устанавливался факт, когда щелочное число товарного масла синтетического происхождения составляла 4,5 – 5,5 мгКОН/г, а кислотное число 0,5 – 0,8 мгКОН/г.

По заявлениям тех же разработчиков и производителей масел в современных продуктах поменялся пакет присадок, что в конечном результате сказывается на расхождении значений с принятыми ГОСТами. В данном случае рационально не вступая в научные споры через короткий промежуток наработки (10 – 20 часов или 100 – 150 км) провести повторный анализ масла. Существующая закономерность изменения свойств масла не должна сильно различаться с известными значениями. Резкое изменение, например, щелочного числа масла за кратковременный период даёт основание для детального инженерного анализа.

**Результаты и их обсуждение.** Важной и усугубляющейся проблемой изменения свойств нефтепродуктов, а особенно дизельного топлива и бензинов, является условия их хранения. Отсутствие дыхательных клапанов, загрязнённость резервуаров следами коррозии, отказ от других мер защиты приводят к значительному испарению данных продуктов, потере их эксплуатационных свойств. Если, например, удалить следы коррозии, окалину, механические примеси, воду из хранящихся топлив возможно различными фильтрами, то изменить утяжеление фракционного состава дизельного топлива в реальных условиях эксплуатации очень сложно. Утяжелённый фракционный состав топлива, особенно в машинах со значительным износом и некоторыми устаревшими конструктивными особенностями двигателя, может приводить к увеличению нагара на деталях ЦПГ, дымности выхлопных газов, потере мощностных характеристик машинно-тракторного агрегата.

Остаётся кардинально и однозначно нерешённой многолетняя проблема АПК – когда заканчивается летний сезон и остатки хранящегося на нефтескладе летнего топлива велики, то возникает «экономически оправданный соблазн» перевести летнее топливо в межсезонное, а ещё лучше в зимнее. Как правило, содержащееся в летних сортах дизельных топлив больше количество парафинов, снижают эффективность работы топливной аппаратуры, приводят к закупорке фильтров вплоть до остановки подачи топлива и работы ДВС. Ранее существовавшие методы и средства перевода летних топлив в зимние путём их разбавления керосином, самостоятельное введение депрессорных присадок приводят только к редкому кратковременному эффекту. Удаление парафиновых составляющих в дизельном топливе в условиях предприятий технически сложная задача. Воздействие реагентами, вымораживание, предполагают использование сложного оборудования и также не нашло широкого распространения даже в предприятиях с большими объёмами используемых топлив. Требуются новые решения профессиональной адаптации перевода летних видов дизельных топлив в зимние и наоборот.

Как отмечалось ранее, из-за неудовлетворительных условий хранения топлив на нефтескладах сельхозпредприятий по мере их расходования на дне резервуаров образуются зоны с высоким насыщением водой в смеси с остаточным количеством дизельного топлива. Разделение таких смесей требует специального оборудования.

Переход к производству дизельных топлив и масел предприятиями, оснащёнными менее современным технологическим оборудованием и производство по ТУ изготовителей, внес некоторые коррективы, а именно, дизельное топливо имеет несколько увеличенное содержание серы по сравнению с международными стандартами, а смазочные масла – сниженный ресурс и срок службы до замены. В сельскохозяйственных предприятиях практически отсутствуют средства контроля качества топлив и масел. В соответствии с этим сельский товаропроизводитель

вынужденно находится в затруднительном положении. Появление новых брендов смазочных масел, позиционируемых взамен известных марок, по факту не всегда соответствует действительности и в большей степени это относится к сроку службы масла до замены. В связи с чем для предотвращения преждевременного выхода из строя двигателей машин замену масла рационально проводить не по установленной производителем наработке, а по фактическому состоянию. В данном случае критериальными характеристиками могут выступать периодический (например, через 50 часов наработки) контроль щелочного и кислотного числа масла экспресс-методами.

Многолетний опыт исследования изменения щелочного числа масла показывает, что существует определённая закономерность его снижения по ряду признаков:

- изначальное значение;
- температурный режим работы масла;
- износ основных деталей цилиндрико-поршневой группы;
- своевременность проведения операций технического обслуживания с промывкой системы смазки после слива отработанного моторного масла;
- исключение смешивания различных марок масел (и в первую очередь масел на минеральной и синтетической основе);
- качество используемого дизельного топлива.

На основе многолетнего опыта исследований и мониторинга ФГБНУ ВНИИТиН изменения свойств моторных масел в двигателях тракторов в первом приближении можно рассуждать о существовании некоторых закономерностей. На рисунке 1 представлена зависимость изменения щелочного числа масла от наработки по разновидности причин.

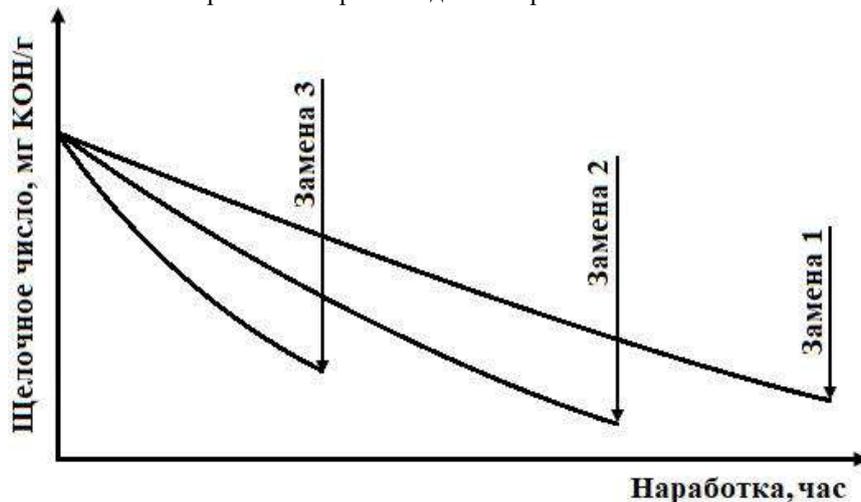


Рисунок 1 – Изменение щелочного числа моторных масел и необходимость их замены

Замена 1, как правило, проводится при наработке 250 – 300 часов, в тех случаях когда двигатель исправен, используется качественное масло и топливо.

Замена 2 проводится при использовании в двигателях тракторов масел имеющих незначительные отклонения по качеству нефтепродукта. В этом случае срок службы масла снижается и составляет 180 – 200 часов наработки.

Замена 3 – это практически аварийная замена, когда произошло смешивание масел, увеличены угар, присадки выпадают в осадок и щелочное число за 50 – 80 часов наработки снижается до 2 мг КОН/г.

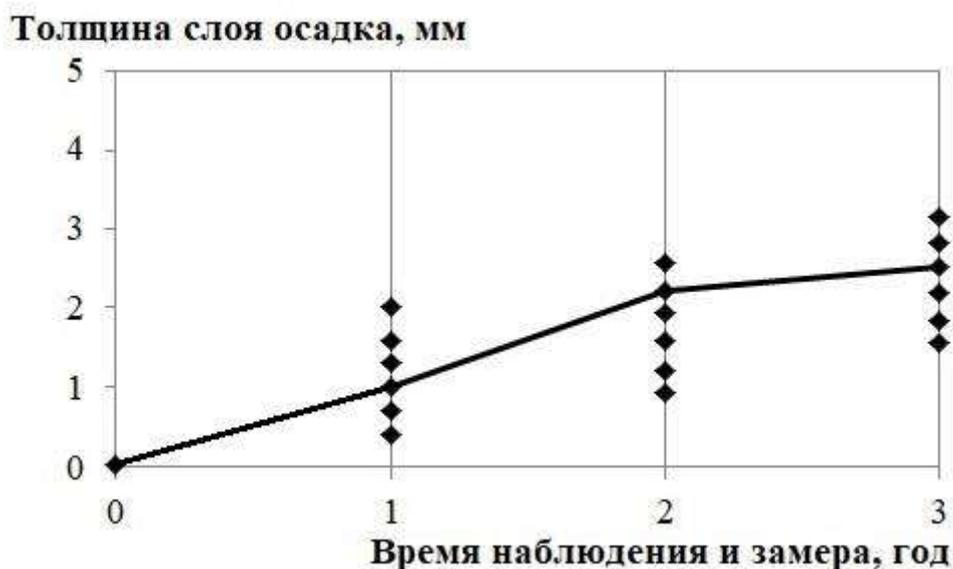
Определить универсальную закономерность изменение щелочного числа масел не представляется возможным, так как факторы могут быть различны и взаимосвязаны.

В условиях реальной эксплуатации чаще всего при резком изменении щелочного числа, масло меняет свою консистенцию, становится более вязким, увеличивается загрязнённость. Замену

масла в таких условиях при выполнении операций ТО необходимо начинать с промывки системы смазки промывочным маслом. В силу затратности данной операции и появления высококачественных моторных масел с высокими моющими свойствами в условиях сельхозпредприятий в 90 % случаев замена масла проводится без промывки системы смазки.

Наблюдение за процессом образования осадка на днище картера трактора ДТ–75М показало неоднозначность заявлений о возможности отказа от промывки системы смазки при использовании высококачественного моторного масла.

Замена производилась один раз в год. На первом этапе картер двигателя был полностью очищен от загрязнений. Толщина слоя осадка и площадь загрязнений равнялась нулю. На рисунке 2 показан рост количества загрязнений после последующего использования масла (1 год) и слива отработанного масла из поддона с его дальнейшей замены на товарное масло М10–ДМ. Данные анализ и наблюдения проводились в течение 3 лет.



◆ – толщина слоя осадка в различных точках замера по площади днища картера (поддона)

Рисунок 2 – Изменение толщины слоя загрязнений на днище картера двигателя от срока использования масла без промывки системы смазки

Несложный анализ показывает, что несмотря на превосходные моющие свойства, толщина слоя осадка увеличивается почти по всей площади днища. Даже если предположить, что часть загрязнений после заправки свежего масла взамен отработанного смывается и переходит в свежезаправленное масло, то большая часть остаётся в картере. Нельзя в данном случае игнорировать и факт эффективности работы масляного насоса и центрифуги.

Загрязнённость дизельного топлива, заправленного в бак, безусловно многократно меньше и задача его очистки в топливной системе в данном случае не рассматривалась. Как отмечалось выше, ещё очень большая часть дизельных топлив приобретает у коммерческих структур, перевозчиков и хранится в резервуарах нефтескладов хозяйств. Изменения свойств топлива в процессе хранения на нефтескладах сельхозпредприятия рассматривалось в многочисленных работах причины, следствия и принимаемые меры известны. Актуальной задачей остается контроль качества и свойств приобретаемых сельским товаропроизводителем светлых нефтепродуктов. Среди многочисленных и важнейших остановимся на цетановом числе, определяющим запуск двигателя, жёсткость рабочего процесса, расход топлива, дымность выхлопных газов [1].

Если летом по заявлениям разработчиков мы можем применять топливо с незначительно пониженным цетановым числом, то зимой этот показатель должен быть выше для эффективного запуска двигателя. Фактический показатель цетанового числа топлив, хранящихся на нефтескладах хозяйств, может быть самым разнообразным. На рисунке 3 показано значение цетанового числа дизельных топлив хранящихся на 10 сельскохозяйственных предприятиях Воронежской, Липецкой и Тамбовской областей. Контроль проводился прибором Shatox SX-150 в летние и зимние периоды эксплуатации техники.

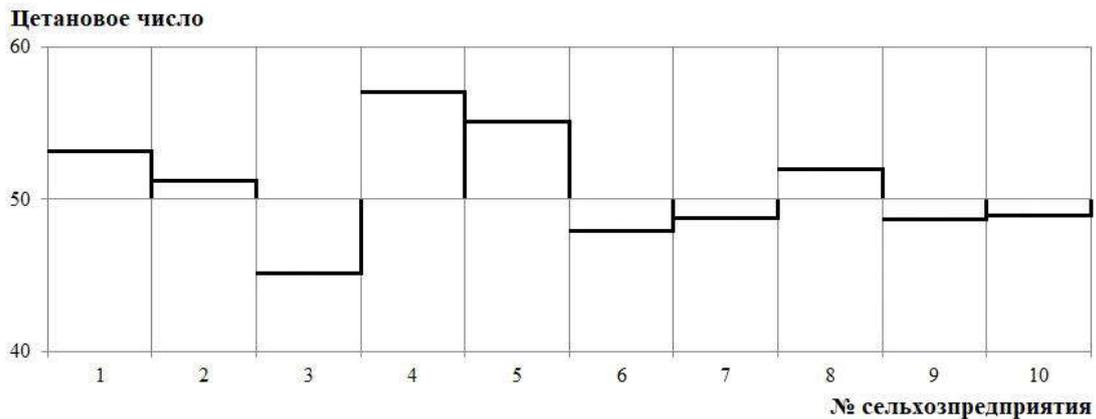


Рисунок 3 – Оценка цетанового числа дизельных топлив, хранящихся на нефтескладах сельхозпредприятий Воронежской Липецкой Тамбовской областей

Как показал мониторинг цетанового числа дизельных топлив, хранящихся на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий, оно находится в диапазоне от 45 до 55 единиц, что в принципе не выходит за допустимые пределы эффективной работы техники. В целом анализ состояния качества нефтепродуктов находится на удовлетворительном уровне по другим анализируемым характеристикам, однако фракционный состав топлив, содержание в них механических примесей и воды в большинстве случаев превышает допустимые значения.

Сельскохозяйственному производству требуется современная экспресс-лаборатория контроля качества товарных, приобретаемых и используемых топлив и масел при условии минимизации затрат на приобретение, трудоёмкость и профессионализм исполнителей, что поможет снизить затраты на ремонт и эксплуатацию тракторов и комбайнов на 25 – 30 %, продлить срок службы дорогостоящей техники на 20 – 25 %.

Большой интерес представляет использование в сельскохозяйственной технике соединений на основе возобновляемого сырья в качестве альтернативного топлива – биотоплива, которое обладает рядом преимуществ перед традиционным нефтяным топливом:

1) Биотопливо имеет лучшие экологические характеристики, чем дизельное топливо. В нем практически отсутствуют серосодержащие соединения и ароматические углеводороды, поэтому при использовании биодизельного топлива отсутствуют выбросы  $SO_2$  и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), канцерогенного бенз(а)пирена, до 80 % становятся меньше выбросы  $CO_2$  [2, 3].

Содержание  $CO$  и  $CH$  при любой нагрузке сокращаются в 2 раза, а дымность практически отсутствует в режиме малой нагрузки и снижается в 2 раза в режиме максимальной нагрузки. Это происходит за счёт кислорода, содержащегося в молекулах биотоплива, которые интенсифицируют процесс сгорания и обеспечивают высокую температуру в цилиндре дизеля, способствуя повышению КПД двигателя [4, 5, 6].

Существенное улучшение экологических характеристик двигателя наблюдается и при использовании смесового дизельного топлива. Например, в случае применения 50 % смесового топлива выбросы сажи сокращаются на 30 – 35 %, а  $CO$  и  $CH$  – на 15 – 30 % [7, 8, 9, 10, 11].

2) Биодизельное топливо, попадая в окружающую среду, очень быстро поддается биологическому разложению: в почве или в воде микроорганизмы в течение 21 дня перерабатывают биодизель на 90 %, а в течение 28 дней – на 99 % [12, 13, 14, 15]. Высокая температура вспышки (120 °С и более) делает биотопливо более безопасным при транспортировке, хранении и использовании [16, 17].

3) Более высокое цетановое число биотоплива улучшает запуск двигателя, обеспечивает его менее «жесткую» работу, а хорошие смазывающие свойства положительно сказываются на ресурсе топливной аппаратуры, ТНВД, форсунок и деталей ЦПГ. Межремонтный срок эксплуатации двигателя, работающего на биодизельном топливе, увеличивается примерно на 50 % [3, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

Вместе с тем, биодизельное топливо обладает и рядом недостатков, осложняющих его использование в дизельных двигателях, в том числе сельскохозяйственной техники. Так, по сравнению с дизельным топливом оно имеет несколько большую плотность и кинематическую вязкость, из-за чего дальнобойность топливного факела и диаметр капель распыляемого топлива могут быть больше вследствие чего, снизится эффективность сгорания и увеличится расход [27, 28, 29, 30, 31].

Меньший коэффициент сжимаемости биотоплива сказывается на величине цикловой подачи и определяет задержку впрыскивания. Для сохранения номинальных параметров двигателя требуется увеличение цикловой подачи топлива [32].

Теплотворная способность биотоплива на 5 – 20 % меньше, чем у дизельного топлива, из-за меньшего количества углерода в молекуле. Это приводит к уменьшению его низшей теплоты сгорания и некоторому увеличению расхода. [29, 33, 34]. Повышенное содержание атомов кислорода, позволяющее интенсифицировать процесс сгорания, приводит к увеличению оксидов азота в отработавших газах [5, 6].

Биодизельное топливо обладает сравнительно низкой окислительной стабильностью, так как содержит непредельные радикалы высших карбоновых кислот, которые могут сравнительно легко окисляться по двойной связи. Следствием этого являются ограниченные сроки хранения в металлических резервуарах (до 6 месяцев), что вызывает необходимость введения антиоксидантов [35].

Биотоплива из определенных видов сырья, например арахисового масла, имеют высокую температуру кристаллизации, что накладывает ограничения на условия их эксплуатации. Использование таких топлив при низких температурах может привести к образованию отложений на фильтрах и в топливопроводах [36, 37].

Особенности строения молекул биодизельного топлива обуславливают его повышенную гидрофильность, по сравнению с углеводородным топливом. Необходим контроль содержания воды для предотвращения её коррозионного воздействия на элементы топливной аппаратуры, развития микроорганизмов и образования гидроперекисей [38, 39].

При организации хранения и использования биодизельного топлива не рекомендуется применять каучуковые и натуральные резиновые материалы из-за их разбухания при контакте с ним, поэтому детали уплотнений, шланги и рукава следует изготавливать из материалов, хорошо совместимых с биотопливом [40, 41, 42, 42].

В целом, можно выделить два основных подхода к решению указанных проблем.

1) Нивелирование недостатков эксплуатационных характеристик биодизельного топлива за счет применения смесевых дизельных топлив с содержанием биоконпонента до 20 %. В этом случае недостатки биодизельного топлива не будут оказывать существенного влияния на работу машинно-тракторных агрегатов, а повышение цетанового числа и смазывающей способности даже глубоко обессеренного топлива и заметное снижение содержания в выбросах вредных веществ благоприятно скажутся на их сроке службы и экологической обстановке при выращивании продовольственной продукции.

2) Получение биодизельного топлива с улучшенными эксплуатационными характеристиками. В этом случае существенное влияние на качество конечного продукта оказывает технология получения, однако жирнокислотный состав используемого сырья оказывает определяющее воздействие на его эксплуатационные характеристики и стоимость. Необходимы дальнейшие

поиски дешевых сырьевых источников, характеризующихся оптимальным химическим составом, и разработка простых и экономичных технологий их переработки.

В рамках каждого из этих подходов в ФГБНУ ВНИИТиН предложены свои решения. Разработаны и совершенствуются технологии получения биодизельного топлива из различных видов сырья, в первую очередь непищевых продуктов – некондиционных растительных масел и твердых жиров. Создано соответствующее аппаратное оформление, например, опытно-промышленная установка получения биодизельного топлива УБТРМ–600, в основе которой лежит специальный вихревой реактор, позволяющий существенно улучшить перемешивание реакционных фаз и сократить время синтеза.

Разработан и испытан модульный смеситель-активатор жидких сред, который может быть использован, в том числе, и для приготовления смесового топлива. За счет обеспечиваемого смесителем-активатором механического, гидродинамического, ультразвукового и электромагнитного воздействия эфирная фаза и нефтяное топливо интенсивно перемешиваются с быстрой гомогенизацией смеси и равномерным распределением компонентов смесового топлива.

Важной проблемой в сельскохозяйственном производстве остаётся использование отработанных моторных масел. Изменился и состав сливаемых масел. Если раньше преобладали масла минерального происхождения, то в настоящее время это смесь синтетического и минерального масел, технических охлаждающих жидкостей, промывочных жидкостей, дизельного топлива. Данный состав практически не поддаётся разделению. Смесь мало горюча.

В 60 – 70 годы отработанные масла либо сдавали на централизованные пункты, либо использовали в качестве гидравлических масел. В настоящее время имеют место центры сбора отработанных нефтепродуктов, но получаемый продукт представляет собой в лучшем случае аналог печного топлива или масляную основу используемую в ограниченных количествах и широко не востребованную.

Наиболее значимых результатов получения вторичных продуктов из отработанных масел в АПК достиг ФГБНУ ВНИИТиН в связи с разработкой новых способов очистки отработанных минеральных и синтетических моторных масел и их смесей. Получены положительные результаты использования очищенного осветлённого масла как основы для вторичным масел и смазок. В частности разработаны и проходят производственную проверку технологии получения промывочных масел для систем смазки дизельных двигателей тракторов в период проведения очередной операции технического обслуживания. Разработано простейшее оборудование для очистки, адаптированное к условиям АПК. В процессе очистки используются специальные недорогостоящие реагенты, а моющие свойства очищенного масла повышается добавками отходов химических производств. По физико-химическим характеристикам получаемые промывочные масла мало уступают известным отечественным брендам.

**Заключение.** Таким образом, повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники в современных условиях возможно за счёт поиска и разработки новых методов и средств. Внедрение контроля качества как приобретаемых, так и используемых топлив и масел, позволит сельскому товаропроизводителю снизить затраты на производство продукции на 15 – 20 %, увеличить надёжность работы отечественных и зарубежных машин. Использование смесового моторного топлива в сельскохозяйственных предприятиях не только может обеспечить утилизацию отходов производства и переработки биомассы, в частности некондиционных (прогорклых) семян и масел, твердых жиров, но и позволит повысить качество и экологичность применяемого моторного топлива, снизить вредное воздействие продуктов сгорания на окружающую среду с целью развития современного высокопродуктивного сельского хозяйства и устойчивого развития сельскохозяйственных регионов.

#### Список источников

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник под. Ред. В.М. Школьникова. М.: «Техинформ». 1999. 319 с.

2. Sadeghinezhad, E. A comprehensive review of bio-diesel as alternative fuel for compression ignition engines / E. Sadeghinezhad, S.N. Kazi, A. Badarudin, C.S. Oon // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2013. – № 28. P. 410-424.
3. Нагорнов, С.А. Эфирная композиция для улучшения свойств дизельного топлива / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова // *Наука в центральной России*. – 2013. – № 2. – С. 35-43.
4. Романцова С.В., Пашинин В.А. Композитное биотопливо для дизельных двигателей // *Современные научные исследования и инновации*. 2012. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2012/03/10917> (дата обращения: 14.05.2024).
5. Попов, К. С. Исследование эффективности использования биотоплива в дизельных двигателях / К.С. Попов, А.Ф. Юнусов, Р.Р. Кашапов, В.Н. Никишин. // *Актуальные вопросы технических наук: материалы III Междунар. науч. конф.* (г. Пермь, апрель 2015 г.). – Пермь: Зебра. – 2015. – С. 97-99.
6. Helwani, Z. Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review / Z. Helwani, M. Othman, N. Aziz, W. Fernando, J. Kim // *Fuel Processing Technology*. – 2009. – № 90. P. 1502-1514.
7. Гафуров, Н.М. Основные направления альтернативной энергетики / Н.М. Гафуров, Б.Р. Хакимуллин, И.З. Багаутдинов // *Инновационная наука*. – 2016. – № 4-3. – С. 74-76.
8. Шапко, В.Ф. Экологические показатели дизельных двигателей с разными условиями смесеобразования при работе на биодизельном топливе / В.Ф. Шапко, С.М. Черненко, А.И. Атамась, А.Ю. Горпинченко // *Новые материалы и технологии в машиностроении*. – 2011. – № 13. – С. 150-153.
9. Ерохин, М.Н. Экологическая безопасность применения биотоплив в дизелях / М.Н. Ерохин, С.Н. Девянин, В.Л. Чумаков, К.А. Малашенков // *Вестник ОрелГАУ*. – 2008. – № 5(86). – С. 27-29.
10. Васильев, И.П. Экологически чистые направления получения и использования топлив растительного происхождения в двигателях внутреннего сгорания / И.П. Васильев // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 2005. – №1. – С. 8-12.
11. Кадиата Ч.Э. Использование дизельного топлива с добавлением пальмового масла мобильными транспортно-технологическими средствами сельскохозяйственного производства. Специальность: 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Рязань – 2020.
12. Мироненко, В. Технологии производства биодизеля / В. Мироненко, В.О Дубровин, В.М. Полищук, С.В. Драгнев. – М.: Холтех, 2009. – 100 с.
13. Полищук, В.Н. Применение биотоплива для дизельных двигателей / В.М. Полищук, С.В. Драгнев, И.И. Убоженко, М.Ю. Павленко, О.В. Полищук // *Научный вестник национального аграрного университета*. – К.: НАУ. – 2008. – № 125. – С.315-318.
14. Knothe, G. *The Biodiesel Handbook* / G. Knothe, J.V. Gerpen, J. Krahl. – Illinois: AOCS Press, 2005. – 302 p.
15. Kocar, G. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. / Kocar G., N. Civas // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2013. – № 28. – P. 900-916.
16. Demirbas, A. Biofuels securing the planet's future energy needs / A. Demirbas // *Energy Conversion and Management*. – 2009. – № 50. P. 2239-2249.
17. Huang, G. Biodiesel production by microalgae biotechnology / G. Huang, F. Chen, D. Wei, X. Zhang, G. Chen // *Applied Energy*. – 2010. – № 87. P. 38-46.
18. Гафуров, Н.М. Преимущества биодизельного топлива / Н.М. Гафуров, Р.Ф. Хисматуллин // *Инновационная наука*. – 2016. – № 5. – С. 72-74.
19. Звонов, В.А. Методика оценки эффективности применения альтернативных топлив на автотранспорте в полном жизненном цикле / В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // *Сб. науч. тр. Моск. семинара по газохимии 2004-2005*. – М.: Нефть и газ. – 2006. – С. 114-129.
20. Vellguth G. Eignung von Pflanzenolen und Pflanzenolderivaten als Kraftstoff fur Dieselmotoren / G. Vellguth // *Grundlagen der Landtechnik*. – 1982. – Jg.32. – № 5. – S. 177-186.

21. Бганцев В.Н. Оценка чувствительности биодизельного топлива к магнитной обработке по изменению цетанового числа / В.Н. Бганцев // Автомобильный транспорт (Харьков, ХНАДУ). – 2008. Вып. 23. – С. 140-141.
22. Митусова, Т.Н. Современные дизельные топлива и присадки к ним / Т.Н. Митусова, Е.В. Полина, М.В. Калинина. – М.: Техника, ООО «Тума Групп», 2002. – 64 с.
23. Таманджа, И. Перспективы и обоснование использования биодизеля в судовых дизельных установках / И. Таманджа, Н.Н. Шуйтасов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 158-166.
24. Бердиев, Н.Ш. Биодизель – альтернативный источник энергии / Н.Ш. Бердиев, Ж.Ф. Зиявитдинов, Ш.Ж. Фазлиддинов, Ш.Т.У. Саъдуллаев, С.Г. Шеримбетов // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн., 2019. – № 6 (60). – С. 21-26.
25. Досказиева, Н.К. Использование отходов производства растительных масел для получения компонентов биодизеля / Н.К. Досказиева, Л.И. Байтлесова // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 14. – № 1. – С. 254-257.
26. Agarwal A.K. Effect of Biodiesel Utilization of Wear of Vital Parts in Compression Ignition Engine / A.K. Agarwal, J. Bijwe, L.M. Das // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125. – № 2. – P. 604-611.
27. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2009. – 11с.
28. ГОСТ Р 52368-2005. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2007 – 30 с.
29. Хуе, J. Effect of biodiesel on engine performance and emissions / J. Хуе, Т. Grift, А. Hansen // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – № 15. – P. 1098-1116.
30. ГОСТР 53605— 2009 (ЕН 14214:2003) Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования – М.: Стандартиформ, 2019. – 15с.
31. Низамов, А. А. Влияние физико-химических свойств биотоплива на работу дизельных двигателей / А. А. Низамов, О. Н. Рожко // Международная молодежная научная конференция "XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых)" : Материалы конференции, Казань, 19–21 октября 2015 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский национальный исследовательский технический университет им. АН. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). Том 2. – Казань: ООО "Издательство Фолиант", 2015. – С. 431-437.
32. Аблаев, А.Р. Производство и применение биодизеля: справочное пособие / А. Аблаев – М.: АПК и ППРО, 2006. – 80 с.
33. Марков, В.А. Метилловый эфир рапсового масла как дизельное топливо / В.А. Марков, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, В.В. Неверова, Са Бовэнь // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6 (60). С. 17-30.
34. Oner, C. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine / C. Oner, S. Altun // Applied Energy. – 2009. – № 86. – P. 2114-2120.
35. Ryu, K. The characteristics of performance and exhaust emissions of a diesel engine using a biodiesel with antioxidants / K. Ryu // Bioresource Technology. – 2010. № 101. – P. 578-582.
36. Ramos, M. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties / M.Ramos, C. Fernandez, A. Casas, L. Rodriguez, A. Perez // Bioresource Technology. – 2009. – № 100. – P. 261-268.
37. Кучкина, А. Ю. Источники сырья, методы и перспективы получения биодизельного топлива / А. Ю. Кучкина, Н. Н. Сущик // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. – 2014. – Т. 7, № 1. – С. 14-42.
38. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В., Ликсутина А.П., Бусин И.В. Гидрофильность метиловых эфиров растительных масел / В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития АПК. Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН. 2020. С. 210-213.

39. Романцова, С. В. Организация хранения современных топлив на сельскохозяйственных нефтескладах / С. В. Романцова, С. А. Нагорнов // Наука в центральной России. – 2013. – № 2. – С. 43-49.
40. Беренблум, А.С. Получение моторных топлив из непищевых растительных масел и жиров / А.С. Беренблум, В.Я. Данюшевский, Е.А. Кацман, Т.А. Подоплелова, В.Р. Флид // Нефтехимия. – 2010. Т. 50. – № 4. – С. 317-323.
41. Систер, В.Г. Способы стабилизации биодизельного топлива при хранении / В.Г. Систер, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, С.В. Бодягина // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 7. – С. 76-81
42. Нагорнов, С.А. Обеспечение качества топлив при хранении / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, О.В. Викулин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 5. – С. 6-8.
43. Нагорнов, С. А. Технология хранения биодизельного топлива / С. А. Нагорнов, С. В. Романцова // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : Материалы Международной научно-практической конференции. В 3-х томах, Минск, 19–20 октября 2011 года / Редколлегия: П.П. Казакевич (гл. ред.), ОО. Дударев. Том 3. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2011. – С. 81-86.

#### References

1. Fuels, lubricants, technical fluids. Range and application. Directory under. Ed. V.M. Shkolnikova. M.: "Techinform". 1999. 319 p.
2. Sadeghinezhad, E. A comprehensive review of bio-diesel as an alternative fuel for compression ignition engines / E. Sadeghinezhad, S.N. Kazi, A. Badarudin, C.S. Oon // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – No. 28. R. 410-424.
3. Nagornov, S.A. Essential composition for improving the properties of diesel fuel / S.A. Nagornov, S.V. Romantsova // Science in Central Russia. - 2013. – No. 2. – pp. 35-43.
4. Romantsova S.V., Pashinin V.A. Composite biofuels for diesel engines // Modern scientific research and innovation. 2012. No. 3 [Electronic resource]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2012/03/10917> (date of application: 05/14/2024).
5. Popov, K.S. Study of the efficiency of using biofuel in diesel engines / K.S. Popov, A.F. Yunusov, R.R. Kashapov, V.N. Nikishin. // Current issues of technical sciences: materials of the III International scientific conf. (Perm, April 2015). – Perm: Zebra. – 2015. – P. 97-99.
6. Helwani, Z. Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review / Z. Helwani, M. Othman, N. Aziz, W. Fernando, J. Kim // Fuel Processing Technology. – 2009. – No. 90. R. 1502-1514.
7. Gafurov, N.M. Main directions of alternative energy / N.M. Gafurov, B.R. Khakimullin, I.Z. Bagautdinov // Innovative science. – 2016. – No. 4-3. – pp. 74-76.
8. Shapko, V.F. Environmental performance of diesel engines with different mixture formation conditions when operating on biodiesel fuel / V.F. Shapko, S.M. Chernenko, A.I. Atamas, A.Yu. Gorpinchenko // New materials and technologies in mechanical engineering. – 2011. – No. 13. – P. 150-153.
9. Erokhin, M.N. Environmental safety of using biofuels in diesel engines / M.N. Erokhin, S.N. Devyanin, V.L. Chumakov, K.A. Malashenkov // Bulletin of OrelGAU. – 2008. – No. 5(86). – pp. 27-29.
10. Vasiliev, I.P. Environmentally friendly directions for obtaining and using fuels of plant origin in internal combustion engines / I.P. Vasiliev // Ecotechnologies and resource saving. – 2005. – No. 1. – P. 8-12.
11. Kadiata C.E. The use of diesel fuel with the addition of palm oil by mobile transport and technological means of agricultural production. Specialty: 05.20.01 - Technologies and means of mechanization of agriculture. The author's abstract. diss. for the degree of Candidate of Technical Sciences. Ryazan – 2020.
12. Mironenko, V. Biodiesel production technologies / V. Mironenko, V.O. Dubrovin, V.M. Popishchuk, S.V. Dragnev. – M.: Holtech, 2009. – 100 p.

13. Polishchuk, V.N. Application of biofuels for diesel engines / V.M. Polishchuk, S.V. Dragnev, I.I. Ubozhenko, M.Y. Pavlenko, O.V. Polishchuk // Scientific bulletin of the National Agrarian University. – K.: NAU. – 2008. – No. 125. – pp.315-318.
14. Knothe, G. The Biodiesel Handbook / G. Knothe, J.V. Gerpen, J. Krahl. – Illinois: AOCS Press, 2005. – 302 p.
15. Kocar, G. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. / Kocar G., N. Civas // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – № 28. – P. 900-916.
16. Demirbas, A. Biofuels securing the planet's future energy needs / A. Demirbas // Energy Conversion and Management. – 2009. – No. 50. R. 2239-2249.
17. Huang, G. Biodiesel production by microalgae biotechnology / G. Huang, F. Chen, D. Wei, X. Zhang, G. Chen // Applied Energy. – 2010. – No. 87. R. 38-46.
18. Gafurov, N.M. Advantages of biodiesel fuel / N.M. Gafurov, R.F. Khismatullin // Innovative science. – 2016. – No. 5. – P. 72-74.
19. Zvonov, V.A. Methodology for assessing the effectiveness of using alternative fuels in vehicles in the full life cycle / V.A. Zvonov, A.V. Kozlov, A.S. Terenchenko // Sat. scientific tr. Moscow seminar on gas chemistry 2004-2005. – M.: Oil and gas. – 2006. – P. 114-129.
20. Vellguth G. Eignung von Pflanzenolen und Pflanzenolderivaten als Kraftstoff fur Dieselmotoren / G. Vellguth // Grundlagen der Landtechnik. – 1982. – Jg.32. – No. 5. – S. 177-186.
21. Bgantsev V.N. Assessing the sensitivity of biodiesel fuel to magnetic treatment based on changes in cetane number / V.N. Bgantsev // Automobile transport (Kharkov, KhNADU). – 2008. Issue. 23. – pp. 140-141.
22. Mitusova, T.N. Modern diesel fuels and additives for them / T.N. Mitusova, E.V. Polina, M.V. Kalinina. – M.: Tekhnika, Tuma Group LLC, 2002. – 64 p.
23. Tamanja, I. Prospects and justification for the use of biodiesel in marine diesel installations / I. Tamanja, N.N. Shuitasov // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technology. – 2010. – No. 1. – P. 158-166.
24. Berdiev, N.Sh. Biodiesel - an alternative source of energy / N.Sh. Berdiev, Zh.F. Ziyavitdinov, Sh.Zh. Fazliddinov, Sh.T.U. Sadullaev, S.G. Sherimbetov // Universum: chemistry and biology: electron. scientific zhur., 2019. – No. 6 (60). – pp. 21-26.
25. Doskazieva, N.K. Using waste from the production of vegetable oils to obtain biodiesel components / N.K. Doskazieva, L.I. Baytlesova // Oil and gas business. – 2016. – T. 14. – No. 1. – P. 254-257.
26. Agarwal A.K. Effect of Biodiesel Utilization of Wear of Vital Parts in Compression Ignition Engine / A.K. Agarwal, J. Bijwe, L.M. Das // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125. – No. 2. – P. 604-611.
27. GOST 305-82. Diesel fuel. Technical conditions. – M.: Standartinform, 2009. – 11 p.
28. GOST R 52368-2005. EURO diesel fuel. Technical conditions. – M.: Standards Publishing House, 2007 – 30 p.
29. Xue, J. Effect of biodiesel on engine performance and emissions / J. Xue, T. Grift, A. Hansen // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – No. 15. – R. 1098-1116.
30. GOSTR 53605— 2009 (EN 14214:2003) Fuel for internal combustion engines. Methyl esters of fatty acids (FAME) for diesel engines. General technical requirements – M.: Standartinform, 2019. – 15c.
31. Nizamov, A. A. The influence of physico-chemical properties of biofuels on the operation of diesel engines / A. A. Nizamov, O. N. Rozhko // International Youth Scientific Conference "XXII Tupolev Readings (School of Young Scientists)" : Conference proceedings, Kazan, October 19-21, 2015 / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Russian Foundation for Basic Research, Kazan National Research Technical University named after Anton Tupolev-KAI (KNITU-KAI). Volume 2. – Kazan: Foliant Publishing House LLC, 2015. – pp. 431-437.
32. Ablaev, A.R. Production and application of biodiesel: a reference guide / A. Ablaev – M.: APK and PPRO, 2006. – 80 p.
33. Markov, V.A. Methyl ether of rapeseed oil as diesel fuel / V.A. Markov, S.A. Nagornov, S.V. Romantsova, V.V. Neverova, Sa Boven // Transport on alternative fuels. – 2017. – № 6 (60). Pp. 17-30.

34. Oner, C. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as an alternative fuel in a direct injection diesel engine / C. Oner, S. Altun // *Applied Energy*. – 2009. – No. 86. – R. 2114-2120.
35. Ryu, K. The characteristics of performance and exhaust emissions of a diesel engine using a biodiesel with antioxidants / K. Ryu // *Bioresource Technology*. – 2010. No. 101. – R. 578-582.
36. Ramos, M. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties / M. Ramos, S. Fernandez, A. Casas, L. Rodriguez, A. Perez // *Bioresource Technology*. – 2009. – No. 100. – R. 261-268.
37. Kuchkina, A. Yu. Sources of raw materials, methods and prospects for obtaining biodiesel fuel / A. Yu. Kuchkina, N. N. Suschik // *Journal of the Siberian Federal University. Series: Biology*. - 2014. – Vol. 7, No. 1. – pp. 14-42.
38. Nagornov S.A., Kornev A.Yu., Romantsova S.V., Liksutina A.P., Busin I.V. Hydrophilicity of methyl esters of vegetable oils / In the collection: Problems and prospects of innovative development of agroindustrial complex. Collection of scientific reports of the International scientific and practical Conference dedicated to the 40th anniversary of the Federal State Budgetary Educational Institution VNIITiN. 2020. pp. 210-213.
39. Romantsova, S. V. Organization of storage of modern fuels in agricultural oil deposits / S. V. Romantsova, S. A. Nagornov // *Science in Central Russia*. - 2013. – No. 2. – pp. 43-49.
40. Berenblum, A.S. Obtaining motor fuels from non-edible vegetable oils and fats / A.S. Berenblum, V.Ya. Danyushevsky, E.A. Katsman, T.A. Podoplelova, V.R. Flid // *Petrochemistry*. – 2010. Vol. 50. – No. 4. – pp. 317-323.
41. Sister, V.G. Methods of stabilization of biodiesel fuel during storage / V.G. Sister, S.A. Nagornov, S.V. Romantsova, S.V. Bodyagina // *Alternative energy and ecology*. - 2010. – No. 7. – pp. 76-81
42. Nagornov, S.A. Ensuring the quality of fuels during storage / S.A. Nagornov, S.V. Romantsova, O.V. Vikulin // *Mechanization and electrification of agriculture*. - 2010. – No. 5. – pp. 6-8.
43. Nagornov, S. A. Technology of biodiesel fuel storage / S. A. Nagornov, S. V. Romantsova // *Scientific and technical progress in agricultural production : Materials of the International scientific and practical conference*. In 3 volumes, Minsk, October 19-20, 2011 / Editorial Board: P.P. Kazakevich (chief editor), O. Dudarev. Volume 3. – Minsk: Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization", 2011. – pp. 81-86.

#### **Информация об авторах**

В.В. Остриков – доктор технических наук, профессор; А.Ю. Корнев – кандидат технических наук; А.В. Кошелев – младший научный сотрудник.

#### **Information about the authors**

V. Ostrikov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Kornev – Candidate of technical Sciences; A. Koshelev – junior researcher.

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

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

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

***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 22.04.2024

Принята к публикации (Accepted): 12.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 621.899  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-131-140

## ПРОМЫВКА СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАШИНЫ И СРОК СЛУЖБЫ СВЕЖЕЗАПРАВЛЕННОГО МОТОРНОГО МАСЛА

*Александр Викторович Кошелев*<sup>1</sup>, *Алла Владимировна Забродская*<sup>2</sup>,  
*Виктор Сергеевич Вязинкин*<sup>3</sup>, *Раззак Муатаз Мохаммед Али Раззак*<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*

<sup>1</sup> viitinlab8@bk.ru

<sup>4</sup> *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация*

<sup>2</sup> dar-alsaadi@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Викторович Кошелев, viitinlab8@bk.ru  
Corresponding author: Alexander Koshelev, viitinlab8@bk.ru

**Реферат.** В работе представлены результаты исследований по оценке влияния операции промывки системы смазки двигателей тракторов на некоторые технические характеристики машины и срок службы свежезаправленного масла. Установлено, что в процессе наработки в масле накапливаются загрязнения, которые постепенно, несмотря на работу устройств очистки масла накапливаются в масляных каналах и на днище поддона картера. Представлена зависимость изменения содержания механических примесей, нерастворимого осадка и цвета за период наработки более 200 часов. Загрязнения снижают эффективность действия присадок, увеличивают кислотное число масла, что интенсифицирует износ деталей, увеличивает затраты на эксплуатацию и ремонт. Показано, что за период наработки масла 240 часов в двигателе трактора щелочное число снижается с 8,5 мг КОН/г до 4,0 мг КОН/г, а кислотное число увеличивается с 2,0 мг КОН/г до 2,5 мг КОН/г у масла М-10ДМ при работе двигателя даже без высоких нагрузок. Представлена хроматограмма изменения цвета масляного пятна на фильтровальной бумаге, как экспресс – метод, подтверждающий загрязненность масла и в некоторых случаях являющийся упрощённым методом анализа качества масла и показывающий необходимость его замены и промывки системы смазки. В сравнительном режиме показано, что промывка системы смазки после слива отработанного масла значительно влияет на динамику загрязненности свежезаправленного масла. Представлены зависимости изменения содержания загрязнений и цвета масла от наработки в двигателе после его промывки промывочным маслом «Лукойл». Показана зависимость изменения щелочного и кислотного числа. Испытания проводились на двух тракторах марки МТЗ-82 практически одинакового технического состояния. В целом определено, что проведение операции промывки системы смазки при замене отработанного масла на свежее позволяет увеличить компрессию в цилиндрах на 10 – 15 процентов, снизить расход топлива на 5...8 %, увеличить срок службы масла до замены на 15...20 процентов.

**Ключевые слова:** моторное масло, загрязнения, двигатель, техническое состояние, срок службы, промывочное масло, система смазки.

## FLUSHING OF THE TRACTOR ENGINE LUBRICATION SYSTEM AND ITS EFFECT ON THE TECHNICAL CONDITION OF THE MACHINE AND THE SERVICE LIFE OF FRESHLY REFUELED ENGINE OIL

*Alexander Koshelev*<sup>1</sup>, *Alla Zabrodskaya*<sup>2</sup>, *Viktor Vyazinkin*<sup>3</sup>,  
*Razzaq Muataz Mohammed Ali Razzaq*<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,  
Tambov, Russian Federation

<sup>1</sup> viitinlab8@bk.ru

Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation

<sup>2</sup> dar-alsaadi@mail.ru

**Abstract.** The results of studies to assess the influence of the operation of flushing the lubrication system of tractor engines on some technical characteristics of the machine and the service life of freshly filled oil are presented in the work. It has been established that during the operating process, contaminants accumulate in the oil, which gradually, despite the operation of oil purification devices, accumulate in the oil channels and on the bottom of the oil pan. The dependence of the change in the content of mechanical impurities, insoluble sediment and color over an operating period of more than 200 hours is presented. Contamination reduces the effectiveness of additives, increases the acid number of the oil, which intensifies wear of parts, increases operating and repair costs. It has been shown that over a period of 240 hours of oil running in a tractor engine, the alkaline number decreases from 8.5 mg KOH/g to 4.0 mg KOH/g, and the acid number increases from 2.0 mg KOH/g to 2.5 mg KOH /g for M-10DM oil when the engine is running even without high loads. The chromatogram of the color change of an oil stain on filter paper is presented as an express method that confirms the contamination of the oil and, in some cases, is a simplified method for analyzing the quality of the oil and showing the need to replace it and flush the lubrication system. In a comparative mode, it is shown that flushing the lubrication system after draining the used oil significantly affects the dynamics of contamination of freshly filled oil. The dependences of changes in the content of contaminants and oil color on the operating time in the engine after flushing it with Lukoil flushing oil are presented. The dependence of changes in alkaline and acid numbers is shown. The tests were carried out on two MTZ-82 tractors of almost identical technical condition. In general, it has been determined that carrying out the operation of flushing the lubrication system when replacing used oil with fresh oil can increase compression in the cylinders by 10–15 percent, reduce fuel consumption by 5...8%, and increase the service life of the oil before replacement by 15...20 percent.

**Keywords:** engine oil, contamination, engine, technical condition, service life, flushing oil, lubrication system.

**Для цитирования:** Кошелев А.В., Забродская А.В., Вязинкин В.С., Раззак М.М.А.Р. Промывка системы смазки двигателей тракторов и её влияние на техническое состояние машины и срок службы свежезаправленного моторного масла // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 131-140. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-131-140>.

**For citation:** Koshelev A., Zabrodskaya A., Vyazinkin V., Razzaq M.M.A.R. Flushing of the tractor engine lubrication system and its effect on the technical condition of the machine and the service life of freshly refueled engine oil. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 131-140. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-131-140>.

**Введение.** В процессе работы тракторов под воздействием высоких температур, нагрузок и в зависимости от срока службы масла в нем накапливаются продукты окисления, смолы, механические примеси. Их количество за период наработки двигателя внутреннего сгорания может варьировать от 1,0 до 1,5 % и более [1,2,3].

Важную роль в формировании и образовании загрязнений имеют также качество используемых топлив и масел, техническое состояние двигателя – износ, эффективность работы встроенных в систему смазки средств фильтрации.

В соответствии с принятой ещё в 50-х годах системой обязательного технического обслуживания при выполнении операций после слива отработанного масла необходимо промыть систему смазки и заменить масляной фильтр или очистить центрифугу. В реальных условиях эксплуатации в 90 % случаев после слива отработанного масла осуществляется замена фильтрующих элементов и проводится заправка свежего масла в картер двигателя трактора [4].

В различных источниках и результатах исследований указывается, что после слива отработанного масла 5 – 10 % его остаётся в системе смазки тракторного двигателя [5,6]. В системе смазки после слива отработанного масла чаще всего остаются высоковязкие, малотекущие загрязнения, смолистые отложения, часть механических примесей [7,8].

При смешивании со свежезаправленным маслом большая их часть перемешивается с маслом и по заявлениям инженерно – технических специалистов, занятых эксплуатацией техники, не оказывает значительного влияния не на износ двигателя, не на свойства масла [9, 10].

Ко всему прочему признак быстрого потемнения моторного свежезаправленного масла через 5 – 10 часов работы двигателя характеризуется высокими моющими свойствами товарных масел М-10Г<sub>2</sub> и М-10ДМ.

Отказ от выполнения операции промывки системы смазки после слива отработанного масла объясняется и объективной причиной значительного увеличения затрат на проведение операции технического обслуживания. В картер двигателя тракторов может помещаться от 15 до 40 и более литров масла, а с учётом высокой цены промывочных масел это может составлять от 1 до 10 тысяч рублей. Другим немаловажным фактором, влияющим на отказ от операции промывки являются высокие моющие свойства современных моторных масел, обеспечивающие по заявлениям разработчиков минимальное количество отложений и загрязнений как в картере, так и в масляных каналах.

**Целью данных исследований** является анализ эффективности современных масел (М-10ДМ), конструкции системы фильтрации на образование загрязнений в двигателях тракторов и оценка влияния остаточного количества масла на срок службы свежезаправленного масла.

#### **Методика проведения исследований.**

В качестве объекта исследований рассматривается процесс изменения свойств масел, а в качестве предмета исследований закономерности изменения характеристик масел без промывки системы смазки и с промывкой.

Исследования проводились в реальных условиях эксплуатации на примере двух тракторов марки МТЗ-82. В качестве исследуемого моторного масла применялось масло М-10ДМ с характеристиками, соответствующими требованиям ГОСТ на данное масло.

В качестве промывочного масла использовался продукт, выпускаемый крупным производителем – компанией «Лукойл». Перед началом испытаний проводился осмотр и анализ технического состояния двигателя – средний расход топлива, давление в системе смазки, температура охлаждающей жидкости.

С картеров двигателей тракторов сливалось отработанное моторное масло (М-10ДМ) после наработки 300 моточасов.

В первом тракторе после слива отработанного моторного масла проводилась очистка центрифуги от загрязнений и установка её на штатное место двигателя. Далее в систему смазки через заливную горловину заправлялось промывочное масло «Лукойл». Двигатель запускался и работал на холостом ходу 20 минут. После чего промывочное масло сливалось, проводились профилактические мероприятия по очистке центрифуг, и в картер двигателя заправлялось товарное масло М-10ДМ.

Обе машины направлялись на выполнение сельскохозяйственных работ (90 % аналогичных). Через каждые 20 часов работы из картеров двигателей посредством шупа извлекалась проба масла, после чего проводился анализ содержания механических примесей, нерастворимого осадка и щелочного числа. Одновременно с этим на фильтровальную бумагу «белая лента» наносилась капельная проба масла для проведения хроматограммного экспресс – анализа загрязнённости и изменения цвета масляного пятна. В течение всего периода наработки контролировалось давление масла в системе смазки и температура охлаждающей жидкости. Испытания проводились на дизельном топливе компании «Роснефть» по фракционному составу, вязкости, зольности, серы, содержанию фактических смол, цетановому числу и температуре вспышки, соответствующие требованиям Евро – 5.

#### **Результаты и их обсуждение.**

В таблице 1 представлены физико – химические характеристики масла и топлива.

Таблица 1 - Характеристики товарного масла и топлива, используемые при испытании проб масел

Дизельное топливо	Моторное масло М-10ДМ
Цетановое число – 49	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с – 12,5
Фракционный состав: перегоняется при температуре, °С	Щелочное число, мг КОН/г – 8,6
50 % - 280	Кислотное число, мг КОН/г – 2,0
96 % - 360	Температура вспышки, °С - 220
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с – 4,1	Содержание нерастворимого осадка, % - отс
Температура вспышки, °С – 43	Содержание воды, % - отс
Массовая доля серы меркаптановой, % - 0,015	Зольность сульфатная, % - 1,5
Зольность сульфатная, % - 0,1	Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ – 3,5
Содержание механических примесей, % - отс	
Содержание воды, % - отс	

В результате исследований, анализа и наблюдений по трактору № 1, где не проводилась промывка системы смазки, установлено, что уже после первых 20 часов работы двигателя масло потемнело и имело цвет – 6 баллов в единицах ЦНТ. Далее этот показатель изменялся практически с известной закономерностью, рисунок 1.

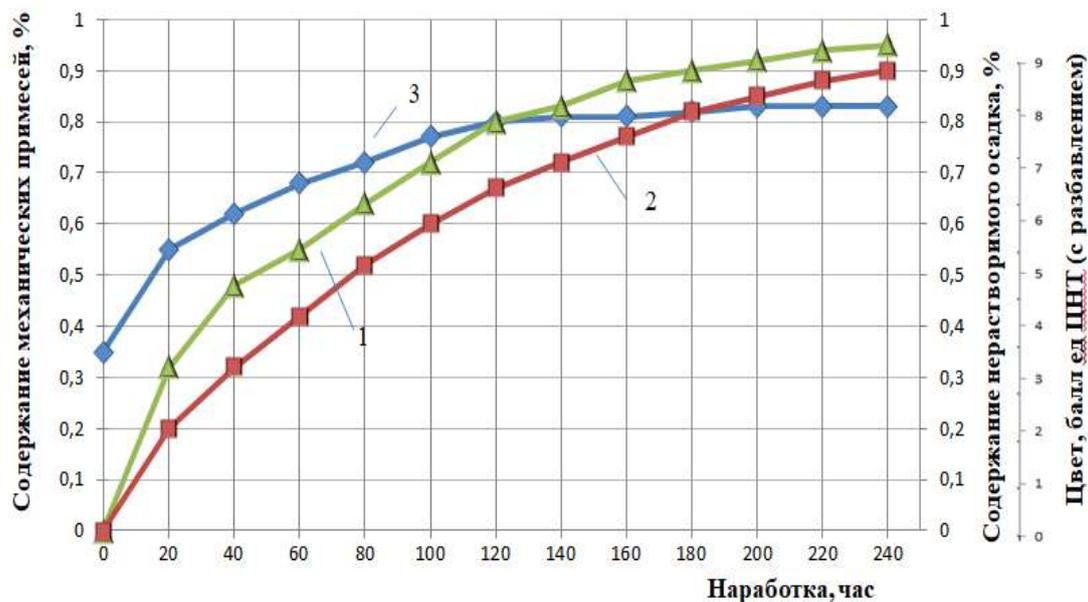


Рисунок 1 - Зависимость изменения содержания механических примесей (1), нерастворимого осадка (2) и цвета (3) от наработки

Изменение цвета (3) связано со значительным остаточным количеством загрязнений в системе смазки и высокими моющими свойствами масла М-10ДМ.

Содержание механических примесей также является следствием оставшихся в масле примесей, вероятно находившихся на дне масляного картера после его слива, и не достаточно эффективно работающей системе фильтрации масла по данному показателю. Содержание механических примесей к 200 часам наработки достигло практически браковочного значения, и рассматривается возможность замены масла. При проведении исследований не определялся дисперсный состав примесей и элементный состав (железо, алюминий).

Анализируя изменение содержания нерастворимого осадка отмечено, что его динамика и значение практически аналогичны механическим примесям и также имело показатель, близкий к

браковочному (возможно также сказались высокие моющие свойства масла М-10ДМ).

При этом следует отметить, что увеличение этих двух показателей (1) и (2) отрицательно влияют на износ деталей ЦПГ, дальнейший рост отложений, загрязнений в камере и масляных каналах, а также на поверхности юбки поршней.

От накопления в масле смол продуктов окисления снижается, как известно, и действие присадок в моторном масле. Практические растворенные продукты окисления и смолы в масле обволакивают, препятствуют действию моющих, противоизносных присадок. На рисунке 2 представлены зависимости изменения щелочного и кислотного числа моторного масла от наработки масла М-10ДМ в системе трактора № 1, где операция промывки не проводилась.

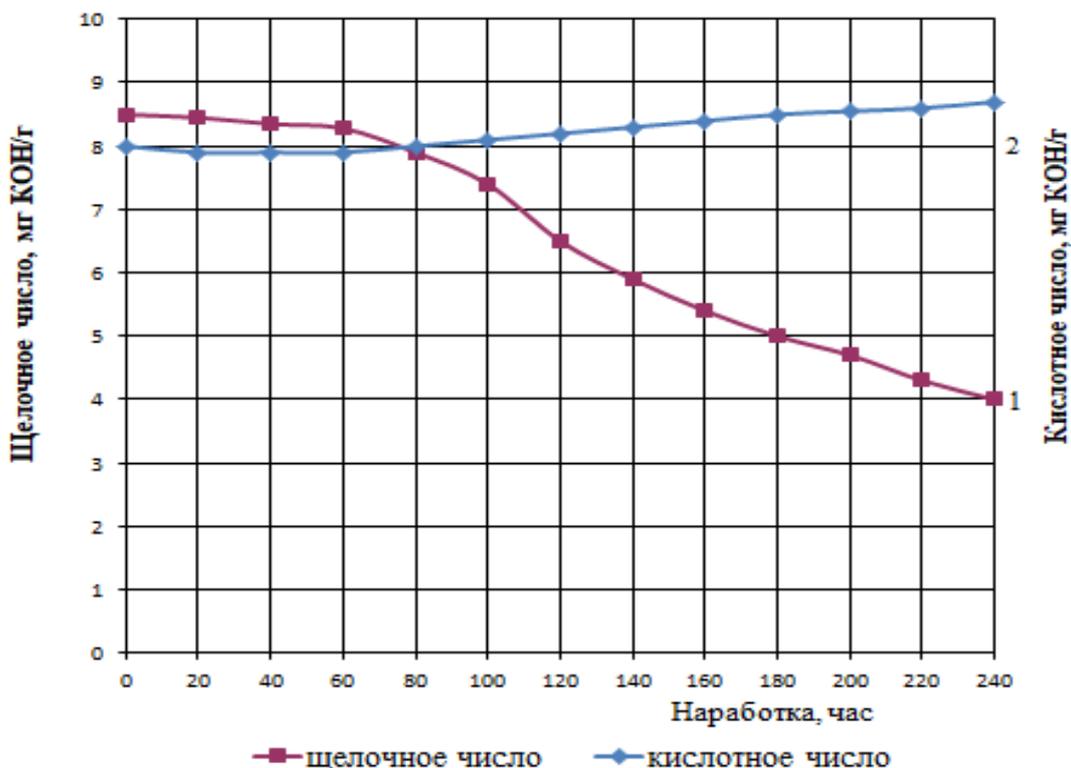


Рисунок 2 – Зависимость изменения щелочного и кислотного числа масла моторного М-10ДМ от наработки

Анализируя полученные данные следует подтвердить гипотезу о снижении эффективности действия присадок в масле в силу высокой загрязнённости масла несмотря на то, что к наработке 240 часов масло сохранило определённый запас эксплуатационных свойств (браковочное значение щелочного числа находится в диапазоне 1,5 – 2,5 мг КОН/г).

Кислотное число масла выросло с 2 мг КОН/г и способно при таком значении оказывать отрицательные действия, если продолжить процесс эксплуатации, а замену масла провести при 300 часов наработки.

Давление масла в системе смазки, контролируемое по прибору, установленному в кабине трактора, находилось весь период испытаний в диапазоне  $3,5 \text{ кгс/см}^2 - 2,5 \text{ кгс/см}^2$ . Температура охлаждающей жидкости не поднималось выше  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для контроля загрязнённости масла в некоторых случаях используются упрощённые экспресс – методы, в частности бумажной хроматографии. Метод является достаточно условным, тем не менее несёт определённую информацию и используется в предприятиях АПК, не имеющих возможность проведения лабораторных исследований на специальном оборудовании.

На рисунке 3 представлены микрофотографии некоторых капельных проб масел, отобранных со щупа уровня масла и нанесённых на фильтровальную бумагу по мере наработки масла.

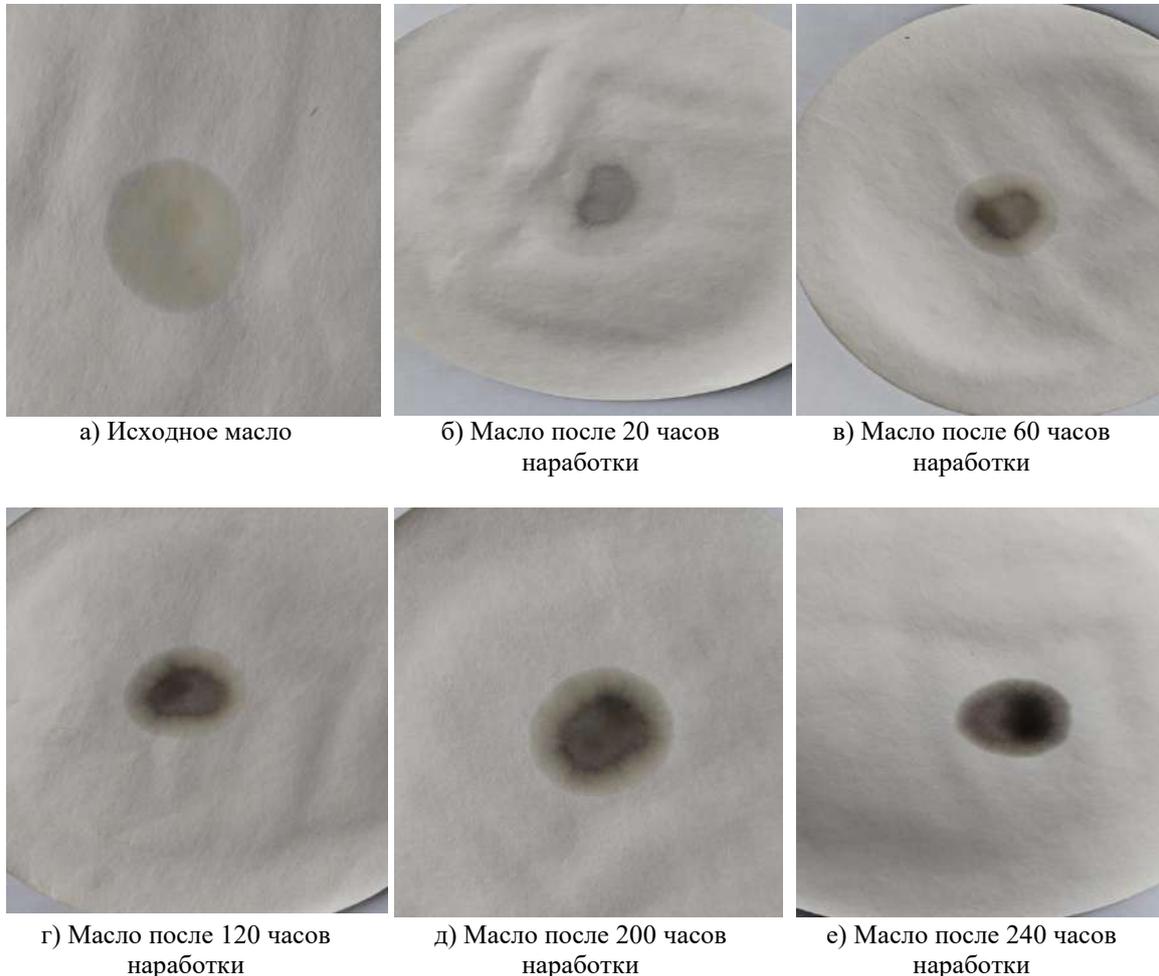


Рисунок 3 – Микрофотографии хроматограмм пятен проб моторного масла М-10ДМ по мере наработки (трактор № 1)

Полученные данные (рисунок 3 б) свидетельствуют, что масло уже после 20 часов наработки резко изменилось. Внешний вид хроматограммы говорит о достаточно высокой загрязненности масла уже в первоначальный период работы в двигателе. Одновременно с этим следует отметить, что метод бумажной хроматографии несмотря на свою простоту требует определённого опыта оператора, сравнивающего полученное пятно с эталонным изображением.

На следующем этапе исследований рассматривалась эффективность промывки системы смазки перед заправкой свежего масла, её влияния на динамику загрязненности масла, процессы старения и возможность увеличения срока службы до замены.

На рисунке 4 представлена зависимость изменения характеристик масла за тот же период наработки в тех же условиях работы двигателя трактора № 2.

На рисунке 5 представлена зависимость изменения содержания присадок в масле от наработки после проведения операции промывки системы смазки (трактор № 2).

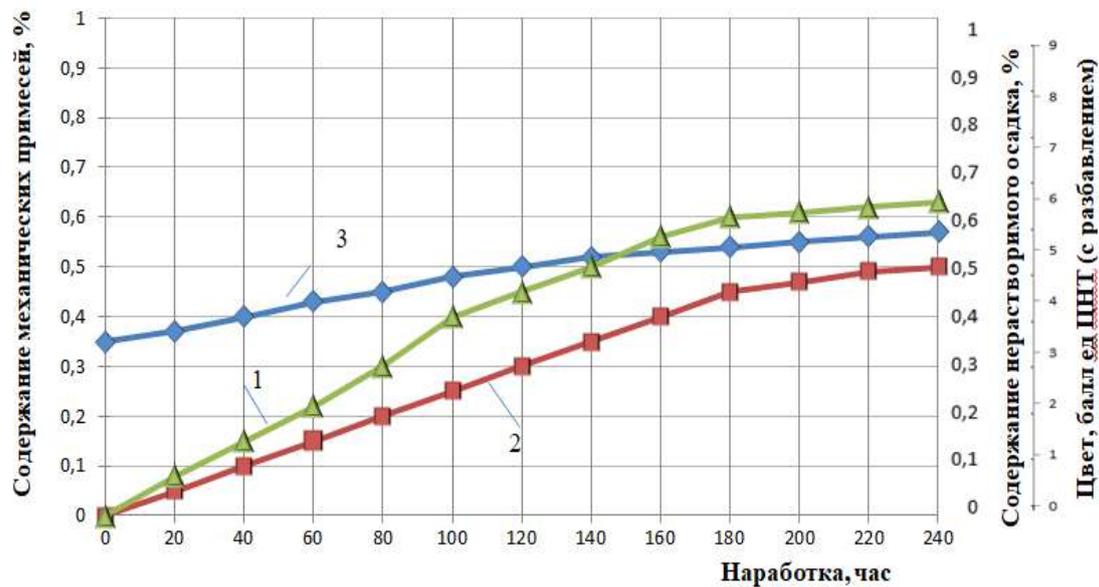


Рисунок 4 – Зависимость изменения содержания загрязнений и цвета масла от наработки в двигателе после промывки

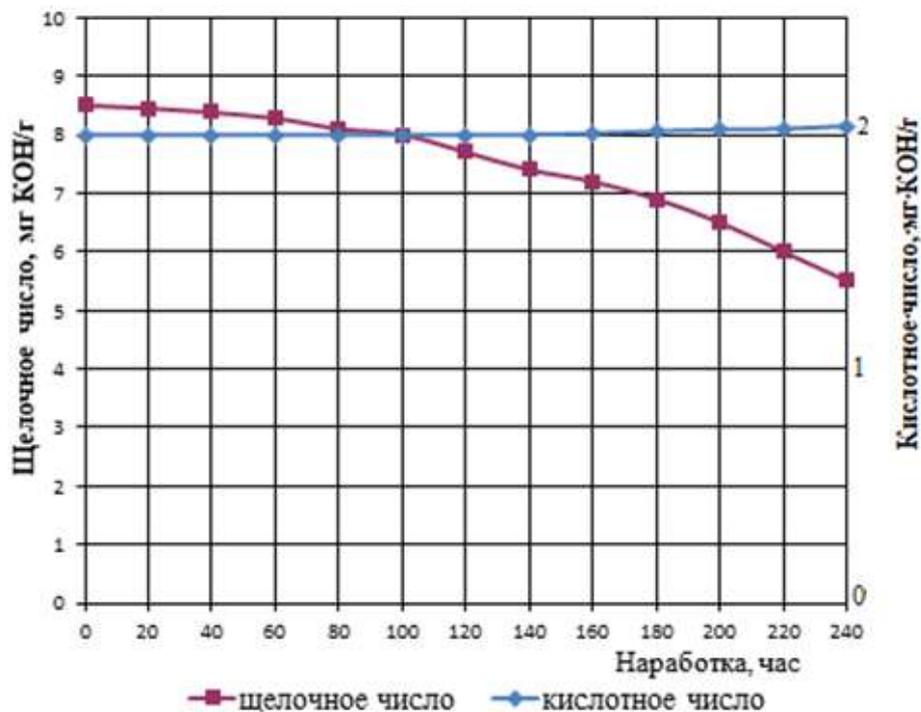


Рисунок 5 – Зависимость изменения содержания щелочного и кислотного числа масла М-10ДМ в двигателе трактора № 2

Сравнивая результаты испытаний (рисунок 1 и рисунок 4) отметим, что в масле и после первых 20 часов работы двигателя и к моменту наработки 240 часов содержание механических примесей и нерастворимых загрязнений было в 2 – 4 раза ниже в двигателях 1 и 2.

Особенно следует отметить не столь интенсивное изменение цвета масла (линии 3, рисунки 1 и 4). Анализируя изменение щелочного и кислотного числа масел установлено (рисунки 2, 5), что запас эксплуатационных свойств во втором случае, где проведена промывка системы смазки перед заправкой свежего масла, значительно выше даже к 240 часам наработки. Кислотное число масла (рисунок 5) осталось практически неизменным несмотря на накопление продуктов окисления. Данный факт может говорить об уменьшении, в том числе и угоревшей части присадок в тракторе № 3 по сравнению с трактором № 1.

Полученные характеристики и значения показателей щелочного числа в двигателе трактора № 2 с предварительной промывкой системы смазки могут быть основанием для прогнозирования увеличения срока службы масла до замены до 300 часов наработки.

В справочной литературе и сертификатах качества на моторные масла практически не приводятся данные о кислотном числе, однако, по нашему мнению. Он в определённой степени характеризует свойства масла. При увеличении содержания присадок в моторном масле, как правило, кислотное число бывает высоким. Во вторых известно, что этот показатель взаимосвязан с накоплением кислых продуктов в масле.

На рисунке 6 представлены микрофотографии хроматограмм масляных пятен испытуемого масла (с промывкой системы смазки) трактора № 2.

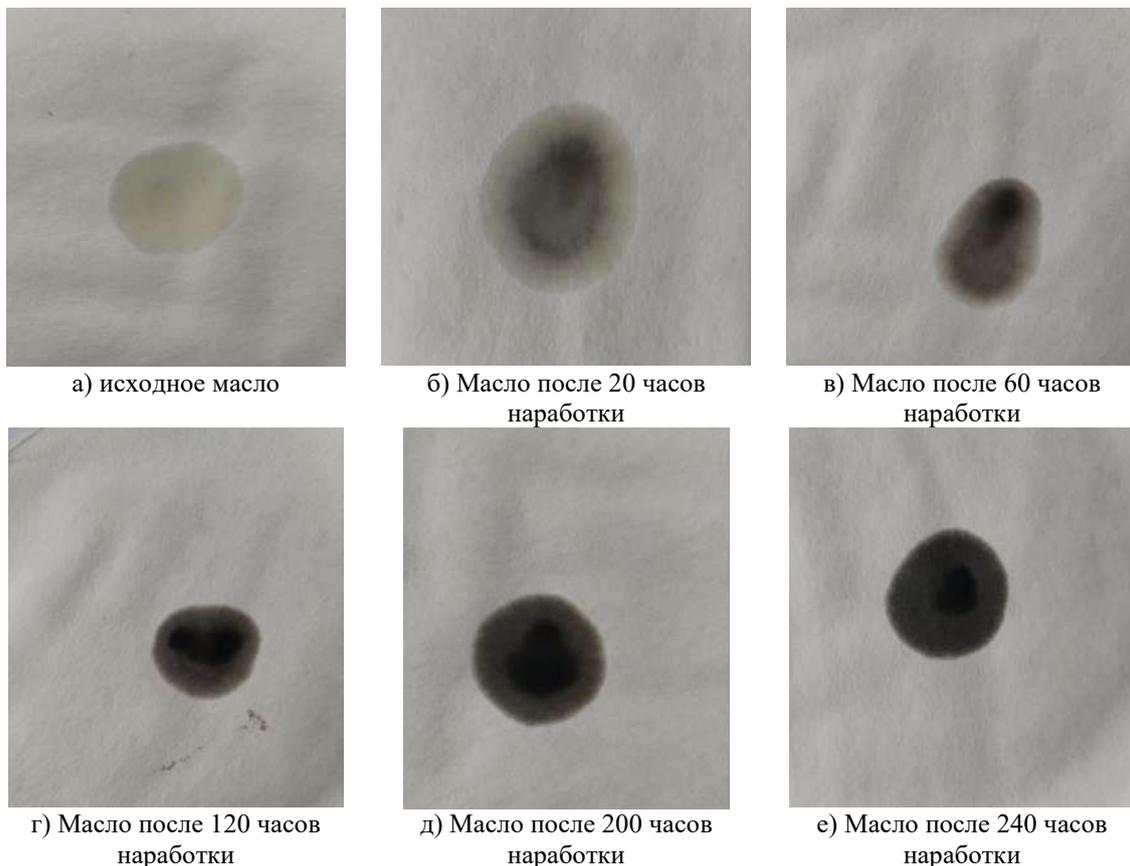


Рисунок 6 - Микрофотографии хроматограмм масляных пятен по мере наработки трактора № 2

Сравнительный анализ (рисунок 3 и рисунок 6) показал, что масло (рисунок 6 б) имеет пятно значительно менее выраженного серого цвета. Аналогичные изменения легко различимы и по другим пятнам (в, г, д).

Сложно анализировать по хроматограмме пятно е (рисунки 3, 6). При этом следует обращать большее внимание на значение щелочного числа и содержание загрязненности. После завершения циклов испытаний проводился разбор центрифуг очистки масла, встроенных в общую маслосистему. Взвешивание выгруженных осадков из стаканов центрифуг показало, что в том случае, где товарное масло заливалось без промывки системы смазки, вес загрязнений составил 112 грамм; загрязнения, извлечённые из центрифуги трактора № 2, имели вес 71 грамм. Давление масла, контролируемое по манометру в кабине трактора, было выше в тракторе № 2 чем в тракторе № 1 на 15 %.

Температура нагрева охлаждающей жидкости весь цикл испытаний не превышала 85 °С.

Как отмечалось, техническое состояние тракторов, участвующих в сравнительных испытаниях, было аналогичное. При этом в начале и конце проведения исследований проводилась компрессия в цилиндрах и средний расход топлива. Установлено, что операция промывки системы смазки позволяет на 10...15 процентов увеличить значение данного показателя по сравнению с трактором, когда сразу после слива отработанного масла заправлялось товарное моторное масло. Расход топлива после промывки системы смазки снизился на 5...8 процентов, в то время как у трактора № 1 он остался без изменений.

#### **Выводы.**

1. Проведение операции промывки системы смазки двигателя при замене отработанного масла на свежее позволяет повысить эксплуатационные и экономические показатели машины.
2. Увеличивается компрессия в цилиндрах на 10 – 15 процентов.
3. Снижается расход топлива на 5...8 процентов.
4. Увеличивается межремонтный ресурс основных деталей двигателя.
5. Увеличивается на 15...20 процентов срок службы масла до замены.
6. Дальнейшее решение проблемы снижения затрат на проведение операций промывки системы смазки возможно за счет разработки ресурсосберегающих технологий использования отработанных масел после их очистки от загрязнений и продуктов окисления в качестве основы промывочной жидкости с моющими добавками.

#### **Список источников**

1. Балтенас Р., Сафонов А.С., Ушаков А.И., Шергалис В. Моторные масла. СПб: Альфа - Лаб, 2000. 272 с.
2. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Москва: Техинформ, 1999. 596 с.
3. Кошелев А.В., Остриков В.В., Забродская А.В., Вязинкин В.С. Результаты исследований по оценке изменения свойств моторного масла без и с использованием операции промывки системы смазки двигателя трактора. // Наука в центральной России. № 5(65). 2023, с 96-103. EDN: SJHVWB
4. Кузьмин Н.А. Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации. Москва: Форум, 2001. 200 с.
5. Венцель С. М. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. - М.: Химия, 1979. - С. 238.
6. Кругов В. Ф., Остриков В. В. Промывочное масло для ДВС // Наука в центральной России. 2016. № 4 (22). с. 35-40. EDN: WISKQZ
7. Остриков В. В., Нагорнов С. А., Курочкин И. П. и др. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. - Тамбов: ТГТУ, 2008. - 304 с. EDN: QLACBT
8. Семенов В. И. Удаление загрязнений, прочно связанных с поверхностями деталей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. - 2013. - № 11. - С. 69-72. EDN: TVSELL
9. Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа. М.: Академия, 2003. - 256 с. EDN: QKBABL.
10. Итинская Н. И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. - Москва, 1982. - 208 с.

### References

1. Baltenas R., Safonov A.S., Ushakov A.I., Shergalis V. Motor oils. St. PETERSBURG: Alfa - Lab, 2000. 272 p.
2. Shkolnikov V.M. Fuels, lubricants, technical fluids. The range and application. Moscow: Techninform, 1999. 596 p.
3. Koshelev A.V., Ostrikov V.V., Zabrodskaya A.V., Vyazinkin V.S. The results of research on the assessment of changes in the properties of engine oil without and using the operation of flushing the lubrication system of the tractor engine. // Science in Central Russia. No. 5(65). 2023, pp. 96-103. EDN: SJHVWB
4. Kuzmin N.A. Processes and patterns of changes in the technical condition of cars in operation. Moscow: Forum, 2001. 200 p.
5. Wenzel S. M. The use of lubricating oils in internal combustion engines. - M.: Khimiya, 1979. - p. 238.
6. Krugov V. F., Ostrikov V. V. Washing oil for internal combustion engines // Science in central Russia. 2016. № 4 (22). с. 35-40. EDN: WISKQZ
7. Ostrikov V. V., Nagornov S. A., Kurochkin I. P., etc. Fuels, lubricants and technical fluids. - Tambov: TSTU, 2008. - 304 p. EDN: QLACBT
8. Semenov V. I. Removal of impurities firmly connected to the surfaces of parts // Bulletin of the Polotsk State University. Series B: Industry. Applied sciences. - 2013. - No. 11. - pp. 69-72. EDN: TVSELL
9. Bayramov V.M. Fundamentals of chemical kinetics and catalysis. Moscow: Akademiya, 2003. - 256 p. EDN: QKBABL
10. Itinskaya N. I. Handbook of fuels, oils and technical liquids. - Moscow, 1982. - 208 p.

### Информация об авторах

А.В. Кошелев – младший научный сотрудник, А.В. Забродская – научный сотрудник, В.С. Вязинкин – научный сотрудник; М.М.А.Р. Раззак – аспирант.

### Information about the authors

A. Koshelev – junior researcher, A. Zabrodskaya – researcher, V. Vyazankin – researcher; M.M.A.R. Razzaq – PhD student.

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

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

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

***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 23.05.2024      Принята к публикации (Accepted): 21.06.2024

Тип статьи: научная  
УДК 621.892  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-141-147

## УДАЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ ПЕРЕД ПОСТАНОВКОЙ НА ХРАНЕНИЕ

*Дмитрий Николаевич Жерновников*<sup>1</sup>, *Виктор Сергеевич Вязинкин*<sup>2</sup>,  
*Алла Владимировна Забродская*<sup>3</sup>, *Владимир Константинович Нагдаев*<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*  
<sup>1</sup> viitinlab8@bk.ru

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Николаевич Жерновников, viitinlab8@bk.ru  
Corresponding author: Dmitry Zhernovnikov, viitinlab8@bk.ru

**Реферат.** Консервация двигателя внутреннего сгорания является одним из важнейших мероприятий при постановке зерноуборочных комбайнов на хранение после завершения уборочных работ. Но в реальных условиях данная операция практически не проводится, масло, проработавшее сезон уборки, из системы смазки не сливается, что приводит к осаждению загрязнений как в картере, так и в масляных каналах. Оставшиеся в системе смазки загрязнения, продукты окисления смешиваются со свежее-заправленным маслом, что снижает срок службы масла, а оставшиеся механические примеси могут вызвать повышение износа. Проведение многолетнего мониторинга состояния масла и технического состояния комбайнов показало, что к моменту постановки на хранение, щелочное число масла может составлять как 7 мг КОН/г, так и менее 2 мг КОН/г (близко к браковочному значению). В отработанном масле содержание загрязнений велико и в основном преобладают смолистые составляющие. На основании результатов исследований разработана ресурсосберегающая технология консервации ДВС зерноуборочных комбайнов. Одним из элементов является очистка отработанного сезон масла от загрязнений под действием реагентов. Получены зависимости изменения содержания загрязнений в масле М-10ДМ от времени работы двигателя при различной концентрации добавки реагентов. Оптимальное содержание добавки реагента - 3 мас.%. Представлены результаты конкретных исследований по определению толщины масляной плёнки и других параметров. Толщина масляной плёнки на пластине на отработанном масле - 0,35 мм. (время испытания - 6 месяцев). Установлено, что очистка отработанного масла с одновременной промывкой системы смазки и последующей заправкой товарного масла позволяет продлить срок его службы, снизить риск образования следов коррозии на деталях ЦПГ на 5-10% и уменьшить затраты на эксплуатацию и ремонт дорогостоящей техники.

**Ключевые слова:** моторное масло, загрязнения, очистка, реагенты, зерноуборочный комбайн, срок службы, хранение, коррозия, износ.

## REMOVAL OF CONTAMINATION FROM THE LUBRICATION SYSTEM OF CORN HARVEST ENGINES BEFORE STORAGE

*Dmitry Zhernovnikov*<sup>1</sup>, *Viktor Vyazinkin*<sup>2</sup>, *Alla Zabrodskaya*<sup>3</sup>, *Vladimir Nagdaev*<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,  
Tambov, Russian Federation*  
<sup>1</sup> viitinlab8@bk.ru

**Abstract.** Preservation of the internal combustion engine is one of the most important measures when placing combine harvesters into storage after completion of harvesting work. But in real conditions, this operation is practically not carried out; the oil that has worked for the cleaning season

is not drained from the lubrication system, which leads to the deposition of contaminants both in the crankcase and in the oil channels. Contaminants and oxidation products remaining in the lubrication system are mixed with freshly filled oil, which reduces the service life of the oil, and remaining mechanical impurities can cause increased wear. Long-term monitoring of the condition of the oil and the technical condition of combines has shown that by the time of storage, the alkaline number of the oil can be either 7 mg KOH/g or less than 2 mg KOH/g (close to the rejection value). The content of contaminants in used oil is high and mainly resinous components predominate. Resource-saving technology for preserving the internal combustion engines of grain harvesters has been developed based on research results. One of the elements is the cleaning of season-used oil from contaminants under the influence of reagents. The dependences of the change in the contaminant content in M-10DM oil on the engine operating time at different concentrations of reagent additives were obtained. The optimal content of reagent additive is 3 wt.%. The results of specific studies to determine the thickness of the oil film and other parameters are presented. The thickness of the oil film on the plate in waste oil is 0.35 mm. (test time – 6 months). It has been established that cleaning used oil with simultaneous flushing of the lubrication system and subsequent refilling of commercial oil can extend its service life, reduce the risk of the formation of traces of corrosion on CPG parts by 5-10% and reduce the cost of operation and repair of expensive equipment.

**Keywords:** motor oil, contamination, cleaning, reagents, combine harvester, service life, storage, corrosion, wear.

**Для цитирования:** Жерновников Д.Н., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Нагдаев В.К. Удаление загрязнений из системы смазки двигателей зерноуборочных комбайнов перед постановкой на хранение // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 141-147. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-141-147>.

**For citation:** Zhernovnikov D., Vyazinkin V., Zabrodsкая A., Nagdaev V. Removal of contamination from the lubrication system of corn harvest engines before storage. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 141-147. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-141-147>.

**Введение.** После и перед началом уборочных работ в с/х предприятиях, как правило, проводят техническое обслуживание зерноуборочных комбайнов [1, 2].

В большей части это касается таких операций как: очистка основных рабочих органов от загрязнений, замена ремней приводов и замена моторного масла.

Так как после завершения уборочных работ, при постановке комбайнов на длительное хранение, чаще всего отработавшее определённый период моторное масло может содержать значительное количество загрязнений, смол, асфальтенов, то в масляных каналах системы смазки, на днище картера двигателя образуются достаточно «уплотнённые» смолистые загрязнения (за период простоя 8-9 месяцев) [3, 4].

Слив отработанного масла и заправка товарного моторного масла не решает проблему удаления загрязнений из системы смазки и они, соответственно, переходят, постепенно, в работающее масло, снижая срок его службы, ухудшая эксплуатационные свойства.

Ранее существовавшая система проведения работ при постановке комбайнов на межсезонное хранение, а именно слив отработанного моторного масла и заправка в двигатель специального консервационного масла практически повсеместно прекратило своё существование.

В ряде случаев, к периоду завершения уборочных работ, масло в системе смазки обладает достаточно высокими эксплуатационными свойствами (несмотря на загрязнённость) и перед началом нового сезона не меняется [5].

Всё это в конечном результате отрицательно влияет на характеристики двигателя и уменьшает срок его службы до капитального ремонта [6, 8].

**Цель исследования.** Повышение эффективности хранения техники.

**Методика проведения исследований.** Исследование проводится в условиях СХПК ПЗ «Пригородный» на комбайне «Полесье» после завершения уборочных работ полевых работ.

Из картера двигателя комбайна отбирается проба масла, объёмом 100 мл. Проводится анализ загрязнённости и щелочного числа экспресс-методами ФГБНУ ВНИИТиН [7].

На основании результатов анализа определяются параметры процесса очистки и концентрации вносимых реагентов.

Двигатель комбайна осматривается, очищается от загрязнений. Разбирается, очищается и собирается центрифуга.

Если в устройстве системы смазки установлен дополнительный фильтр очистки, то его отключают.

Далее двигатель запускают, и он работает на холостых оборотах до достижения температуры масла 70...80 °С. После чего двигатель глушится.

Готовится раствор реагента, состоящий из карбамида, растворённого в гидроксиде аммония (50:50) в концентрации к объёму очищаемого масла 1, 2, 3%. В полученную смесь реагента также добавляют 1 % масс. изопропилового спирта.

Через заливную горловину двигателя раствор реагентов заправляется в поддон картера двигателя.

Двигатель запускают и контролируют его работу в режиме холостого хода в течение 5...15 мин.

Через каждые 5 минут работы двигателя, посредством щупа, достаётся капля моторного масла и наносится на фильтровальную бумагу белая лента.

По форме и цвету пятна от масла контролируют прохождение процесса коагуляции загрязнений. Как только пятно приобретает форму, содержащую по контуру жёлтую окантовку, далее тёмно-серый промежуток и в центре чётко выраженное чёрное пятно, процесс контроля эффективности коагуляции загрязнений прекращают, считая время появления вышеуказанного пятна оптимальным процессом укрупнения.

Полученный результат является отправной точкой начала увеличения оборотов двигателя до средние установленных 2000...2200 об/мин.

Далее, через каждые 5 минут работы двигателя, при помощи щупа уровня масла достаётся капля масла и контролируется изменение цвета пятна.

По достижении пятна жёлтого цвета без тёмных разводов двигатель глушится.

В процессе проведения всего комплекса работ, по датчикам, встроенным в панель управления комбайна, контролируется температура охлаждающей жидкости и давление масла в системе смазки.

Заливная горловина картера оставляется в полуоткрытом состоянии и прикрывается для доступа воздуха и предотвращения разбрызгивания масла.

По окончании операции очистки масла и системы смазки двигатель охлаждается. Проводятся работы по очистке внутреннего корпуса центрифуги от загрязнений.

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 представлены результаты физико-химического анализа некоторых проб моторных масел М-10ДМ, отобранных из двигателя зерноуборочных комбайнов.

Таблица 1 - Характеристики масел, отобранных из двигателей комбайнов

Показатели	Наблюдаемый объект (комбайн 1)	Наблюдаемый объект (комбайн 2)	Наблюдаемый объект (комбайн 3)
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	12,2	13,3	11,5
Содержание механических примесей, %	0,6	0,8	0,3
Содержание нерастворимого осадка, %	0,75	0,81	0,51
Щелочное число, мг КОН/г	4,8	2,2	6,8
Кислотное число, мг КОН/г	1,8	1,95	2,0
Год начала эксплуатации	2015	2011	2020

Среди анализируемых масел наибольшую загрязнённость имело масло, слитое из комбайна «Полесье» №2, наименьшую – масла из комбайна №3.

Перед началом испытания в каждый образец масла в лабораторных условиях был внесён состав реагентов в концентрации 1, 2, 3% к объёму 50 мл.

После нагревания до 100 °С составы рассматривались на предмет загрязнений под микроскопом Биолам-70.

Установлено, что только в масле №2, при концентрации 1% состава реагентов наблюдалось укрупнение практически растворённых примесей.

В маслах №1 и №3 эффект коагуляции практически отсутствовал.

Тот же вид под микроскопом при увеличении в 140 раз наблюдается и при концентрации несённого состава в количестве 2% масс.

В масло №2 частицы загрязнений укрупнились до 10-15 мкм, а наблюдаемое поле изменило цвет и форму. Группы частиц объединились и между ними чётко просматривались прозрачные светлые линии.

При увеличении концентрации смеси реагентов до 3% во второй пробе чётко просматривались (под покровным стеклом) группы объединений размером >25 мкм.

Наблюдался начальный процесс коагуляции в масле №1 в отличие от масла №3.

Учитывая опыт предыдущих исследований ФГБНУ ВНИИТиН, можно утверждать, что в масле № 3 присутствует значительное количество моюще – диспергирующих присадок. Несмотря на то, что по информации инженерных служб комбайны имели практически одинаковую наработку за сезон. Далее было установлено, что комбайн «Полесье» № 3 изначально имел повышенный расход масла (угар). Для наших условий было наиболее актуально проверить возможность очистки самого загрязненного масла № 2, при том, что пробное моделирование показало перспективность проведения данной работы в части возможности очистки наиболее загрязненного продукта с высоким содержанием продуктов окисления.

На рисунке 1 представлена зависимость изменения содержания механических примесей и нерастворимого осадка от времени процесса нахождения масла в системе с очистителем (встроенной центрифугой) и концентрации добавки смеси реагента в двигателе комбайна № 2.

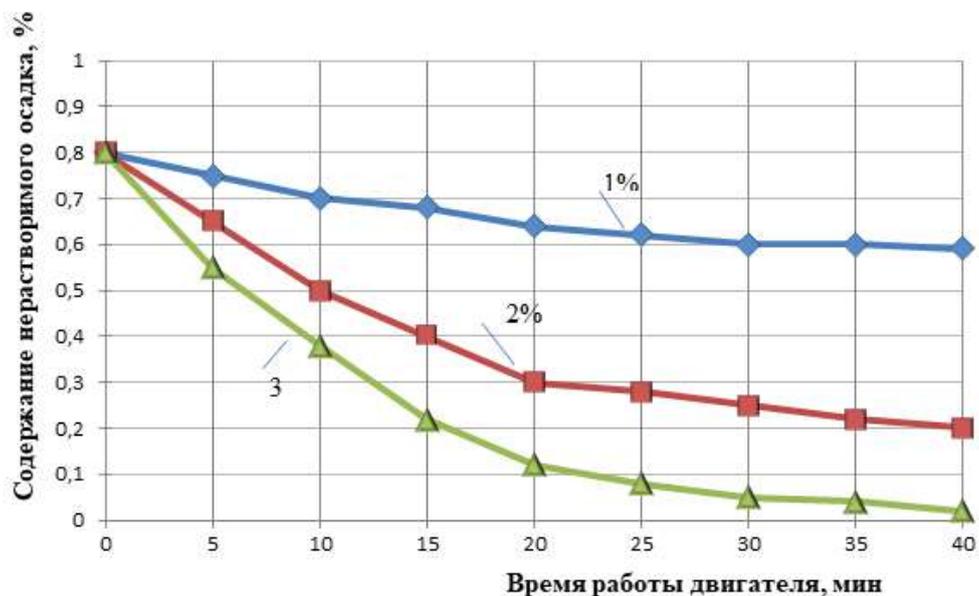


Рисунок 1 - Зависимость изменения содержания загрязнений в моторном масле М-10ДМ от времени работы двигателя: 1%, 2%, 3% - концентрация реагента

В результате экспериментальных исследований установлено, что для масла принятой исходной загрязненности с невысоким содержанием щелочного числа рациональной концентрацией внесения смеси реагентов является значение 3 %, а время очистки (работы двигателя – 30-35 мин). Давление масла в системе выросло на 10 %, компрессия в цилиндрах в среднем на 8 %, что может свидетельствовать об удалении загрязнений и из масляных каналов. После завершения операции очистки масла масляная центрифуга разбиралась и из внутренней полости ротора извлекались загрязнения.

Следует отметить, что толщина слоя осадка в роторе центрифуги за предшествующий период работы двигателя комбайна (уборочный сезон) составляла 8 мм, а за период очистки масла с реагентами 35 минут – 15 мм.

Решая задачу очистки системы смазки двигателя масла в период постановки зерноуборочного комбайна на длительное хранение одним из важнейших вопросов являлось определение защитных свойств очищенного масла.

По заявлениям ученых, исследовавших проблему коррозии, на стенках гильз цилиндров после остановки двигателя и к периоду его перевода в рабочий режим толщина масляной плёнки составляет 0,5 – 1 мкм и эффективно защищает поверхность металла от коррозии при использовании чистого моторного масла или консервационного [5, 9].

Если же масло после завершения уборочного периода сильно загрязнено и содержит значительное количество продуктов окисления, то на зеркале гильз цилиндров могут появляться следы коррозионного поражения в последующем преобразующиеся в раковины.

На основании поставленной цели проведены сравнительные испытания по защитным свойствам масел. Толщина масляной плёнки оценивалась известным гравиметрическим методом. Пластины из стали опускали в моторное масло до его очистки и в моторное масло после очистки с использованием предложенных реагентов. Пластины помещали в эксикатор в вертикальном положении и выдерживали 6 месяцев в неотапливаемом помещении. После истечения времени (6 месяцев) пластины доставали и взвешивали, определяя остаточное содержание масла на поверхности. Методом расчёта установлено, что толщина масляной плёнки в отработавшем масле составляла 0,35 мм, толщина масляной плёнки на пластине, выдерживаемой в очищенном масле, равнялась 1,95 мкм.

После завершения данных циклов исследований при проведении регламентных подготовительных работ к работе комбайнов в следующем уборочном сезоне масла из картеров двигателей сливались и проводилась их замена на товарные масла М-10ДМ (на основании анализа всех характеристик, соответствующих ГОСТ). Устанавливались новые масляные фильтры.

По мере созревания зерновых культур все комбайны приступали к уборочным работам. После каждых 8 часов работы комбайнов из картера двигателей отбиралась проба масла и проводился в лабораторных условиях анализ загрязнённости масла, а также наносилась капельная проба на фильтровальную бумагу. Наблюдение и анализ проводились в течение 6 смен (48 часов) работы комбайна. На рисунке 2 показана зависимость изменения загрязненности масла в наблюдаемых комбайнах.

В результате анализа загрязнённости масла после замены отработанного масла на свежее М-10ДМ и начала его эксплуатации в условиях уборки зерновых культур установлено, что очистка моторного масла перед постановкой комбайна на хранение с последующим запуском позволяет изменить динамику накопления загрязнений в свежее-заправленном масле и, соответственно, снизить интенсивность его старения, увеличить срок службы до замены, повысить надежность работы комбайна.

Использование технологического процесса очистки масла с применением реагентов также может повысить эффективность хранения, снизить риски образования следов коррозии.

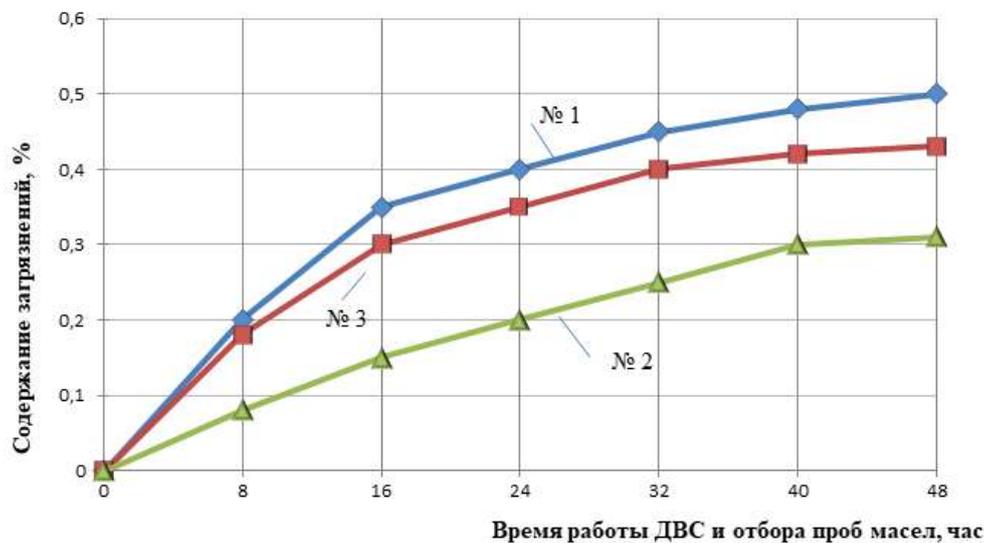


Рисунок 2 - Зависимость изменения содержания загрязнений в масле от наработки (после замены масла): комбайны № 1, № 2, № 3

**Заключение.** Удаление загрязнений из моторного масла и системы смазки зерноуборочных комбайнов перед постановкой их на хранение по сравнению с реально существующей схемой замены масла перед началом уборочной кампании позволяет в целом повысить эксплуатационные характеристики ДВС комбайна, снизить риск образования следов коррозии на деталях ЦПГ на 5 – 10 %. Уменьшить затраты на приобретение специальных консервационных жидкостей.

#### Список источников

1. Севернев М.М., Подлекарев Н.Н., Сохадзе В.Ш., Китиков В.О. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин. - Минск: Беларуская навука, 2011. – 333 с.
2. Техника, используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения: ГОСТ 7751-2009. – Введ. 01.05.2011 – М.: Стандартинформ, 2011. – 18 с.
3. Остриков В.В., Вязинкин В.С., Кошелев А.В., Забродская А.В. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов трения //Наука в центральной России. 2021. № 3 (57). С. 70-75.
4. Шехтер Д.Н., Школьников В.М., Богданова Т.И., Милованов В.Д. Рабоче-консервационные смазочные материалы. М.: Химия, 1979. - 256 с.
5. Северный А.Э. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники. М.: ГОСНИТИ. 1993. – 283 с
6. Пучин Е.А., Гайдар С.М. Рекомендации по внутренней консервации цилиндропоршневой группы дизелей серийными моторными маслами. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 14с.
7. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Вязинкин В.С., Белогорский В.В. Контроль качества моторных масел // Сельский механизатор. 2009 № 3 С. 28-29.
8. Kaesche H. Corrosion of metals: physicochemical principles and current problems. New York: Springer, 2003. 594 p.
9. Macián B., Tormos P., Olmeda Y.A. Findings from a fleet test on the performance of two engine oil formulations in automotive CNG engines // Lubrication Science. 2015. Vol. 27(1). Pp. 15–28.

#### References

1. Severnev M.M., Podlekarev N.N., Sokhadze V.Sh., Kitikov V.O. Wear and corrosion of agricultural machines. - Minsk: Belaruskaya Navuka, 2011. - 333 p.

2. Equipment used in agriculture. Storage rules: GOST 7751-2009. – Enter. 05/01/2011 – М.: Standartinform, 2011. – 18 p.
3. Ostrikov V.V., Vyazinkin V.S., Koshelev A.V., Zabrodskaya A.V. Changes in the characteristics of motor oils in the engines of friction combine harvesters // Science in Central Russia. 2021. No. 3 (57). pp. 70-75.
4. Shekhter D.N., Shkolnikov V.M., Bogdanova T.I., Milovanov V.D. Working and conservation lubricants. М.: Chemistry, 1979. - 256 p.
5. Northern A.E. Storability and corrosion protection of agricultural machinery. М.: GOSNITI. 1993. – 283 s.
6. Puchin E.A., Gaidar S.M. Recommendations for the internal preservation of the cylinder-piston group of diesel engines with serial motor oils. М.: FGNU "Rosinformagrotekh", 2010. - 14 p.
7. Ostrikov V.V., Kornev A.Yu., Vyazinkin V.S., Belogorsky V.V. Quality control of motor oils // Rural machine operator. –2009– No. 3 – P. 28–29.
8. Kaesche H. Corrosion of metals: physicochemical principles and current problems. New York: Springer, 2003. 594 P.
9. Macián B., Tormos P., Olmeda Y.A. Findings from a fleet test on the performance of two engine oil formulations in automotive CNG engines // Lubrication Science. 2015. Vol. 27(1). pp. 15–28.

#### **Информация об авторах**

Д.Н. Жерновников – младший научный сотрудник; В.С. Вязинкин – научный сотрудник; А.В. Забродская – научный сотрудник; В.К. Нагдаев - кандидат химических наук.

#### **Information about the authors**

D. Zhernovnikov – junior researcher; V. Vyazinkin – research; A. Zabrodskaya – researcher; V. Nagdaev - Candidate of Chemical 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): 24.05.2024      Принята к публикации (Accepted): 22.06.2024

Тип статьи: научная

УДК 621.89

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-148-160

## ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА ИЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Аркадий Васильевич Химченко<sup>1</sup>, Владимир Иванович Оробинский<sup>2</sup>,  
Валерий Васильевич Остриков<sup>3</sup>, Евгений Александрович Григорьев<sup>4</sup>,  
Дмитрий Витальевич Юшко<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4, 5</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,  
г. Воронеж, Российская Федерация

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация

<sup>1</sup>himch.arkady@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9340-4252>

<sup>3</sup>viitinlab8@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2927-768X>

<sup>4</sup>zhenya.grigorev.99@inbox.ru

<sup>5</sup>yushko\_dmitr@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Евгений Александрович Григорьев,  
zhenya.grigorev.99@inbox.ru

Corresponding author: Evgeniy Grigorev, zhenya.grigorev.99@inbox.ru

**Реферат.** В применяемой в настоящее время системе технического обслуживания транспортных средств и средств механизации сельского хозяйства существуют недостатки, связанные с периодичностью замены моторного масла. Фактическое состояние моторного масла может отличаться от желаемого при осуществлении замены. Целью данного исследования было определение перспектив создания цифрового двойника для прогнозирования остаточного ресурса моторного масла. В работе проанализированы методы контроля текущего состояния моторного масла. Надежного метода непрерывного контроля на данный момент не найдено. Показано, что основными факторами, которые следует учитывать при прогнозировании ресурса моторного масла являются нагрузочный и скоростной режимы работы двигателя. Основными параметрами, характеризующими возможность эксплуатации моторного масла, являются щелочное число и кинематическая вязкость. По известным данным были подобраны статистически обоснованные математические модели, отражающие процесс «старения» моторного масла. Моделирование изменения кинематической вязкости показывает достаточно высокую вероятность ошибки и не отражает однозначной закономерности. Установлено, что изменение щелочного числа моторного масла может происходить по экспоненциальным законам. Подобранные модели изменения щелочного числа достаточно точно описывают экспериментальные данные. Коэффициент детерминации находился в пределах 0,965 до 0,999. Проведенные исследования говорят о возможности использования цифрового двойника для прогнозирования остаточного ресурса масла. Но данные, найденные в открытых источниках, дают принципиальное понимание закономерностей, но достаточно разрозненны: относятся к разным автомобилям, тракторам и типам моторных масел. Поэтому для создания цифрового двойника необходимы комплексные экспериментальные исследования, позволяющие оценить деградацию моторного масла на разных скоростных и нагрузочных режимах.

**Ключевые слова:** моторное масло, двигатель внутреннего сгорания, техническое обслуживание, ресурс масла, факторы, цифровой двойник.

## PREREQUISITES FOR USING A DIGITAL TWIN TO DETERMINE THE LIMITING STATE OF ENGINE OIL OR PREDICT ITS REMAINING LIFE

*Arkady Khimchenko*<sup>1</sup>, *Vladimir Orobinsky*<sup>2</sup>, *Valery Ostrikov*<sup>3</sup>, *Evgenii Grigorev*<sup>4</sup>,  
*Dmitry Yushko*<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4, 5</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

<sup>3</sup> All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,  
Tambov, Russia

<sup>1</sup>himch.arkady@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9340-4252>

<sup>3</sup>viitinlab8@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2927-768X>

<sup>4</sup>zhenya.grigorev.99@inbox.ru

<sup>5</sup>yushko\_dmitr@mail.ru

**Abstract.** Disadvantages associated with the frequency of engine oil changes exist in the currently used maintenance system for vehicles and agricultural mechanization. The actual condition of the engine oil may differ from the desired condition when changing. The purpose of this study was to determine the prospects for creating a digital twin for predicting the remaining life of motor oil. Methods for monitoring the current state of engine oil are analyzed in the work. A reliable method of continuous monitoring has not yet been found. It is shown that the main factors that should be taken into account when predicting the service life of motor oil are the load and speed conditions of the engine. The main parameters characterizing the serviceability of motor oil are base number and kinematic viscosity. Statistically based mathematical models reflecting the “aging” process of motor oil were selected based on known data. Modeling of changes in kinematic viscosity shows a fairly high probability of error and does not reflect an unambiguous pattern. It has been established that changes in the alkaline number of motor oil can occur according to exponential laws. The selected models of changes in the base number describe the experimental data quite accurately. The coefficient of determination ranged from 0.965 to 0.999. The conducted studies indicate the possibility of using a digital twin to predict the remaining oil life. But the data found in open sources provides a fundamental understanding of the patterns, but is quite fragmented: they relate to different cars, tractors and types of motor oils. Therefore, to create a digital twin, comprehensive experimental studies are required to assess the degradation of motor oil at different speed and load conditions.

**Keywords:** model-based design, simulation, contact interaction, model identification, identification error.

**Для цитирования:** Химченко А.В., Оробинский В.И., Остриков В.В., Григорьев Е.А., Юшко Д.В. Предпосылки применения цифрового двойника для определения предельного состояния моторного масла или прогнозирования его остаточного ресурса // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 148-160. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-148-160>.

**For citation:** Khimchenko A., Orobinsky V., Ostrikov V., Grigorev E., Yushko D. Prerequisites for using a digital twin to determine the limiting state of engine oil or predict its remaining life. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 148-160. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-148-160>.

**Введение.** На долговечность двигателя внутреннего сгорания (ДВС) существенное влияние оказывает качество моторного масла в системе смазки. При идеальной организации эксплуатации двигателя моторное масло до замены должно иметь характеристики в допустимых пределах, а его замена производится в момент достижения критического уровня показателей. Желательно всех одновременно. На деле моторное масло меняется в соответствии с заявленной изготовителем периодичностью.

На данный момент распространенными способами отслеживания периодичности замены моторного масла в двигателях внутреннего сгорания является замена в зависимости от пробега транспортного средства или от наработки моточасов работы двигателя. Очевидно, что моторное масло при отличных от предполагаемых заводом изготовителем характеристиках и свойствах или иных режимах эксплуатации двигателя будет недоиспользовать свой ресурс или иметь на момент

замены параметры ниже критически допустимых. Это особо характерно для транспортных средств с нормированием замены по пробегу.

В случае если учет наработки двигателей идет с помощью счетчика моточасов, что характерно для тракторов и сельскохозяйственных машин, то один моточас будет равняться одному астрономическому часу при номинальной частоте вращения коленчатого вала. Но трактор может эксплуатироваться при различных нагрузках, а в зависимости от операций и при разной частоте вращения коленчатого вала двигателя. При этом моточасы работы могут не отражать действительного изменения ресурса масла. Так как основные параметры работы двигателя — это нагрузка и частота вращения коленчатого вала ДВС, возможно целесообразно вести фактический учет наработки моточасов до замены или корректировку периодичности замены масла с учетом режимов эксплуатации. Такую возможность могут дать электронные устройства, работающие в режиме цифрового двойника двигателя в части периодичности обслуживания. Однако, для этого должны быть выполнены определенные условия: существенное влияние базовых факторов, отражающих режим работы двигателя, на ресурс моторного масла; понятен и прогнозируем характер зависимости снижения ресурса масла при изменении режима работы; наличие данных для создания надежных математических моделей и прогнозирования срока эксплуатации масел.

Поэтому целью данного исследования было определение перспектив создания цифрового двойника для прогнозирования остаточного ресурса моторного масла и постановка задач для дальнейших исследований в этом направлении.

**Материалы и методы.** В работе использовались общий анализ, факторный, регрессионный и дисперсионный анализ, статистические методы оценок значимости коэффициентов уравнений регрессии.

**Применяемые методы контроля состояния моторного масла.** Для определения момента выработки маслом своего ресурса применяются показатели предельного состояния масел (таблица 1).

Таблица 1 — Показатели предельного состояния моторных масел [1, 6, 11]

Показатель	Значения показателей масла		
	для бензиновых двигателей	для дизельных двигателей	
		тракторов и комбайнов	автомобилей
Изменение вязкости, %, не более:			
увеличение	25	30...35	35-40
уменьшение	20	20	30
Содержание механических загрязнений, %, не более	1	1...3	3
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	0,5...2,0*	1,5...2,5*	1,2...2,5*
Содержание воды, %, не более	0,5	0,3	0,3
Диспергирующе-стабилизирующие свойства, баллы, не более		5	5

\* — для масел, используемых в высокофорсированных двигателях, принимаются большие значения

При достижении хотя бы одним показателем состояния моторного масла табличного браковочного значения, оно может считаться израсходовавшим свой ресурс.

Учитывая результаты исследований, согласно которым при замене моторного масла на определенном автомобиле по наработке моточасов, масло имело различное фактическое состояние, ряд авторов предлагает проведение замены моторного масла по фактическим значениям показателей. Для этого важны средства их контроля.

Существует возможность применения средств экспресс контроля и электронных датчиков для отслеживания фактического состояния масла. В реальных условиях эксплуатации транспортных средств проблематично точно определить закономерности процесса деградации моторного масла. Однако, у всех работающих масел прослеживаются изменения следующих

свойств: вязкости, щелочного числа, загрязненности и температуры вспышки. Это, в том числе, и результат срабатывания присадок. Применяя лабораторные методы и средства, можно получить и проанализировать информацию об изменении перечисленных параметров.

Интерес представляют экспресс-методы контроля качества масла [7]. Например, экспресс-метод [9], основывается на анализе капельной пробы масла, вводимой в специально подготовленную смесь. Основной его задачей является упрощение и повышение точности определения щелочного числа по цвету специально подготовленного индикаторного раствора. Заявленный способ минимизирует и устраняет недостатки схожих методик. Однако не позволяет вести контроль непрерывно.

Помимо определения щелочного числа, к общей методике контроля качества масла также относят определение таких показателей как: загрязненность, кинематическая вязкость, наличие воды, температура вспышки, диспергирующе-стабилизирующие свойства. Стоит помнить, что экспресс-методы хоть и удобны в плане использования в реальных условиях, но имеют меньшую точность и предоставляют меньший спектр информации по сравнению с лабораторными методами. Кроме того, они не относятся к методам непрерывного контроля и мониторинга.

Для непрерывного мониторинга могут быть применены электронные устройства. В процессе исследования электронных датчиков, предназначенных для контроля уровня деградации масла [3], проводились испытания на тракторе МТЗ-80. При этом, использовался трибодатчик ANALEXrs Tgibo. Датчик реагировал на изменения щелочного числа, кинематической вязкости, нагара и количества воды.

По результатам испытаний и сравнения данных датчика и результатов лабораторного анализа авторами подчеркивается неточность в работе электронного устройства и рекомендуется перед началом работы проводить калибровку и настройку. Это существенно усложняет его эксплуатацию.

Известно также устройство для оценки загрязненности механическими примесями моторного масла двигателя внутреннего сгорания, описанное в [10]. По утверждению авторов оно позволяет определять остаточный ресурс масла и причины загрязнения. Для этого в устройстве предусмотрена специальная емкость для исследования технической жидкости с помощью ультразвука. Устройство работает независимо и не устанавливается на автомобиль. Проба масла берется непосредственно из картера двигателя и разделяется на две части для проведения дальнейших исследований. Устройство может быть использовано в нефтяной, автомобильной, сельскохозяйственной и других отраслях промышленности, и является альтернативой лабораторным химическим методам.

Согласно данным [12] эксплуатационным показателем, характеризующим процесс старения масла, является термоокислительная стабильность, определяемая соответствующим методом. Метод основывается на определении оптической плотности и испаряемости. Применяется прибор для термостатирования моторных масел, фотометрическое устройство и весы. По результатам ряда испытаний авторами была установлена линейная зависимость десятичного логарифма времени термостатирования при окислении и испарении моторного масла от температуры. Для прогнозирования значений термоокислительной стабильности применялась следующая модель:

$$\frac{\lg t_1 - \lg t_2}{T_2 - T_1} = \frac{\lg t_1 - \lg t_x}{T_x - T_1}, \quad (1)$$

где  $t_1$  — время достижения установленных значений оптической прочности при температуре  $T_1$ ;

$t_2$  — время достижения установленных значений оптической прочности при температуре  $T_2$ ;

$t_x$  — время достижения установленных значений оптической прочности при температуре  $T_x$ .

По результатам исследования было установлено, что начало процессов окисления происходит при температуре 171,8 °С. Критическая температура процессов окисления — 225 °С. Начало процессов испарения происходит при температуре 70 °С. Критическая температура процессов испарения — 218 °С. Обобщая вышеизложенное, можно утверждать, что состояние масла можно называть работоспособным до достижения им температурного значения в 218 °С.

Следует отметить, что термоокислительная стабильность фактически является обобщенным показателем, учитывающим влияние скоростного и нагрузочного режима, так как совместно с работой системы охлаждения они определяют тепловой режим двигателя.

Помимо определения остаточного ресурса по фактическому состоянию предлагаются способы определения состояния масла по влиянию внешних факторов. Исследования в этом направлении отражены во многих работах. Например, в исследовании [8], выделяются конструкционные, технические, природные и эксплуатационные факторы. К наиболее важным эксплуатационным факторам относят:

- скоростной режим двигателя;
- нагрузочный режим двигателя;
- тепловой режим двигателя.

Однако конкретного метода оценки, в данном случае не предлагается.

В целом анализ источников показывает, что подходы достаточно близки и они заключаются в попытке тем или иным методом определить показатели масла меняющиеся в процессе эксплуатации. Пока достаточно надёжных методов, которые позволяют вести непрерывный контроль состояния масла выявить не удалось. Наилучший вариант дают лабораторные методы, в том числе экспресс-методы. Как правило осуществляется оценка критериев, приведенных в таблице 1, хотя и предлагают использовать альтернативные критерии.

Основными же эксплуатационными факторами, на наш взгляд, следует считать нагрузочный и скоростной режимы работы двигателя. Тепловой режим фактически является производным и для данного конкретного двигателя с учётом его технического состояния будет зависеть от частоты вращения и нагрузки.

При этом содержание механических загрязнений и содержание воды могут изменяться в связи со случайными процессами и их моделирование маловероятно. Более простым должен быть способ контроля на основе каких-либо датчиков.

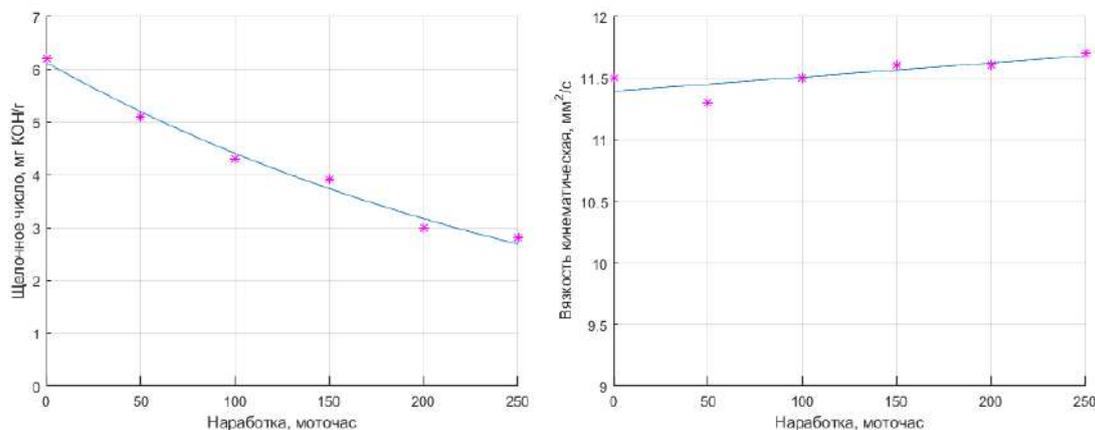
Диспергирующе-стабилизирующие свойства, сложно оценить не экспертным методом, поэтому на данном этапе они не рассматривались. Кроме того, косвенно они определяются щелочным числом.

Таким образом для оценки состояния моторного масла можно воспользоваться статистическими моделями, а, следовательно, интерес представляют экспериментальные зависимости изменения показателей моторного масла, в частности щелочного числа и вязкости в процессе эксплуатации.

**Анализ характера зависимости критических показателей моторного масла от эксплуатационных факторов.** Так как изменение физических свойств и химического состава моторного масла зависит от вероятности встречи определённых молекул, перемешивания масла, его диффузии и подобных процессов, деградация некоторых его показателей, как и аналогичные сходные процессы, может подчиняться экспоненциальным законам. Поэтому данные других исследователей, находящиеся в открытом доступе, были проверены на соответствие этому предположению.

Так по данным, приведенным в работе [3], были подобраны статистически обоснованные математические модели для описания изменения щелочного числа и кинематической вязкости моторного масла в процессе испытания двигателя трактора МТЗ-80. Анализ масла осуществлялся авторами работы [3] в лаборатории, что определяет достаточно высокую точность результата.

Как видно из рисунка 1 экспериментальные данные достаточно хорошо ложатся на регрессионную зависимость в виде экспоненциальной кривой.



а – изменение щелочного числа моторного масла; б – изменение вязкости моторного масла  
 Рисунок 1 — Изменение щелочного числа и вязкости моторного масла в двигателе трактора МТЗ-80

Результаты поиска уравнения регрессии в среде Matlab приведены ниже:

$$CH = a_1 \cdot e^{a_2 T_H}, \quad (2)$$

где  $CH$  – щелочное число, мг КОН/г;

$T_H$  – наработка, моточас;

$a_1, a_2$  – коэффициенты уравнения регрессии, приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки при подборе уравнения регрессии (2)

Показатель	Подобранное значение	Сумма квадратов отклонений ( $SE$ )	Критерий Стьюдента ( $tStat$ )	Уровень значимости ( $p-value$ )
$a_1$	6,1196	0,12526	48,855	$1,0503 \cdot 10^{-06}$
$a_2$	-0,003297	0,00018378	-17,94	$5,6748 \cdot 10^{-05}$

Количество наблюдений (Number of observations): 6  
 Число степеней свободы ошибок (Error degrees of freedom): 4  
 Среднеквадратичная ошибка (Root Mean Squared Error): 0,153  
 Коэффициент детерминации  $R^2$ : 0,989  
 Скорректированный коэффициент детерминации (Adjusted)  $R_{кор}^2$ : 0,986  
 Критерий Фишера ( $F$ -statistic vs. zero model)  $F_{расч}$ :  $2,46 \cdot 10^{+03}$   
 Уровень значимости ( $p-value$ ):  $6,62 \cdot 10^{-07}$

Таким образом, имеем модель изменения щелочного числа в виде:

$$CH = 6,1196 \cdot e^{-0,003297 T_H}, \quad (3)$$

Как видно из таблицы 2, подобранные коэффициенты уравнения регрессии имеют достаточно высокие расчётные значения критерия Стьюдента ( $tStat$ ), что приводит к низким уровням значимости ( $p-Value$ ) нулевой гипотезы о том, что данные коэффициенты не значимы. Фактически можно утверждать, что вероятность ошибки крайне мала и не превышает  $10^{-4}$ .

Коэффициент детерминации  $R^2$  даже в скорректированном виде составляет 0,986. То есть уравнение с 98,6 % вероятностью описывает изменчивость данных. Это же подтверждает и высокое значение критерия Фишера с расчётным уровнем значимости  $p-value = 6,62 \cdot 10^{-07}$ .

Тем не менее на графике заметно, что экспериментальные точки не идеально ложатся на кривую. Причиной может быть то, что в данном случае не учитывались режимы работы двигателя, а они в процессе наработки на отдельных временных интервалах могли отличаться.

По-другому обстоит дело с изменением кинематической вязкости. Даже линейная модель является достаточно сомнительной:

$$W = k_0 + k_1 T_H, \quad (4)$$

где  $W$  – вязкость кинематическая, мм<sup>2</sup>/с;  
 $k_0$  – свободный член уравнения;  
 $k_1$  – коэффициенты уравнения регрессии (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты статистической обработки при подборе уравнения регрессии (4)

Показатель	Подобранное значение	Сумма квадратов отклонений (SE)	Критерий Стьюдента (tStat)	Уровень значимости (p-value)
$k_0$	11,39	0,068842	165,46	$8,0037 \cdot 10^{-09}$
$k_1$	0,0011429	0,00045476	2,5131	0,065838

Количество наблюдений (Number of observations): 6  
 Число степеней свободы ошибок (Error degrees of freedom): 4  
 Среднеквадратичная ошибка (Root Mean Squared Error): 0,0951  
 Коэффициент детерминации  $R^2$ : 0,612  
 Скорректированный коэффициент детерминации (Adjusted)  $R_{кор}^2$ : 0,515  
 Критерий Фишера (F-statistic vs. constant model)  $F_{расч}$ : 6,32  
 Уровень значимости (p-value): 0,0658

Расчётное значение критерия Фишера для модели составляет  $F = 6,32$ , а уровень значимости нулевой гипотезы выше 0,05 ( $p-value = 0,0658$ ). Такой же уровень значимости и у коэффициента уравнения регрессии, отвечающего за линейную часть. Это говорит о достаточно высокой вероятности ошибки в случае, если мы считаем, что данные варьируются не случайным образом. В любом случае здесь не наблюдается какой-то однозначной закономерности. Вероятно, моделировать и пытаться учесть с помощью цифрового двойника изменение кинематической вязкости будет достаточно сложно, за исключением случаев периодического измерения, например с помощью экспресс-методов, и уточнения уравнения регрессии методами машинного обучения при каждом измерении. Такой цифровой двойник также будет позволять прогнозировать остаточный ресурс масла по изменению кинематической вязкости.

Интересные данные были проведены в работе [8]. Испытания проводились на двух транспортных средствах одной марки с одинаковым техническим состоянием и в одинаковых климатических условиях. Обработка данных, приведенных в источнике, позволила получить зависимость:

$$CH = a_1 \cdot e^{a_2 T_H N_e} + a_3 \cdot e^{a_4 T_H N_e}, \quad (5)$$

где  $N_e$  — нагрузка, %.

Статистические параметры модели приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты статистической обработки при подборе уравнения регрессии (5)

Показатель	Подобранное значение	Сумма квадратов отклонений (SE)	Критерий Стьюдента (tStat)	Уровень значимости (p-value)
$a_1$	1,507	0,059276	25,423	$6,8286 \cdot 10^{-20}$
$a_2$	-0,0001171	$1,0019 \cdot 10^{-05}$	-11,688	$7,4994 \cdot 10^{-12}$
$a_3$	0,29365	0,066765	4,3983	0,0001645
$a_4$	-0,0025057	0,0016736	-1,4972	0,1464

Количество наблюдений (Number of observations): 30  
Число степеней свободы ошибок (Error degrees of freedom): 26  
Среднеквадратичная ошибка (Root Mean Squared Error): 0,0743  
Коэффициент детерминации  $R^2$ : 0,969  
Скорректированный коэффициент детерминации (Adjusted)  $R_{кор}^2$ : 0,965  
Критерий Фишера ( $F$ -statistic vs. zero model)  $F_{расч}$ :  $2,04 \cdot 10^{+03}$   
Уровень значимости ( $p$ -value):  $4,54 \cdot 10^{-32}$

Таким образом, имеем модель в следующем виде:

$$CH = 1,507 \cdot e^{-0,0001171T_H N_e} + 0,2937 \cdot e^{-0,0025057T_H N_e}, \quad (6)$$

Очевидно, что модель статистически может быть принята. Об этом говорят высокий коэффициент детерминации и достаточно низкие уровни значимости ошибки по критерию Фишера и по двустороннему критерию Стьюдента. Также на двумерном графике видно, как экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на расчетную поверхность (рисунок 2), имеющую экспоненциальный характер.

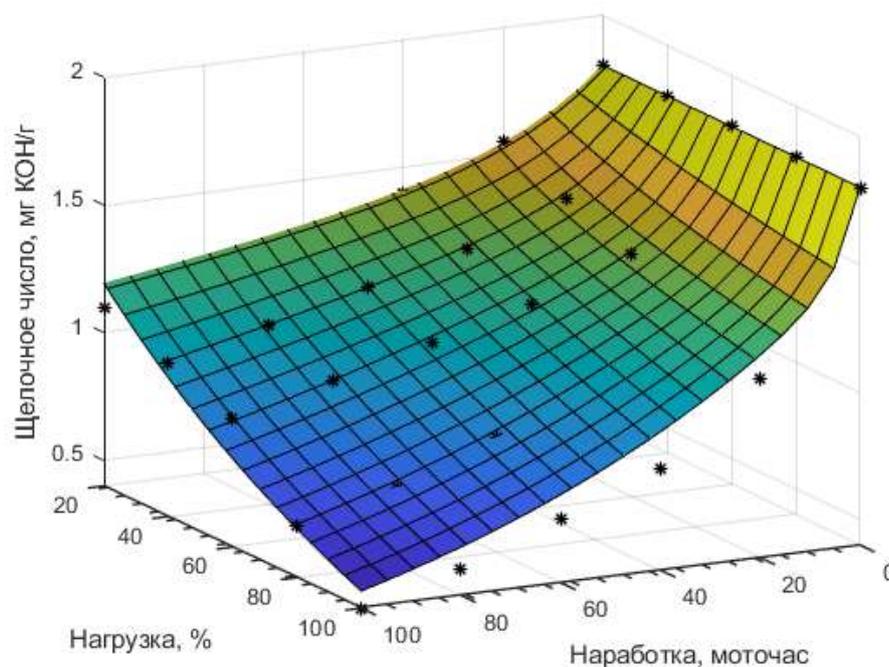


Рисунок 2 — Изменение щелочного числа моторного масла в зависимости от нагрузки двигателя по данным [8]

На данном этапе представляет интерес то, что фактически в экспоненциальной модели один из коэффициентов уравнения регрессии является линейно зависимым от нагрузки на двигатель. То есть, общая экспоненциальная зависимость деградации масла по времени эксплуатации может быть скорректирована в зависимости от режима работы двигателя.

Аналогичная ситуация наблюдается и при изменении щелочного числа при разных подачах масляного насоса (рисунок 3). Изменение подачи масляного насоса можно считать и эквивалентным изменению частоты вращения коленчатого вала, так как между этими параметрами имеется прямая конструктивная связь.

Приведенные результаты исследований подтверждают высказанный ранее тезис о экспоненциальной зависимости степени деградации моторного масла от времени эксплуатации и влиянии частоты вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель. Причём влияние режимных параметров в большей степени линейное. А рост нагрузки, как и рост частоты вращения коленчатого вала приводит к ускоренной деградации.

Аналогичный результат показывает и обработка данных, полученных в исследовании [4], для оценки влияния пробега грузовых автомобилей на изменение ресурса моторного масла. Обращает на себя внимание тот факт, что при одинаковых условиях эксплуатации процесс деградации моторного масла зависит от марки транспортного средства.

В работе [5] автором была проведена обработка экспериментальных данных, полученных в исследовании [13]. В результате получены зависимости изменения показателя «старения» моторного масла от различных факторов, в качестве которого принято щелочное число. При этом динамика изменения оценивалась по зависимостям относительной величины снижения  $\Delta SN$ . Были получены зависимости относительной величины снижения щелочного числа от наработки в моточасах при использовании различных моторных масел и при различной жесткости работы. В основном данные аппроксимировались линейными функциями. На наш взгляд, этот подход не дает возможности практического использования и может привести к ошибкам в прогнозах. Более перспективно оценивать остаточное щелочное число.

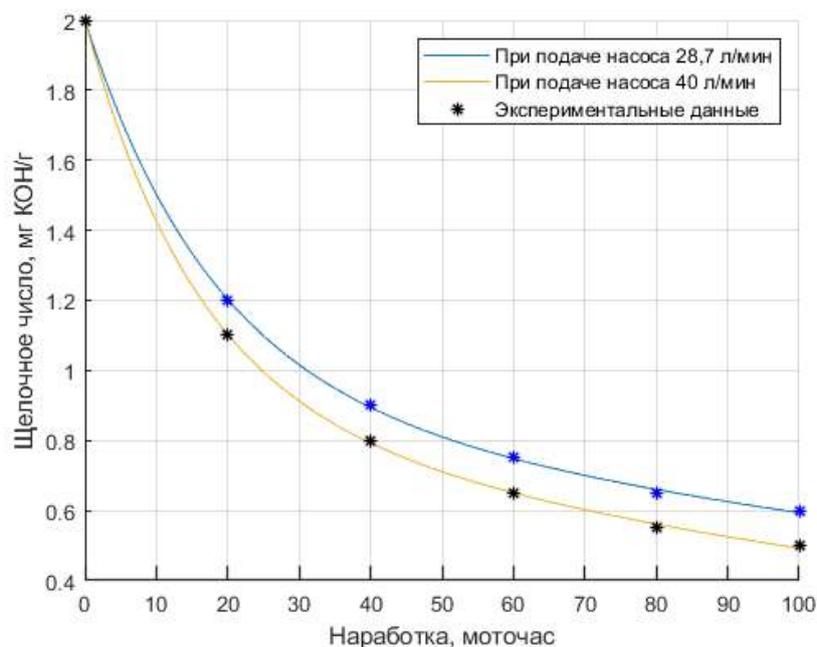


Рисунок 3 — Изменение щелочного числа моторного масла в зависимости от подачи масляного насоса по данным [8]

В таком случае также получается статистически обоснованная экспоненциальная зависимость:

$$SN\% = a_3 + a_1 \cdot e^{a_2 T_n}, \quad (7)$$

где  $SN\%$  — относительная величина снижения щелочного числа, %.

При этом коэффициент детерминации  $R^2 = 0,999$  (табл. 5), что существенно отличается от аналогичного  $R^2 = 0,8123$  [5], а, следовательно, модель точнее описывает изменение щелочного числа. При этом уровни значимости при проверках коэффициентов регрессии модели по критерию

Стьюдента и изменчивости модели по Фишеру не превышают 0,006. Что вместе свидетельствует о качестве модели. Это же видно и на рисунке 4.

Таблица 5 – Результаты статистической обработки при подборе уравнения регрессии (7)

Показатель	Подобранное значение	Сумма квадратов отклонений (SE)	Критерий Стьюдента (tStat)	Уровень значимости (p-value)
$a_1$	13.071	0.36149	36.159	0.00076395
$a_2$	-0.01847	0.0013908	-13.28	0.0056227
$a_3$	86.907	0.28117	309.09	$1.0467 \cdot 10^{-05}$

Количество наблюдений (Number of observations): 5  
 Число степеней свободы ошибок (Error degrees of freedom): 2  
 Среднеквадратичная ошибка (Root Mean Squared Error): 0,265  
 Коэффициент детерминации  $R^2$ : 0,999  
 Скорректированный коэффициент детерминации (Adjusted)  $R_{кор}^2$ : 0,997  
 Критерий Фишера (F-statistic vs. constant model)  $F_{расч}$ : 789  
 Уровень значимости (p-value): 0,00127

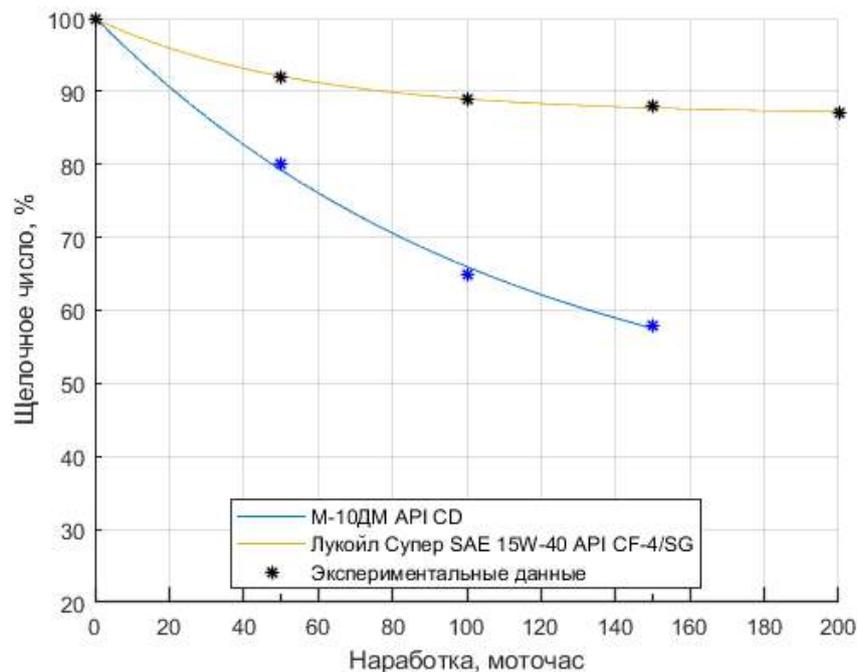


Рисунок 4 — Зависимости относительной величины снижения щелочного числа от наработки в моточасах при использовании различных моторных масел по данным [5, 13]

Встречаются и принципиально другие подходы для описания влияния различных факторов на деградацию масла. В работе [2] утверждается, что процесс старения масла сопровождается деградацией энергии и накоплением энтропии под влиянием следующих факторов:

- давление в масляной системе;
- скорость движения масла по каналам;
- температура масла в картере двигателя.

Основным разрушающим фактором, по мнению авторов, при моделировании будет являться рабочая температура масла в картере двигателя. А на основе теории энтропии была получена математическая модель для определения времени работы моторного масла в часах.

Давление в масляной системе и скорость движения масла напрямую зависит от частоты вращения масляного насоса. Как уже отмечалось выше, режим работы масляного насоса определяется частотой вращения коленчатого вала. Таким образом, все факторы, перечисленные в исследовании [2], также являются эксплуатационными. Однако, практическое использование предложенной зависимости вызывает сомнения. В первую очередь это связано с невозможностью измерения и достаточно точного определения некоторых переменных, входящих в предложенное уравнение.

**Заключение.** Проведенный анализ показал, что комплексным параметром, характеризующим работоспособность масла и изменяющимся в процессе эксплуатации, является его щелочное число. Основные факторы, влияющие на щелочное число — это время работы моторного масла и режим работы двигателя.

Изменения щелочного числа в зависимости от времени эксплуатации подчиняется экспоненциальным зависимостям и может быть достаточно точно смоделировано с коэффициентами детерминации от 0,965 до 0,999.

Влияние режима работы двигателя также может быть учтено в модели в качестве корректирующих зависимостей. Такой комплексный подход может позволить создать модель — цифровой двойник, который будет прогнозировать остаточный ресурс масла.

Модель должна иметь возможность корректировки или калибровки в зависимости от начального состояния моторного масла, залитого в двигатель, технического состояния и типа двигателя. Следует предусмотреть возможность корректировки работы цифрового двойника. Для этого может потребоваться промежуточный контроль состояния масла, например с помощью экспресс-лаборатории.

Изменение вязкости масла сложнее поддается моделированию, но при использовании экспресс-методов контроля данные могут быть переданы цифровому двойнику для машинного обучения и предсказания остаточного ресурса по данному параметру.

Другие контрольные параметры требуют отдельного рассмотрения и перспективным представляется их оценку осуществлять с помощью специальных датчиков или экспресс-методов.

Таким образом, имеющиеся данные говорят о возможности использования цифрового двойника для предсказания остаточного ресурса моторного масла. Это позволит более точно определять срок замены моторного масла, что экономически целесообразно с точки зрения полной выработки его ресурса, а в некоторых случаях позволит сохранить двигатель, предупредив о необходимости обслуживания. Наилучший результат может быть получен совместно с периодическим применением экспресс-методов контроля состояния моторного масла и использование результатов для корректировки работы цифрового двойника.

Данные, найденные в открытых источниках, дают принципиальное понимание закономерностей, но достаточно разрозненны: относятся к разным автомобилям, тракторам и типам моторных масел. Поэтому для создания цифрового двойника необходимы комплексные экспериментальные исследования, позволяющие оценить деградацию моторного масла на разных скоростных и нагрузочных режимах.

#### Список источников

1. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы / Л.С. Васильева. — М.: Транспорт, 1986. — 279 с.
2. Долгова, Л. А. Расчетное определение времени работы моторного масла в двигателе внутреннего сгорания / Л. А. Долгова, В. В. Салмин // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 3. – С. 47-53. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-72-3-47-53. – EDN QEDYPL.
3. Испытания трибодатчика для контроля уровня деградации масла / А. Ю. Корнев, В. В. Остриков, В. С. Вязинкин, И. Н. Шихалев // Наука в центральной России. – 2013. – № 4. – С. 14-18. – EDN RDLKHB.

4. Лаушкин, А. В. Результаты оценки влияния эксплуатационных факторов на кинематическую вязкость моторного масла / А. В. Лаушкин // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 80-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 25–26 января 2022 года / Под общей редакцией А.А. Солнцева. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – С. 78-82. – EDN MICVPA.
5. Назаров, Ф. Л. Факторы увеличения срока замены моторного масла в автомобильных дизельных двигателях / Ф. Л. Назаров // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 5. – С. 92-101. – DOI 10.25198/2077-7175-2023-5-92. – EDN FNCRAH.
6. ОСТ 102.25-87. Испытания сельскохозяйственной техники. Оценка эксплуатационных свойств топлива и смазочных материалов.
7. Остриков, В. В. Контроль работающих масел с помощью экспресс-методов оценки качества / В. В. Остриков, А. Ю. Корнев, И. В. Бусин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3(13). – С. 174-177. – EDN UBOAUT.
8. Оценка влияния эксплуатационных факторов на процесс старения моторного масла / Д.С. Голубев, М. Ю. Костенко, О.В. Ушаков, С. С. Штурманов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. — 2017. — № 3(35). — С. 91–97.
9. Патент № 2183018 С1 Российская Федерация, МПК G01N 31/22, G01N 21/78, G01N 33/28. Способ определения щелочного числа моторных масел : № 2001116755/04 : заявл. 15.06.2001 : опубл. 27.05.2002 / В. В. Остриков, Г. Д. Матыцин ; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве. – EDN VZGDFS.
10. Патент на полезную модель № 57007 U1 Российская Федерация, МПК G01N 11/10. Устройство для оценки загрязненности механическими примесями моторного масла двигателя внутреннего сгорания : № 2005140771/22 : заявл. 26.12.2005 : опубл. 27.09.2006 / С. В. Никонов, В. М. Пашенко, Е. В. Лунин ; заявитель ФГОУ ВПО Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора П.А. Костычева. – EDN VIRSXA.
11. РД 37.001.019-84 «Методика диагностирования технического состояния автомобильных дизельных двигателей по показателям работающего масла», М., 1984
12. Рябинин, А. А. Метод прогнозирования показателей термоокислительной стабильности синтетического моторного масла K1XX G1 5W-40 SN/CF / А. А. Рябинин, Н. В. Гейль, К. А. Большаков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2023. – № 1(155). – С. 52-61. – DOI 10.26730/1999-4125-2023-1-52-61. – EDN VOVVVO.
13. Динамика свойств моторного масла в эксплуатации как основа обоснования периодичности его замены для двигателей КАМАЗ нового поколения / А.Т. Кулаков [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2022. — № 6. — С. 31–37. —<https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-06-5>. — EDN: NEVXSU.

#### References

1. Vasilyeva L.S. Automotive operational materials / L.S. Vasilyeva. — М.: Transport, 1986. — 279 p.
2. Dolgova, L. A. Calculated determination of the operating time of engine oil in an internal combustion engine / L. A. Dolgova, V. V. Salmin // International Technical and Economic Journal. – 2020. – No. 3. – pp. 47-53. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-72-3-47-53. – EDN QEDYPL.
3. Tests of a tribosensor for controlling the level of oil degradation / A. Y. Kornev, V. V. Ostrikov, V. S. Vyazinkin, I. N. Shikhalev // Science in Central Russia. – 2013. – No. 4. – pp. 14-18. – EDN RDLKHB.
4. Laushkin, A.V. The results of assessing the influence of operational factors on the kinematic viscosity of engine oil / A.V. Laushkin // Actual issues of technical operation and car service of rolling stock of motor transport: A collection of scientific papers based on the materials of the 80th scientific-methodological and research conference MADI, Moscow, January 25-26, 2022 / Under the general

editorship of A.A. Solntsev. – Moscow: Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), 2022. – pp. 78-82. – EDN MICVPA.

5. Nazarov, F. L. Factors of increasing the period of engine oil replacement in automotive diesel engines / F. L. Nazarov // Intelligence. Innovation. Investment. - 2023. – No. 5. – pp. 92-101. – DOI 10.25198/2077-7175-2023-5-92. – EDN FNCRAH.

6. OST 102.25-87. Testing of agricultural machinery. Assessment of the operational properties of fuels and lubricants.

7. Ostrikov, V. V. Control of working oils using express methods of quality assessment / V. V. Ostrikov, A. Yu. Kornev, I. V. Busin // Innovations in agriculture. – 2015. – № 3(13). – Pp. 174-177. – EDN UBOAUT.

8. Assessment of the influence of operational factors on the aging process of engine oil / D.S. Golubev, M. Yu. Kostenko, O.V. Ushakov, S. S. Shturmanov // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. — 2017. — № 3(35). — Pp. 91-97.

9. Patent No. 2183018 C1 Russian Federation, IPC G01N 31/22, G01N 21/78, G01N 33/28. Method for determining the alkaline number of motor oils: No. 2001116755/04: application 15.06.2001: publ. 27.05.2002 / V. V. Ostrikov, G. D. Matytsin; applicant State Scientific Institution All-Russian Research and Design Institute for the Use of machinery and petroleum products in agriculture. – EDN VZGDFS.

10. Utility model patent No. 57007 U1 Russian Federation, IPC G01N 11/10. device for assessing contamination with mechanical impurities of engine oil of an internal combustion engine: No. 2005140771/22: application. 12/26/2005: publ. 09/27/2006 / S. V. Nikonov, V. M. Pashchenko, E. V. Lunin ; applicant FGOU VPO Ryazan State Agricultural Academy named after Professor P.A. Kostychev. – EDN VIRSXA.

11. RD 37.001.019-84 "Methodology for diagnosing the technical condition of automobile diesel engines according to the indicators of working oil", М., 1984

12. Ryabinin, A. A. Method of forecasting indicators of thermal oxidative stability of synthetic K1XX G1 5W-40 SN/CF engine oil / A. A. Ryabinin, N. V. Geil, K. A. Bolshakov // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2023. – № 1(155). – Pp. 52-61. – DOI 10.26730/1999-4125-2023-1-52-61. – EDN VOVVVO.

13. Dynamics of the properties of engine oil in operation as the basis for substantiating the frequency of its replacement for KAMAZ engines of a new generation / A.T. Kulakov [et al.] // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. — 2022. – No. 6. – pp. 31-37. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-06-5>. — EDN: NEVXSU.

#### **Информация об авторах**

А.В. Химченко – кандидат технических наук, доцент; В.И. Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; В.В. Остриков – доктор технических наук, профессор; Е.А. Григорьев – аспирант; Д.В. Юшко – студент.

#### **Information about the authors**

A. Himchenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; V. Orobinsky – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor; V. Ostrikov – Doctor of Technical Sciences; E. Grigorev – graduate student; D. Yushko – 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): 16.05.2024 Принята к публикации (Accepted): 25.06.2024

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](mailto:studiapechati@bk.ru).

Дата выхода в свет 28.06.2024. Заказ № 24.

Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Гарнитура Times. Объем – 16,91 усл. печ. л. Тираж 100 экз.