ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2020 № 6(48)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

Тишанинову Николаю Петровичу 70 лет!

Тишанинов Н.П. работает в ФГБНУ ВНИИТиН со дня его основания. Начав свой творческий путь в 1973 г. инженером еще в филиале ВИЭСХ, он в 1980 г. стал старшим научным сотрудником вновь организованного института ВИИТиН. В 1982 г., уже будучи кандидатом технических наук, он был назначен заведующим лабораторией «Использования техники в животноводстве». С изменением тематика лаборатории в 1986 г. и по настоящее время Николай Петрович является руководителем лаборатории «Управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве».

Своим трудом он заслужил высокий авторитет и уважение коллег. Присущие ему высокий профессионализм, ответственность, целеустремлённость и грамотный подход к решению поставленных задач, заслуживают уважения и гордости. Его работы отличаются глубиной научных познаний, серьёзной теоретической проработкой, широким диапазоном экспериментальных исследований.

Под руководством Тишанинова Н.П. разработаны: методология оценки эффективности использования техники и технологий; система управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве; не имеющая аналогов технология переработки гречихи в крупу; средства малой механизации для крестьянских и фермерских хозяйств. Под его руководством создан новый класс технических средств для управления потоками сыпучих материалов. Разработана расширенная база знаний по динамике процессов триерной очистки зерна, позволяющая многократно повысить эффективность их использования. За период профессиональной деятельности Тишанинов Н.П. подготовил 16 кандидатов и докторов наук.

Уважаемый Николай Петрович!

Примите наши самые искренние поздравления с юбилеем! Во всех жизненных обстоятельствах Вы всегда являете пример жизненной стойкости. Опытный и энергичный наставник, Вы не раз успешно доказывали умение оперативно и профессионально решать самые сложные и ответственные задачи. От всего сердца желаем Вам дальнейших побед и достижений на профессиональном поприще. Не сомневаемся, что богатый жизненный опыт, организаторский талант, взвешенность принимаемых решений и впредь будут способствовать успешной реализации Ваших самых смелых планов и начинаний. Счастья, добра и благополучия Вам и Вашей семье!

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine

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

№ 6 (48), 2020 г.

Основанв 2012 г. **It is based in 2012.**

Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

Учредитель и издатель журнала:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (**ФГБНУ ВНИИТИН**)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

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

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

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

ЖАЛНИН Эдуард Викторович – заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор

ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович – главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ

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

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

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

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

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

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

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

BIANCO Vincenzo – Department of mechanical, energy, management end transportation engineering, Univercity of Genoa, Italy, Ph.D., Associate Professor

VIGDOROVITSCH Michael – Geschäftsführer ANGARA GmbH, Düsseldorf, Deutschland, doktor fiziko-matematicheskih nauk (Doktor der physikalischen und mathematischen Wissenschaften) Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry Russian Academy of Sciences

Редакция

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

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

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

№ 6 (48). Дата выхода в свет 31.12.2020. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская область, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru

Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.

Печатное издание журнал «Наука в Центральной России» зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г.

© «Наука в центральной России», 2020

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 6 (48), 2020 г.

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

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

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

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

ЕРОХИН Геннадий Николаевич – заведующий лабораторией эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

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

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

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

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

БАЛАБАНОВ Виктор Иванович – заведующий кафедрой «Мелиоративных и строительных машин» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, профессор.

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

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

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

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – заведующий лабораторией альтернативных источников энергии взамен жидкого топлив ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

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

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

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – главный научный сотрудник лаборатории использования альтернативных источников энергии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

© «Наука в центральной России», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лебедев А.Т., Павлюк Р.В., Сабынин Г.К., Чирва П.М., Шибитов Д.А.
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕМ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ НА ПОЛУГУСЕНИЧНЫЙ ХОД 5
Шварц А.А., Шварц С.А., Секретарев А.П., Ветров И.Ю.
ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНОГО НАПОРА ЛОПАСТНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА НА ТРАЕКТОРИЮ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ГРАНУЛИРОВАННОГО УДОБРЕНИЯ 12
Шварц А.А., Коротков И.В., Ветров И.Ю., Беседин В.В., Князева Л.Г.
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ..... 21
Завражнов А.И., Кольцов С.М.
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ХРАНЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В КАГАТАХ 30
Оробинский В.И., Гиевский А.М., Чернышов А.В., Баскаков И.В.
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ В ПНЕВМОСИСТЕМАХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН..... 37
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайиин Х.Д.Д.
КАЧЕСТВО ТРИЕРНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ ПРИМЕСИ ИЗ ЯЧМЕНЯ..... 45
Канищев А.С., Ломовских А.Е., Агафонов А.К., Рябчук А.С., Борисов С.В.
СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛУНЖЕРНОЙ ПАРЫ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ..... 51
Ломовских А.Е., Сазонов С.Н., Щепелев А.Ю., Армянинов И.С., Маматказин Т.Р., Прилепин О.Е.
ПРОНИКАЮЩАЯ СМАЗКА ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ 60
Канищев А.С., Сазонов С.Н., Томилов А.А., Ломовских А.Е., Борисов С.В., Рябчук А.С.
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЛИЯНИЮ СОСТАВА И КАЧЕСТВА ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ..... 70
Дунаев А.В., Родионов Ю.В., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Рябчук А.С., Макаркин И.М.
АПРОБИРОВАННОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕРВИСА АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ..... 81
Остриков В.В., Корнев А.Ю.
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВ И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АПК..... 91
Петрашев А.И., Таха Ф.
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСОЛЬНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО НОЖА 100
Урядникова М.Н., Урядников А.А., Родионова Л.Д., Брыксина В.А., Королева Д.В.
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ СЕРИИ «ИНКОРГАЗ» МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧКЕСКОЙ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В СРЕДАХ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРОВОДОРОДА..... 110

CONTENTS

Lebedev A., Pavlyuk R., Sabynin G., Chirva P., Shibitov D.
ON THE QUESTION OF INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES BY CONVERTING WHEEL TRACTORS TO SEMI-TRUCK 5
Schwartz A., Schwartz S., Secretary A., Vetrov I.
INFLUENCE OF AIR PRESSURE OF THE BLADE WORKING BODY ON THE TRAJECTORY OF GRANULATED FERTILIZER PARTICLES 13
Schwartz A., Korotkov I., Vetrov I., Besedin V., Knyazeva L.
POTENTIAL OPPORTUNITIES OF ORGANIC FERTILIZER IN CROP 22
Zavrazhnov A., Koltsov S.
RESEARCH METHODS OF SUGAR BEET STORAGE 30
Orobinsky V., Gievsky A., Chernyshov A., Baskakov I.
POSSIBILITIES OF USING DIAMETRAL FANS IN PNEUMATIC SYSTEMS OF GRAIN CLEANING MACHINES 37
Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K. Alshinayin H.J.J.
QUALITY OF TRIER SEPARATION OF GRAIN ADMIXTURE FROM BARLEY 45
Kanishchev A., Lomovskih A., Agafonov A., Ryabchuk A., Borisov S.
METHOD AND DEVICE FOR RESTORING THE PLUNGER PAIR OF A HIGH-PRESSURE FUEL PUMP 52
Lomovskih A., Sazonov S., Shepelev A., Armyaninov I., Mamatkazin T., Prilepin O.
HIGHLY ACTIVE LUBRICANT FOR THREADED CONNECTIONS 60
Kanishchev A., Sazonov S., Tomilov A., Lomovskih A., Borisov S., Ryabchuk A.
EXPERIMENTAL RESEARCH PROCEDURE BY THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION AND QUALITY OF THE WATER-DIESEL MIXTURE ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE 70
Dunaev A., Rodionov Y., Lomovskih A., Sviridov A., Ryabchuk A., Makarcin I.
TESTED SERVICE IMPROVEMENT OF AUTO TRACTOR ENGINES 81
Ostrikov V., Kornev A.
ACTUAL PROBLEMS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE FUELS AND LUBRICANTS IN AIC 91
Petrashev A., Taha F.
MODELING OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE CANTILEVER HYDRAULIC KNIFE 100
Uryadnikova M., Uryadnikov A., Rodionova L., Bryksina V., Koroleva D.
ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF INKORGAS SERIES INHIBITORS BY THE METHOD OF ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY IN MEDIA WITH A HIGH CONTENT OF HYDROGEN SULFUR 111

УДК 631.312.021.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-5-12

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕМ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ НА ПОЛУГУСЕНИЧНЫЙ ХОД

[1]Лебедев Анатолий Тимофеевич
[1]Павлюк Роман Владимирович
[1]Сабынин Геннадий Константинович
[2]Чирва Петр Михайлович
[2]Шибитов Дмитрий Александрович

[1]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»
[2]ООО «ТД МТЗ-Ставрополь»

Реферат. *Анализ существующих подходов, связанных с вопросами повышения эффективности технологических процессов (ТП) при производстве сельскохозяйственной продукции, показывает, что большинство из них построено на принципах системного анализа случайных процессов с использованием методов теории вероятности. Предложена обобщенная модель совершенствования производства сельскохозяйственной продукции, учитывающая преимущества ранее разработанных моделей и большое многообразие факторов, оказывающих влияние на анализируемую технологию. Определено, что в настоящее время полугусеничный ход (ПГХ) находит все более широкое применение как при модернизации колесных движителей тракторов, находящихся в эксплуатации, так и при производстве новых тракторов и комбайнов. Рассмотрена рациональность переоборудования колесных тракторов на ПГХ с точки зрения увеличения его тяговых характеристик. Для расчета потенциальной тяговой характеристики трактора принят ПГХ, разработанный производственной компанией «Тракторные системы Русстех», и усовершенствованный в ООО «Торговый Дом МТЗ Ставрополь», где и в настоящее время продолжаются его испытания и доработки. В ходе расчетов установлено, что тяговое усилие трактора МТЗ-80ПГХ при оптимальных скоростях движения в 1,83 раза выше, чем в стандартном исполнении МТЗ-80, где эта величина составляет 13,54кН. Полученная потенциальная тяговая характеристика свидетельствует об увеличении тягового класса переоборудованного трактора с 1,4 до 2,0, что позволяет расширить тяговые возможности тракторов с ПГХ.*

Ключевые слова: *технологический процесс, эффективность, комплект полугусеничного хода, трактор, мощность.*

ON THE QUESTION OF INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES BY CONVERTING WHEEL TRACTORS TO SEMI-TRUCK

[1]Lebedev Anatoly
[1]Pavlyuk Roman
[1]Sabynin Gennady
[2]Chirva Petr
[2]Shibitov Dmitry

[1]FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"
[2]LLC "Trading House MTZ-Stavropol"

Abstract*. Analysis of existing approaches related to the issues of increasing the efficiency of technological processes (TP) in the production of agricultural products shows that most of them are based on the principles of system analysis of random processes using methods of the theory of probability. A generalized model for improving the production of agricultural products is proposed, taking into account the advantages of previously developed models and a wide variety of factors influencing the analyzed technology. It was determined that at present, the half-track (HTC) is increasingly used both in the modernization of the wheel propellers of tractors in operation, and in the production of new tractors and combines. The rationality of re-equipment of wheeled tractors at HTC*

from the point of view of increasing its traction characteristics is considered. The HTC, developed by the manufacturing company Tractor Systems Rustech, and improved by OOO MTZ Stavropol Trading House, where its tests and modifications are still ongoing, was adopted to calculate the potential traction characteristics of the tractor. It was established in the course of calculations that the tractive effort of the MTZ-80PGH tractor at optimal travel speeds is 1.83 times higher than in the standard MTZ-80, where this value is 13.54 kN. The obtained potential traction characteristic indicates an increase in the traction class of the converted tractor from 1.4 to 2.0, which makes it possible to expand the traction capabilities of tractors with UGH.

Keywords: *technological process, efficiency, half-track set, tractor, power.*

Введение. Среди основных приоритетных задач развития агропромышленного комплекса (АПК) можно выделить не только постоянное наращивание выпуска и объемов сельскохозяйственной продукции для обеспечения продовольственной безопасности и независимости страны, но и обеспечения ее конкурентоспособности. Современные сельскохозяйственные технологии предусматривают выпуск разнообразной продукции растениеводства и животноводства, но уровень затрат и эффективность ее производства зависит от многих факторов и их взаимного сочетания(социально-экономические и природно-климатические условия, организационно-производственные, технико-экономические, технологические и другие факторы).

В настоящее время в научной литературе представлено достаточно большое количество различных подходов и направлений, рассматривающих вопросы повышения эффективности технологических процессов (ТП) при производстве сельскохозяйственной продукции. Большинство из этих подходов построены на принципах системного анализа случайных процессов с использованием методов теории вероятности [1, 2]. Предложенная нами обобщенная модель совершенствования производства сельскохозяйственной продукции, учитывает преимущества ранее разработанных моделей, а также большое многообразие факторов, оказывающих влияние на анализируемую технологию. Любой ТП рассматривается как сложная система, в которой случайным образом взаимодействуют объективные и субъективные факторы как подсистемы и элементы этой сложной системы. На основе анализа выявляются связи и зависимости между ними, а на выходе из системы формируется итог взаимодействия в виде «результата ТП». Полученный результат оценивается обобщенным критерием качества, а также показателями надежности и эффективности ТП. Обобщенная модель оценки ТП позволяет выявить направления совершенствования существующих и вновь разрабатываемых технологий. Представленная методика и объективные показатели оценки ТП вскрывают сложные механизмы формирования неодинакового конечного «результата» предприятий, находящихся в одинаковых условиях и реализующих одинаковые ТП. На основе выполненных исследований по предлагаемой методике разрабатываются реальные мероприятия повышения эффективности ТП [1, 2].

Многочисленная реализация предложенного подхода на практике показывает, что при сформировавшихся социально-политических и организационно-производственных условиях влияние этих подсистем на формирование конечного результата можно принять постоянным. Наибольшее влияние на уровень затрат, качество и количество получаемой продукции в реальных условиях оказывают технические средства, входящих в «триаду» основоположника «Земледельческой механики» академика В. П. Горячкина, подсистема «энергосредство - рабочая машина - среда». Как известно, важным этапом жизненного цикла технических средств является их эксплуатация. В этот период реализуется и поддерживается надежность машин, заложенная при проектировании и достигнутая при их производстве. При этом качество выполнения операции будет определяться достигнутым техническим уровнем машины (или рабочего органа) и состоянием контактируемой среды. Например, степень крошения почвы и качество подрезания сорняков при работе культиватора определяется соответствием между фактическими и установленными конструктивными параметрами стрельчатой лапы, а также состоянием и свойствами почвы, видом сорняков и другими параметрами. При работе тракторов их тягово-сцепные свойства зависят от типа движителя (колесный, гусеничный и др.), который заложен изготовителем, и от состояния среды. [1, 3, 4].

Материалы и методы. Анализ выполненных теоретических и экспериментальных исследований, учитывающих реальные производственные условия, позволил выделить

модернизацию и переоборудование технических средств, как самостоятельное направление снижения себестоимости получаемой продукции и повышения эффективности ТП [1, 5, 6].

Как показывает практика, особенно эффективны мероприятия по модернизации тракторов общего назначения и универсально-пропашных. Эффективность определяется их массовым применением и высокой годовой загрузкой по сравнению с сельскохозяйственными машинами. Так, переоборудование дизельных двигателей тракторов К-701 и МТЗ-82, в газодизельные с использованием компримированного природного газа, позволяет снизить затраты топлива на 35 – 42 % и значительно увеличить эффективность ТП почвообработки [1, 7, 8].

В настоящее время такой способ модернизации тракторов и перевод их на использование альтернативных источников топлива, нашел широкое применение, как в сельскохозяйственном производстве, так и в других отраслях экономики. Но несмотря на ощутимые резервы в возможном повышении эффективности ТП за счет такой модернизации тракторов, следует отметить, что уровень снижения общих затрат будет зависеть от степени соответствия эксплуатационных показателей трактора условиям эксплуатации, при его работе в составе машинно-тракторного агрегата (МТА). В итоге переоборудованный трактор должен обеспечивать необходимую тяговую мощность для различных МТА, и на различных почвенных фонах. В реальных условиях тракторы, обладая большой мощностью, не всегда могут ее реализовать при выполнении технологических операций. В результате ухудшаются их эксплуатационные показатели, и снижается эффективность ТП. Снижение тяговых свойств происходит из-за буксования движителей на почвах несвязных или повышенной влажности, в большей степени это относится к колесным движителям тракторов.

Для устранения буксования и улучшения тягово-сцепных свойств колесных тракторов на практике применяют несколько способов увеличения давления на ведущие колеса. Наиболее простой, и доступный способ осуществляется догрузкой ведущих колес различным балластом в виде металлических грузов. Можно догружать ведущие колеса незамерзающими жидкостями, залитыми в камеры ведущих колес. Но не всегда такие меры оправданы из-за значительных затрат времени и труда при выполнении работ.

Зачастую при буксовании применяют блокировку дифференциала колесного трактора. Этот метод допустим, когда имеются небольшие участки почвы с низкими сцепными свойствами. Но при поворотах трактора блокировку необходимо отключать и не использовать ее постоянно для предотвращения поломок и перегрузок ведущих мостов.

Возможно использование догружателя ведущих колес, который перераспределяет часть массы навесного орудия на ведущие колеса, или дополнительный ведущий мост.

Особо хотелось отметить применение полугусеничного хода (ПГХ). Этот метод получил широкое распространение в сельском хозяйстве на выполнении различных операций. ПГХ устанавливается на комбайны, самоходные машины и трактора. Данное переоборудование позволяет более эффективно использовать сельскохозяйственную технику в различных условиях эксплуатации.

В настоящее время ПГХ находит все более широкое применение как при модернизации колесных движителей тракторов, находящихся в эксплуатации, так и при производстве новых тракторов и комбайнов. Иностранными фирмами-производителями разработаны несколько комплектов ПГХ, которые можно применять для определенных моделей тракторов. Но при этом стоимость такой модернизации может превышать базовую стоимость трактора в 2…10 раз.

Среди основных эксплуатационных показателей трактора можно укрупненно выделить качество работы (в том числе уплотнение обрабатываемой почвы), его тяговые характеристики и эксплуатационную надежность. Несмотря на безусловную значимость и весомость всех эксплуатационных показателей, для принятия решения о целесообразности переоборудования трактора на ПГХ, в данном исследовании представим теоретические расчеты потенциальной тяговой характеристики, на примере универсально-пропашного трактора МТЗ-80.

Для переоборудования тракторов, находящихся в реальных условиях эксплуатации, на ПГХ используют комплектующие от гусеничных тракторов или комбайнов. Такие конструкции полугусеничного хода имеют множество отличий по компоновке, комплектации и исполнению. Для расчета потенциальной тяговой характеристики трактора примем ПГХ, разработанный производственной компанией «Тракторные системы Русстех» г. Тверь [9]. После некоторой доработки данный ПГХ был установлен на трактор МТЗ-80.1 в ООО «Торговый Дом МТЗ Ставрополь», где и в настоящее время продолжаются его испытания и доработки [10].

Исходный комплект ПГХ выполнен из узлов от ходовой части трактора ДТ-75. Он включает в себя ведущую звездочку, ленивцы, каретки и металлические гусеницы стандартной ширины. Узлы и детали закреплены на двух полурамах сварной конструкции (рисунок 1).

Рисунок 1 – Полугусеничный ход конструкции «Тракторные системы Русстех»

Для расчета потенциальных тяговых характеристик трактора по методике [11] используем исходные данные, представленные в таблице 1, в качестве агрофона принимается – стерня зерновых колосовых культур, поле без уклона.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	МТЗ-80	МТЗ-80-ПГХ
N_e^H, кВт – номинальная эффективная мощность двигателя	58,8	58,8
G, кН – эксплуатационный вес трактора	36,6	51,6
η_M – механический КПД	0,915	0,87
δ_Δ, – допустимый коэффициент буксования движителей	0,18	0,07
μ– коэффициент сцепления движителя трактора с почвой	0,8	0,9
f – коэффициент сопротивления качению	0,07	0,08
λ – доля веса трактора, приходящаяся на движитель	0,67	0,67
$V_{min}^P \ldots V_{max}^P$ – минимальная и максимальная рабочие скорости	2…18,4	1…8,6

Тяговые возможности трактора можно рассматривать с позиции мощности его двигателя и мощности, определяемой его сцепными свойствами.

Значение скорости υ_μ, при которой достигается максимальное тяговое усилие, вычисляется по формуле (1) [11]:

$$\upsilon_\mu = \frac{N_e^H}{G \cdot \lambda \cdot \mu}, \quad (1)$$

Изменение тяговой мощности $N_{\text{кр}}^{\mu}$ в зоне недостаточного сцепления, определяется диапазоном скоростей от $\upsilon_{\min}$ до υ_{μ} по следующей зависимости:

$$N_{\text{кр}}^{\mu} = \frac{\text{G}\cdot v}{3{,}6}[\lambda \cdot \mu(1-\delta_{\Delta}) - f], \quad (2)$$

Максимальное возможное тяговое усилие $P_{\text{кр}}^{max}$ определяем из выражения:

$$P_{\text{кр}}^{max} = \text{G}[\lambda \cdot \mu(1-\delta_{\Delta}) - f]. \quad (3)$$

Определим оптимальную скорость $\upsilon_{\text{опт}}^{\text{р}}$ трактора, при которой достигается $N_{\text{кр}}^{max}$:

$$\upsilon_{\text{опт}}^{\text{р}} = \sqrt{\frac{3{,}6N_{\text{e}}^{\text{H}}\eta_{\text{M}}\upsilon_{\mu}\delta_{\Delta}}{\text{G}f}}. \quad (4)$$

Отметим, что при условии $\upsilon_{\text{опт}}^{\text{р}} \leq \upsilon_{\mu}$, когда буксование превышает допустимые пределы, то $v_{\text{опт}} = \upsilon_{\mu}$, и $\delta_{\text{опт}} = \delta_{\Delta}$.

Оптимальное тяговое усилие трактора $P_{кр}^{опт}$, будет соответствовать максимальной тяговой мощности $N_{\text{кр}}^{max}$и рассчитывается:

$$P_{\text{кр}}^{\text{опт}} = \frac{3{,}6N_{\text{e}}^{\text{H}}\eta_{\text{M}}(1-\delta_{\text{опт}})}{v_{\text{опт}}} - \text{G}f. \quad (5)$$

В свою очередь, максимальная тяговая мощность трактора$N_{\text{кр}}^{max}$, будет устанавливаться по выражению:

$$N_{\text{кр}}^{max} = N_{\text{e}}^{\text{H}}\eta_{\text{M}}(1-\delta_{\text{опт}}) - \frac{\text{G}v_{\text{опт}}f}{3{,}6}. \quad (6)$$

Соответственно, промежуточные значения $N_{кр}^{H}$ и $P_{кр}^{H}$ в зоне достаточного сцепления движителей трактора будут находиться по формулам (5) и (6) в зависимости от изменения скоростей движения и коэффициентов буксования.

Результаты и их обсуждение. Полученные результаты расчетов занесем в таблицы 2 и 3 для удобства использования.

Таблица 2 – Показатели потенциальной тяговой характеристики МТЗ-80

Параметры	$\upsilon_{\mu} = 9{,}87$ км/ч; $v_{\text{опт}} = 11{,}6$ км/ч; $\delta_{\text{опт}} = 0{,}15$; $P_{\text{кр}}^{max} = 13{,}54$ кН; $P_{\text{кр}}^{\text{опт}} = 11{,}63$ кН; $N_{\text{кр}}^{max} = 37{,}48$ кВт.					
υ, км/ч - скорость движения	$\upsilon_{\min} = 2$	$\upsilon_{\mu} = 9{,}87$	12	15	18	20
δ – коэффициент буксования	0,18	0,18	0,148	0,118	0,1	0,089
$N_{кр}^{H}$, кВт – мощность движителя	7,51	37,082	37,3	36,77	35,6	34,77
$P_{кр}^{H}$, кН – тяговое усилие	13,542	13,542	11,19	8,83	6,61	6,25
$\eta_{кр}$– коэффициент полезного действия	0,128	0,637	0,634	0,625	0,605	0,591

Таблица 3 – Показатели потенциальной тяговой характеристики МТЗ-80-ПГХ

Параметры	$\upsilon_{\mu} = 6{,}55$ км/ч; $v_{\text{опт}} = 6{,}55$ км/ч; $\delta_{\text{опт}} = 0{,}07$; $P_{\text{кр}}^{max} = 24{,}8$ кН; $P_{\text{кр}}^{\text{опт}} = 24{,}8$ кН; $N_{\text{кр}}^{max} = 40{,}782$ кВт.				
υ, км/ч	$\upsilon_{\min} = 1$	$\upsilon_{\mu} = 6{,}55$	7	8	10
δ	0,07	0,07	0,06	0,051	0,041
$N_{кр}^{H}$, кВт	6,9	40,764	40,53	39,06	37,58
$P_{кр}^{H}$, кН	24,8	24,8	20,44	17,73	13,53
$\eta_{кр}$	0,117	0,693	0,689	0,664	0,639

Анализ табличных данных показывает, что коэффициент полезного действия изменяется при переоборудовании на ПГХ с 0,637 до 0,693 и увеличивается в 1,09 раза, что является достаточно высоким показателем в условиях рядовой эксплуатации. Уменьшение скорости движения трактора МТЗ-80ПГХ связано с уменьшением диаметра звездочки по сравнению со стандартным задним колесом. При этом имея незначительное изменение оптимального значения скорости для МТЗ-80 ПГХ, но производительность трактора может возрасти за счет снижения буксования и увеличения тяговой мощности в зоне недостаточного сцепления. Рассмотрим это графически (рисунок 2).

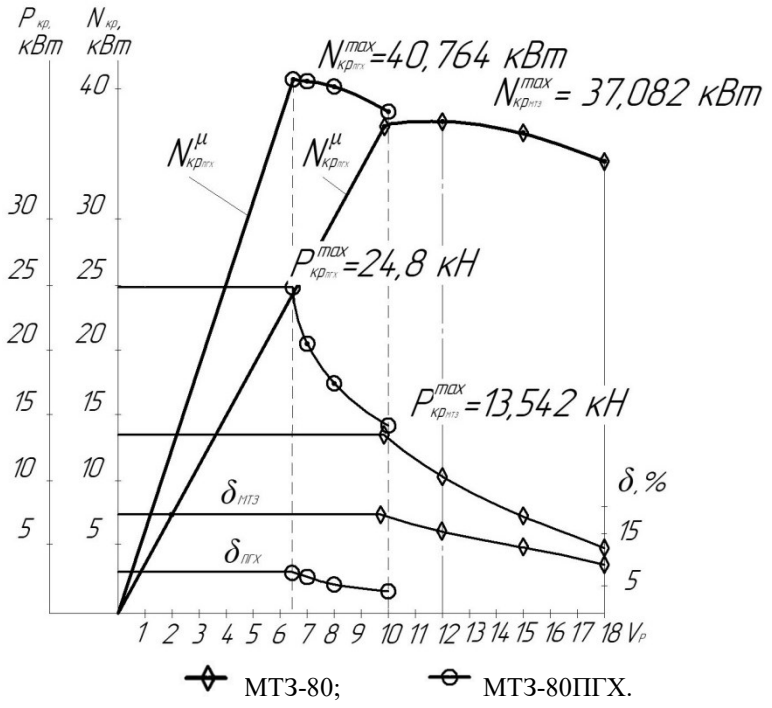


Рисунок 2 – Потенциальная тяговая характеристика тракторов

Из рисунка видно, что для трактора МТЗ-80 ПГХ максимальная тяговая мощность составляет $N_{\text{кр}}^{max} = 40{,}782$ кВт и достигается она при оптимальной скорости $\upsilon_{\mu_{\text{МТЗ}-\text{ПГХ}}} = 6{,}55$км/ч, которая является границей между зонами достаточного и недостаточного сцепления с почвой. В интервале скоростей от начала движения до указанного значения тяговые свойства трактора будут ограничены его сцепными свойствами. Причем в этом диапазоне скоростей тяговое усилие трактора максимальное и имеет постоянное значение, равное 24,8 кН, наряду с коэффициентом буксования – 0,07. При этом достигается максимальный (условный) КПД трактора.

Тяговое усилие трактора МТЗ-80ПГХ при оптимальных скоростях движения в 1,83 раза выше, чем в стандартном исполнении МТЗ-80, где эта величина составляет 13,54 кН. Таким образом, полученная потенциальная тяговая характеристика свидетельствует об увеличении тягового класса переоборудованного трактора с 1,4 до 2,0, что позволяет расширить тяговые возможности тракторов с ПГХ.

Заключение. Предложенный подход по повышению эффективности технологических процессов позволил определить рациональность переоборудованием колесных тракторов на полугусеничный ход с точки зрения увеличения его тяговых характеристик. Это дает возможность более универсального использования стандартного колесного трактора. В дальнейшем требуются дополнительные исследования по повышению эффективности технологических процессов данного переоборудования на ПГХ с точки зрения надежности конструкции, качества выполнения операции и общих затрат на модернизацию.

Список литературы

1. Лебедев А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: Монография. – Ставрополь, 2012. – 376 с.

2. Лебедев А.Т. Оценка технических средств при их выборе: Монография. – Ставрополь, 2011. – 124 с.

3. Водолазская Н.В., Стребков С.В. Надежность и эксплуатация технических систем: Монография. – Белгород, 2017. –151 с.

4. Pavlyuk R.V., Lebedev A.T., Zacharin A.V., Lebedev P.A. Calculation of the transmitted torque upgraded fixed connection // Engineering for Rural Development. – 2017. – Vol. 16. – P. 207–211.

5. Бондарева Г.И., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Качество сельскохозяйственной техники и контроль при ее производстве и ремонте // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 3. – С. 30–32.

6. Липкович И.Э. Механико-эргономическое обоснование человекомашинных систем в агроинженерной сфере растениеводства: дисс. … докт. техн. наук: 05.20.01 – Зерноград, 2004. – 788 с.

7. Наумов О.П., Лебедев А.Т.Повышение эксплуатационных показателей газодизельного трактора К-701 // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. –№ 7. – С. 29-30.

8. Наумов О.П. Теоретический метод комплексной оценки эффективности тракторных битопливных систем // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2009. – № 4. – С. 20-24.

9. Гибридный трактор МТЗ «Беларус» на полугусеничном ходу: особенности, достоинства и недостатки / URL: https://zen.yandex.ru/media/tractor/gibridnyi-traktor-mtz-belarus-na-polugusenichnom-hodu-osobennosti-dostoinstva-i-nedostatki-5f8e5f3875135c1999415b9b (дата обращения 23.11.2020).

10. Торговый дом МТЗ — Ставрополь / URL: http://www.mtz-yug.ru. (дата обращения 23.11.2020).

11. Карабаницкий А.П., Левшукова О.А.. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов: учеб. пособие – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 104 с.

References

1. Lebedev A.T. Resursosberegajushhie napravlenija povyshenija nadezhnosti i jeffektivnosti tehnologicheskih processov v APK: Monografija. – Stavropol', 2012. – 376 s.

2. Lebedev A.T. Ocenka tehnicheskih sredstv pri ih vybore: Monografija. – Stavropol', 2011. – 124 s.

3. Vodolazskaja N.V., Strebkov S.V. Nadezhnost' i jekspluatacija tehnicheskih sistem: Monografija. – Belgorod, 2017. –151 s.

4. Pavlyuk R.V., Lebedev A.T., Zacharin A.V., Lebedev P.A. Calculation of the transmitted torque upgraded fixed connection // Engineering for Rural Development. – 2017. – Vol. 16. – P. 207–211.

5. Bondareva G.I., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Kachestvo sel'skohozjajstvennoj tehniki i kontrol' pri ee proizvodstve i remonte // Traktory i sel'hozmashiny. – 2016. – № 3. – S. 30–32.

6. Lipkovich I.Je. Mehaniko-jergonomicheskoe obosnovanie chelovekomashinnyh sistem v agroinzhenernoj sfere rastenievodstva: diss. … dokt. tehn. nauk: 05.20.01 – Zernograd, 2004. – 788 s.

7. Naumov O.P., Lebedev A.T.Povyshenie jekspluatacionnyh pokazatelej gazodizel'nogo traktora K-701 // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2007. –№ 7. – S. 29-30.

8. Naumov O.P. Teoreticheskij metod kompleksnoj ocenki jeffektivnosti traktornyh bitoplivnyh sistem // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. 2009. – № 4. – S. 20-24.

9. Gibridnyj traktor MTZ «Belarus» na polugusenichnom hodu: osobennosti, dostoinstva i nedostatki / URL: https://zen.yandex.ru/media/tractor/gibridnyi-traktor-mtz-belarus-na-polugusenichnom-hodu-osobennosti-dostoinstva-i-nedostatki-5f8e5f3875135c1999415b9b (data obrashhenija 23.11.2020).

10. Torgovyj dom MTZ — Stavropol' / URL: http://www.mtz-yug.ru. (data obrashhenija 23.11.2020).

11. Karabanickij A.P., Levshukova O.A.. Teoreticheskoe obosnovanie parametrov jenergosberegajushhih mashinno-traktornyh agregatov: ucheb. posobie – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 104 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Лебедев Анатолий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», Россия, г. Ставрополь, e-mail: lebedev.1962@mail.ru.

Павлюк Роман Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», Россия, г. Ставрополь, e-mail: roman_pavlyuk_v@mail.ru.

Сабынин Геннадий Константинович – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет», Россия, г. Ставрополь.

Чирва Петр Михайлович – генеральный директор ООО «Торговый Дом МТЗ-Ставрополь», Россия, г. Ставрополь, e-mail: td_mtz-stavropol@mail.ru.

Шибитов Дмитрий Александрович – первый заместитель генерального директора ООО «Торговый Дом МТЗ-Ставрополь», Россия, г. Ставрополь, e-mail: td_mtz-stavropol@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

LebedevAnatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol, e-mail: lebedev. 1962@mail.ru.

Pavlyuk Roman – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol, e-mail: roman_pavlyuk_v@mail.ru.

Sabynin Gennady – master's student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol.

Chirva Petr – General Director of LLC “Trading House MTZ-Stavropol”, Russia, Stavropol, e-mail: td_mtz-stavropol@mail.ru.

Shibitov Dmitry – First Deputy General Director of LLC “Trading House MTZ-Stavropol”, Russia, Stavropol, e-mail: td_mtz-stavropol@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 10.12.2020

УДК 681.3:631.333.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-12-21

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНОГО НАПОРА ЛОПАСТНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА НА ТРАЕКТОРИЮ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ГРАНУЛИРОВАННОГО УДОБРЕНИЯ

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Шварц Сергей Анатольевич
[1]Секретарев Александр Петрович
[1]Ветров Иван Юрьевич
[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Реферат. *Для получения полной картины движения частиц гранулированного органо-минерального удобрения при разбрасывании необходимо изучить процесс влияния воздушного потока на движение частиц, а также учесть сопротивления воздуха. Выбрасываемые гранулы органических и минеральных удобрений имеют различную массу и траекторию полета, что снижает равномерность распределения вносимых удобрений. Изучали влияние основных параметров воздушного напора на дальность полета и траекторию полета частиц гранулированного удобрения в реальной среде. Исследования проводятся графоаналитическим методом, путем изучения зависимостей и анализа траектории полета частицы с учетом действующих на нее сил. Учитывали, что свободный полет единичной гранулы без учета сопротивления воздуха выглядит как парабола. Анализ теоретических данных позволил вывести аналитические зависимости траектории движения гранул в условиях реальной воздушной среды. Получили уравнение, позволяющее аналитически определить скорость гранулированной частицы на участке разгона. Предложили уравнение траектории движения удобрения, по которому можно определить дальность бросания и равномерность внесения гранулированных удобрений. Установили, что изменение скорости тела в наклонном воздушном потоке зависит от его скорости витания. В начальный момент времени тело движется ускоренно, причем ускорение уменьшается по мере приближения скорости тела к предельной, после чего тело продолжает. Полученные данные в дальнейшем планируется использовать для сравнения теоретических данных с реальными, полученные путем проведения эксперимента.*

Ключевые слова: *гранулированные удобрения, разбрасыватель с горизонтальной осью вращения, воздушный напор, траектория движения, сопротивление воздуха.*

INFLUENCE OF AIR PRESSURE OF THE BLADE WORKING BODY ON THE TRAJECTORY OF GRANULATED FERTILIZER PARTICLES

[1]Schwartz Anatoly
[1]Schwartz Sergey
[1]Secretary Alexander
[1]Vetrov Ivan

[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract*. The process of the effect of air flow on the movement of particles must be studied, and also air resistance must be taken into account to obtain a complete picture of the movement of particles of granular organo-mineral fertilizers during spreading. The discarded granules of organic and mineral fertilizers have different mass and flight trajectory, which reduces the uniformity of distribution of the applied fertilizers. The influence of the main parameters of the air pressure on the flight range and the flight trajectory of the granular fertilizer particles in a real environment was studied. The studies are carried out by the graphical-analytical method, by studying the dependencies and analyzing the trajectory of a particle's flight, taking into account the forces acting on it. It was taken into account that the free flight of a single granule without taking into account air resistance looks like a parabola. The analysis of theoretical data made it possible to derive analytical dependences of the trajectory of motion of the granules in a real air environment. The equation that allows you to analytically determine the speed of a granular particle in the acceleration section was obtained. The equation of the trajectory of the fertilizer movement, by which it is possible to determine the throwing distance and the uniformity of the application of granular fertilizers, was proposed. It was found that the change in the speed of a body in an inclined air flow depends on its soaring speed. The body moves with acceleration at the initial moment of time, and the acceleration decreases as the body's speed approaches the limit, after which the body continues. In the future, the obtained data are planned to be used to compare theoretical data with real data obtained through the experiment.*

Keywords: *granular fertilizers, spreader with a horizontal axis of rotation, air pressure, trajectory, air resistance.*

Введение. Существует множество технических средств для химизации. Это обусловлено, прежде всего, большим разнообразием тяговой энергетики, видов и физико-механических свойств удобрений. Тем не менее для реализации интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и высокоэффективных агротехнических приемов применения удобрений нет соответствующих технических средств. Выпуск же необходимого большого разнообразия машин по внесению всех видов удобрений требует большого количества коррозионностойкого металла, вызывает трудности с производством и организацией их эксплуатации. Поэтому решить проблему комплексной механизации внесения минеральных удобрений и химических мелиоратов можно изучив вопрос траектории движения гранул удобрения в реальной среде с последующими выводам о влиянии воздушной среды на равномерность внесения.

Для оценки равномерности необходимо вывести аналитические зависимости траектории полета гранулированных удобрений от скорости во время отрыва от лопатки, а также учесть воздушный напор, создаваемый лопастями разбрасывателя и силу сопротивления воздуха.

Материалы и методы. Свободный полет единичной гранулы без учета сопротивления воздуха выглядит как парабола (рисунок 1), уравнение такой траектории в прямоугольной системе координат с началом в точке О имеет вид:

$$y = xtg\alpha_0 - \frac{gx^2}{2\vartheta_0^2 cos^2 \alpha_0}, \quad (1)$$

где x и y – координаты центра массы гранулы; α_0 – величина угла наклона траектории в момент начала свободного полета к горизонту, т. е. величина угла вылета частицы, которая в дальнейшем будет называться угол метания (бросания); υ_0 – величина начальной скорости вылета гранулы, в дальнейшем ее будем называть скорость метания (бросания).

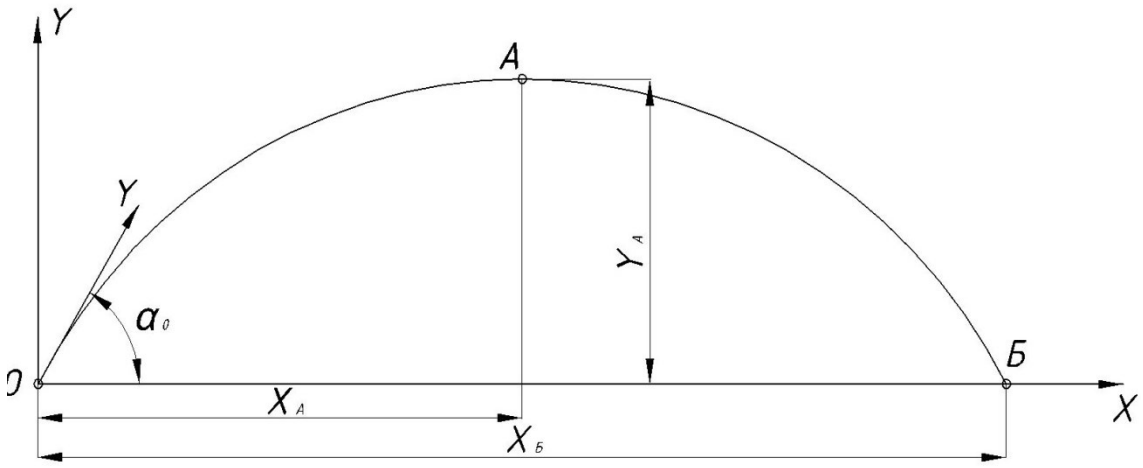


Рисунок 1 – Траектория свободного полета единичной гранулы

Величина дальности полета брошенной частицы равна расстоянию между точками О (рисунок 1) и Б.

Приняв в уравнении (1) $y = 0$, получим

$$xtg\alpha_0 - \frac{gx^2}{2\vartheta_0^2\, cos^2\, \alpha_0} = x\left(tg\alpha_0 - \frac{gx}{2\vartheta_0^2\, cos^2\, \alpha_0}\right) = 0. \quad (2)$$

При решении уравнения (2) возможны два случая:

1) $x_1=0$, что соответствует точке О начала бросания тела;

2) $$x_Б = \frac{\vartheta_0^2}{g} sin\, 2\, \alpha_0, \quad (3)$$

что соответствует координате точки Б падения тела.

Наибольшая дальность полета достигается при $sin\, 2\, \alpha_0 = 1$, т.е. при $\alpha_0 = 45°$или $\frac{\pi}{2} - 45°$. Поэтому

$$x_{max} = \frac{\vartheta_0^2}{g} \quad . \quad (4)$$

Уравнение движения центра масс частицы в параметрической форме примет вид:

$$x = \vartheta_0 t\, cos\, \alpha_0; \quad (5)$$

$$y = \vartheta_0 t\, sin\, \alpha_0 - \frac{gt^2}{2}, \quad (6)$$

где t – время свободного полета тела.

В точке А (рисунок 1) частица достигнет наивысшего положения на траектории. Найдем выражение, которое определяет ординату точки А для этого из уравнения (6) вычислим

$$\frac{dy}{dt} = \vartheta_0\, sin\, \alpha_0 - gt, \quad (7)$$

где $\frac{dy}{dt} = \vartheta_y$ – проекция реальной скорости движения гранулы на ось *y*.

В точке А

$$\vartheta_y = \frac{dy}{dt} = 0. \quad (8)$$

Таким образом

$$\vartheta_0\, sin\, \alpha_0 - gt_A = 0 \quad (9)$$

или

$$t_A = \frac{\vartheta_0\, sin\, 2\, \alpha_0}{g}. \quad (10)$$

Из совместного решения уравнений (5), (6) и (10) получаем систему уравнений для нахождения координаты наивысшего положения траектории (точка А) (см. рисунок 1)

$$\begin{cases} x_A = \dfrac{\vartheta_0^2}{2g} sin\, 2\,\alpha_0; \\ y_A = \dfrac{\vartheta_0^2}{2g} sin^2\,\alpha_0\,. \end{cases} \quad (11)$$

При исследовании свободного полета тела, брошенного под углом к горизонту, необходимо учитывать такие физические факторы, как парусность, вязкость воздуха, состояние воздушной среды (неподвижная или подвижная), вращение тела.

Процесс обтекания воздухом различных тел чрезвычайно сложный. Наблюдениями и теоретическими исследованиями движения плохо обтекаемых тел в реальной среде установлено, что у поверхности обтекаемого тела возникают и развиваются завихрения, которые обусловливают появление силы сопротивления воздуха [1].

При медленно движущихся телах незначительного размера (пыль в воздухе) сопротивление воздуха изменяется прямо пропорционально скорости движения. В таком случае сила сопротивления среды движению тела определяется по формуле Стокса

$$R = 6\pi\mu r\vartheta, \quad (12)$$

где μ – коэффициент внутреннего трения среды; r – радиус тела (шара); ϑ – скорость тела.

Однако, с увеличением размеров и скорости движения тела эта закономерность нарушается. Н.Е. Жуковский [2], основываясь на экспериментах, утверждал, что сила сопротивления среды зависит от квадрата скорости движения тела, если величина скорости перемещения ϑ находится в пределах от 18 до 38 м/с. В таком случае

$$R = \vartheta^2 d^2 \gamma_в f\left(\frac{1}{Re}\right), \quad (13)$$

где d – характерный линейный размер, определяющий форму и размеры движущегося тела; $\gamma_в$ – плотность массы воздуха; $Re = \frac{\vartheta d}{\nu}\gamma_в -$ число Рейнольдса; ν – кинематическая вязкость воздуха; $f\left(\frac{1}{Re}\right) = C_x$ – коэффициент лобового сопротивления.

Выражение (13) можно записать в виде

$$R = C_x \vartheta^2 d^2 \gamma_в. \quad (14)$$

Н.Е. Жуковский отмечает, что если величина скорости движения тела меньше 18 м/сек, то показатель степени при ϑ несколько меньше двух, а для ϑ больше 38 м/сек — он несколько больше двух.

Исследованиями свободного полета компонентов насыпного груза струей установлено, что сопротивления воздуха движению определяются первой $f(\vartheta) = a\vartheta$ или второй степенью $f(\vartheta) = a\vartheta^2$ скорости движения компонентов, где a и b – коэффициенты пропорциональности.

Уравнения свободного полета тела, брошенного под углом к горизонту, составляются в прямоугольной системе координат Оху, начало которой совпадает с точкой бросания тела. Если принять, что тело имеет форму шара (вращение которого существенно не влияет на динамику полета) массой m и свободный полет протекает в неподвижной воздушной среде, то при этом на тело действуют (рисунок 2) силы инерции, сила тяжести mg, направленная вертикально вниз, равнодействующая сил сопротивлений воздуха R, направленная по касательной к траектории в сторону, противоположную направлению относительной скорости (сила R является функцией скорости ϑ).

Дифференциальное уравнение движения центра массы тела в проекциях на касательную и нормаль, проведенные к траектории, запишется

$$ma_н = mgcos\alpha; \quad (15)$$

$$ma_к = -mgsin\alpha - R, \quad (16)$$

где $a_н = \frac{\vartheta^2}{r} -$ нормальное ускорение тела; r – радиус кривизны траектории в данном положении тела; $a_к = \frac{d\vartheta}{dt}$ – касательное ускорение тела.

Известно, что кривизна $K = -\frac{d\alpha}{ds}$. Знак минус в правой части показывает, что угол α уменьшается с возрастанием дуги s.

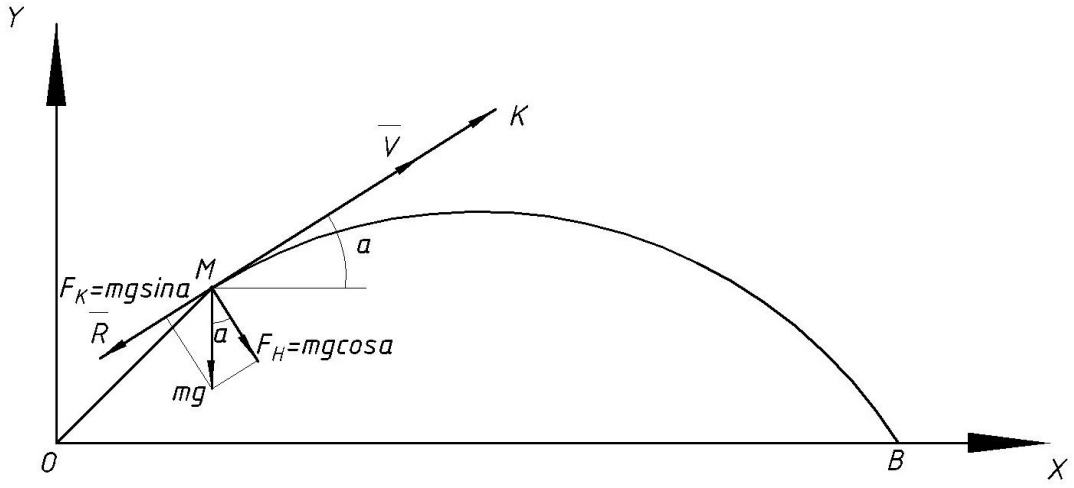


Рисунок 2 – Схема к выводу уравнения свободного полета тела М
с учетом сопротивления воздуха

Следовательно, радиус кривизны

$$r = \frac{1}{K} = -\frac{ds}{d\alpha} = -\frac{ds}{dt}\frac{dt}{d\alpha} = -\vartheta\frac{dt}{d\alpha}. \quad (17)$$

С учетом обозначений, принятых в уравнениях (15 и 16) запишем

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{g\cos\alpha}{\vartheta}; \quad (18)$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -g\sin\alpha - f(\vartheta). \quad (19)$$

Исключив *dt,* получим

$$\frac{d\vartheta}{d\alpha} = \vartheta tg\alpha + \frac{\vartheta f(\vartheta)}{g\cos\alpha}. \quad (20)$$

Дифференциальные уравнения (15 и 16) устанавливают зависимость между скоростями и действующими сопротивлениями воздуха движению тела, с одной стороны, и внешними силами — с другой. Эти уравнения справедливы для бесконечно малого пространственного объема и бесконечно малого интервала времени.

Решение уравнения (20), удовлетворяющее начальным условиям задачи ($\alpha = \alpha_0$ и ϑ=ϑ_0), устанавливает связь между величиной относительной скорости и углом между направлением этой скорости и горизонтальной плоскостью. Это решение является уравнением годографа скорости в полярных координатах, которое имеет вид

$$\vartheta = \psi(\alpha). \quad (21)$$

Известно, что

$$dx = \vartheta_x dt = \vartheta\cos\alpha\, dt; \quad dy = \vartheta_y dt = \vartheta\sin\alpha\, dt. \quad (22)$$

Решив уравнения, получим

$$dx = -\frac{1}{g}\psi^2(\alpha)\, d\alpha; \quad dy = -\frac{1}{g}\psi^2(\alpha)\, tg\,\alpha\, d\alpha. \quad (23)$$

Интегрирование уравнения (23) при начальных условиях x_0=0, y_0=0 и $\alpha = \alpha_0$ позволит определить

$$x = -\frac{1}{g}\int_{\alpha_0}^{\alpha} \psi^2(\alpha)d\alpha\,;$$
$$y = -\frac{1}{g}\int_{\alpha_0}^{\alpha} \psi^2(\alpha)tg\,\alpha\,d\alpha. \quad (24)$$

Уравнения (24) позволяют аналитически найти параметры свободного полета тела, если известно решение уравнения (21), которое получено из исходного дифференциального уравнения (20).

Уравнения движения центра массы тела при сопротивлении среды, пропорциональном первой степени скорости, можно получить при условии, что сила R определяется выражением

$$R = mf(\vartheta) = mC_n\vartheta, \quad (25)$$

где m – масса тела; $C_n = C_x\frac{d^2\gamma_в}{m}$ —коэффициент парусности.

В таком случае уравнение (20) запишется

$$\frac{d\vartheta}{dx} = \vartheta\ tg\ \alpha + \frac{C_n\vartheta^2}{g\cos\alpha}\ . \quad (26)$$

Из совместного решения уравнений (24) и (26) получим уравнение движения центра массы тела

$$y = x\ tg\ \alpha_0 + \frac{g}{C_n\vartheta_0\cos\alpha_0}x + \frac{g}{C_n^2}1n\left(1 - \frac{C_nx}{\vartheta_0\cos\alpha_0}\right). \quad (27)$$

Величина скорости движения тела может быть выражена

$$\vartheta = \sqrt{(\vartheta_0\cos\alpha_0 e^{-C_nt})^2} + \left[\vartheta_0\sin\alpha_0\, e^{-C_nt} - \vartheta_{вит}\left(1 - \ e^{-C_nt}\right)^2\right],$$

где e – основание натуральных логарифмов; $\vartheta_{вит}$ – скорость витания в *м/сек; t* – время свободного полета тела в *сек.*

Проекции скорости свободного полета тела на оси координат:

$$\vartheta_x = \vartheta\cos\alpha = \vartheta_0\cos\alpha_0 e^{-C_nt};$$
$$\vartheta_y = \vartheta\sin\alpha = \left(\frac{g}{C_n} + \vartheta_0\sin\alpha_0\right)e^{-C_nt} - \frac{g}{C_n}. \quad (28)$$

Время *t* полета тела до любого произвольного положения его на траектории равно

$$t = -\frac{1}{C_n}1n\left(1 - \frac{C_nx}{\vartheta_0\,cos\,\alpha_0}\right). \quad (29)$$

Дальность полета брошенного тела

$$x = \frac{\vartheta_0\,cos\,\alpha_0}{C_n}\left(1 - e^{C_nt}\right). \quad (30)$$

Угол наклона касательной к горизонту в любом положении тела на траектории

$$tg\ \alpha = tg\ \alpha_0 + \frac{\vartheta_{вит}}{\vartheta_0\,cos\,\alpha_0}\left(1 - e^{C_nt}\right). \quad (31)$$

Выражения (28) – (31) позволяют численно решать задачи. Из выражения (27) можно найти значения *y,* соответствующие дальности свободного полета *x.* Задаваясь значениями *x,* определяют время полета по выражению (29), а по величине *t* – скорость движения тела из выражения (28) и угол α из выражения (31).

Уравнения движения центра массы тела при сопротивлении среды, пропорциональном второй степени скорости. Такие уравнения получают при условии, что сила *R* определяется выражением

$$R = mf(\vartheta) = mC_n\vartheta^2, \quad (32)$$

где $C_n = \frac{g}{\vartheta_{вит}^2}$ – коэффициент парусности; g = 9,81 м/с^2 – ускорение силы тяжести; $\vartheta_{вит}$ − скорость витания в м/с.

В таком случае уравнение (20) запишется

$$\frac{d\vartheta}{dx} = \vartheta\ tg\ \alpha + \frac{\vartheta^3}{\vartheta_{вит}^2\cos\alpha}. \quad (33)$$

Решение уравнения (33) при начальных условиях t = 0, $\alpha = \alpha_0$ и $\vartheta = \vartheta_0$ запишется в виде

$$\vartheta = \vartheta_0\vartheta_{вит}\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha}\frac{1}{\sqrt{K(\vartheta_{вит}^2 + \vartheta_0^2cos^2\alpha_0}}, \quad (34)$$

где $K = \sec\alpha_0\ tg\ \alpha_0 - \sec\alpha\ tg\ \alpha + \ln tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\alpha_0}{2}\right) - \ln tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\alpha}{2}\right)$.

По уравнению (34) можно определить скорость свободного полета тела ϑ при любых его положениях на траектории, определяемых углом α. При этом должна быть известна скорость ϑ_0, угол α_0 бросания тела, а также его скорость витания $\vartheta_{вит}$.

Дифференциальные уравнения движения центра массы тела с учетом сопротивления воздуха по квадратичному закону точно не интегрируются в аналитическом виде и получаемые уравнения, описывающие траекторию, дальность полета, скорость и время полета, сложны в конечном виде [3]. Чтобы облегчить решение таких задач, некоторые исследователи рекомендуют приближенно решать задачи и численно интегрировать их по методу последовательных сближений.

Учитывая, что при α_0 = 0 – 15° величина cos α_0 изменяется незначительно (в пределах 1 – 0,966), Л.Г. Лойцянский и А.И. Лурье [4] в результате приближенного интегрирования получили уравнения:

скорости полета тела

$$\vartheta\cos\alpha = \vartheta_0\cos\alpha_0 e^{-\zeta}; \tag{35}$$

угла наклона касательной к траектории по отношению к горизонту

$$tg\ \alpha = tg\ \alpha_0 - \frac{g}{2C_n\vartheta_0^2\cos\alpha_0}\left(e^{2\zeta}-1\right); \tag{36}$$

траектория свободного полета тела

$$y = xtg\ \alpha_0 - \frac{g}{4C_n^2\vartheta_0^2}\left(e^{2\zeta}-2\zeta-1\right), \tag{37}$$

где $\zeta = \frac{C_n x}{\cos\alpha_0}$.

Если разложить правую часть уравнения (37) в ряд по степеням ζ, то после некоторых сокращений будем иметь

$$y = xtg\ \alpha_0 - \frac{gx^2}{2\vartheta_0^2\cos^2\alpha_0} - \frac{gC_nx^3}{3\vartheta_0^2\cos^2\alpha_0} - \cdots \tag{38}$$

В первых двух членах уравнения (38) нет коэффициента парусности C_n. Это уравнение без третьего члена соответствует уравнению (1) траектории свободного полета тела в безвоздушном пространстве. Таким образом, третий член уравнения (38) вносит поправку на влияние сопротивления воздуха. Следовательно, действительная траектория располагается ниже траектории свободного полета тела в безвоздушном пространстве.

Взаимодействие воздушного потока и находящихся в нем твердых тел изучалось многими исследователями. Однако сведений о расчете и конструировании пневмомеханических разбрасывателей удобрений имеется пока недостаточно. Наиболее полно исследовал влияние напора воздуха на частицу Н.М. Хлобыстов.

При решении вопроса о скорости тела в наклонном воздушном потоке Н.М. Хлобыстов принял следующие допущения: тело движется по трубопроводу, не касаясь его стенок; скорость воздуха по сечению трубы постоянна; начальная скорость движения тела в направлении воздушного потока равна нулю; скорость воздуха по длине трубы не изменяется [5].

В процессе движения на тело будут действовать силы (рисунок 3): P_X – сила лобового давления воздуха, направленная по оси X, G – сила тяжести; P_Y – подъемная сила, направленная по оси Y. При рабочей скорости воздушного потока $\vartheta_В$ сила $G\cos\alpha$уравновешенная подъемной силой P_Y и не оказывает заметного влияния на движение тела.

Для разбираемого случая уравнение движения запишется

$$m\frac{d\vartheta_m}{dt} = P_x - G\sin\alpha, \tag{39}$$

где m – масса тела; ϑ_m – абсолютная скорость тела; t – время движения тела; $m\frac{d\vartheta_m}{dt}$ – движущая сила.

Сила лобового давления воздуха на тело определяется формулой Ньютона

$$P_X = C_X F\frac{\gamma_в}{g}(\vartheta_в - \vartheta_m)^2, \tag{40}$$

где C_X– коэффициент лобового сопротивления тела; F – площадь миделевого сечения тела; $\gamma_в$ – плотность массы воздуха; g – ускорение свободного падения; $\vartheta_в$ – скорость воздуха.

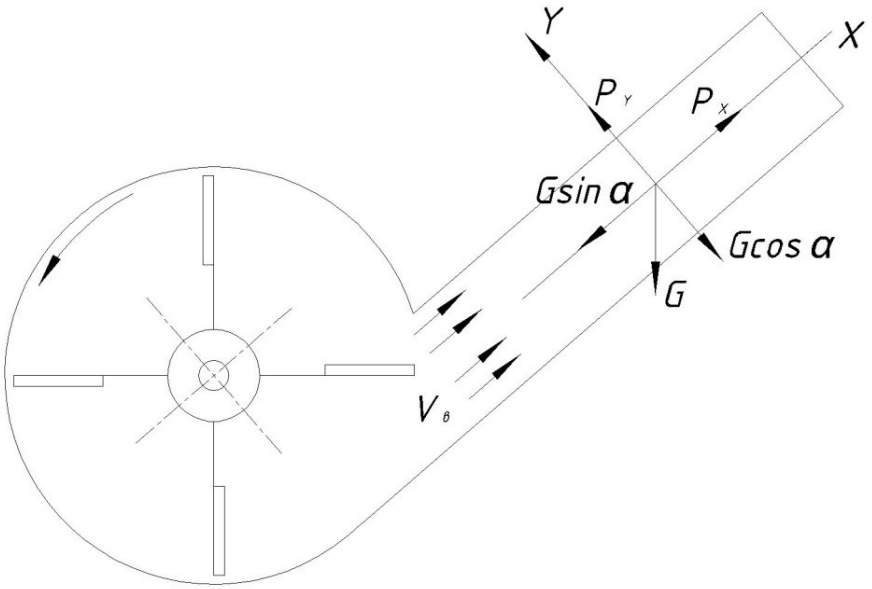


Рисунок 3 – Силы, действующие на тело в наклонном потоке воздуха

Подставив в уравнение (39) значение P_X и поделив на m, получим

$$\frac{d\vartheta_m}{dt} = C_X F \frac{\gamma_в}{G}(\vartheta_в - \vartheta_m)^2 - g\sin\alpha. \quad (41)$$

Обозначив $C_X F \frac{\gamma_в}{G} = C_n$, C_n – коэффициент парусности; $\vartheta_{отн} = \vartheta_в - \vartheta_m$, $\vartheta_{отн}$ - относительная скорость или $\vartheta_m = \vartheta_в - \vartheta_{отн}$ и $\frac{d\vartheta_m}{dt} = -\frac{d\vartheta_{отн}}{dt}$. Подставив принятые обозначения в уравнение (41), будем иметь

$$\frac{d\vartheta_{отн}}{dt} = g\sin\alpha - C_n\vartheta_{отн}^2. \quad (42)$$

Решив уравнение (42), получим

$$\vartheta_{отн} = \frac{\vartheta_в\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}\left(1 + e^{2tC_n\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}}\right) - \frac{g\sin\alpha}{C_n}\left(1 - e^{2tC_n\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}}\right)}{\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}\left(1 + e^{2tC_n\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}}\right) + \vartheta_в\left(e^{2tC_n\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}} - 1\right)}, \quad (43)$$

где e – основание натурального логарифма.

Учитывая, что $\vartheta_m = \vartheta_в - \vartheta_{отн}$, и введя значение гиперболического тангенса, получим

$$\vartheta_m = \vartheta_в - \frac{\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}\left(\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}thtC_n\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}} + \vartheta_в\right)}{\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}} + \vartheta_в thtC_n\sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_n}}}. \quad (44)$$

Формула (44) позволяет аналитически определить скорость тела на участке разгона.

Известно, что гиперболический тангенс при возрастании аргумента стремится к единице, поэтому из уравнения (44) следует, что с течением времени скорость стремится к предельному значению [6]

$$\vartheta_{mn} = \vartheta_в - \sqrt{\frac{g\sin\alpha}{C_{nn}}}, \quad (45)$$

где ϑ_{mn}– предельная скорость тела; $C_{nn} = C_{xn}F\frac{\gamma_в}{g}$ – коэффициент парусности при ϑ_{mn}; C_{xn} – коэффициент лобового сопротивления тела при ϑ_{mn}.

Подставив значение коэффициента парусности $C_{nв}$ при скорости витания $\vartheta_{вит}$ в выражение (44), получим

$$\vartheta_m = \vartheta_в - \frac{\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}\left(\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}\,thtC_n\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha+\vartheta_в}\right)}{\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}+\vartheta_в thtC_n\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha_в}}, \quad (46)$$

где $n = \frac{C_{nв}}{C_n} > 1$, для шара Н.М. Хлобыстов экспериментально получил n = 1 – 2.

Из последней формулы ясно, что изменение скорости тела в наклонном воздушном потоке зависит от его скорости витания. В начальный момент времени тело движется ускоренно, причем ускорение уменьшается по мере приближения скорости тела к предельной, после чего тело продолжает движение с постоянной скоростью.

Выводы. Абсолютное значение предельной скорости определяется скоростью воздушного потока. Чем выше скорость воздуха, тем быстрее возрастает скорость тела и тем больше абсолютная величина предельной скорости.

Таким образом, учитывая влияние скорости воздушного напора, уравнение движения центра масс гранулы примет вид:

$$\begin{cases} x = \left(\vartheta_в - \frac{\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}\left(\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}\,thtC_n\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha+\vartheta_в}\right)}{\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}+\vartheta_в thtC_n\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha_в}}\right)t\cos\alpha_0\,, \\ y = \left(\vartheta_в - \frac{\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}\left(\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}\,thtC_n\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha+\vartheta_в}\right)}{\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha}+\vartheta_в thtC_n\vartheta_{вит}\sqrt{n\sin\alpha_в}}\right)t\sin\alpha_0 - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (47)$$

Список литературы

1. Долголенко А.А. Теория движения сыпучего материала по вращающемуся диску. // Труды Ленинградского институту инженеров водного транспорта. – Вып. 11. – 1939. – С. 129 – 148.

2. Жуковский Н.Е. Теоретические основы воздухоплавания. Собр. Соч. т. VI. – М.: Гостеортехиздат, 1950. – 623 с.

3. Кукибный А.А. О причинах непостоянства величины и направления скоростей зерен, бросаемых зернометом // Труды Киевского технологического института пищевой промышленности. – Вып. 24. – 1961. – С. 162 – 167.

4. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. Ч. II. – М.-Л.: Гостехтеориздат, 1955. – 640 с.

5. Попов В.М. Механизация закладочных работ. – М.: Металлургиздат, 1951. – 119 с.

6. Успенский В.А. Пневматический транспорт. – Свердловск – Москва: Металлургиздат, 1952. – 152 с.

References

1. Dolgolenko A.A. Teorija dvizhenija sypuchego materiala po vrashhajushhemusja disku. // Trudy Leningradskogo institutu inzhenerov vodnogo transporta. – Vyp. 11. – 1939. – S. 129 – 148.

2. Zhukovskij N.E. Teoreticheskie osnovy vozduhoplavanija. Sobr. Soch. t. VI. – M.: Gosteortehizdat, 1950. – 623 s.

3. Kukibnyj A.A. O prichinah nepostojanstva velichiny i napravlenija skorostej zeren, brosaemyh zernometom // Trudy Kievskogo tehnologicheskogo instituta pishhevoj promyshlennosti. – Vyp. 24. – 1961. – S. 162 – 167.

4. Lojcjanskij L.G., Lur'e A.I. Kurs teoreticheskoj mehaniki. Ch. II. – M.-L.: Gostehteorizdat, 1955. – 640 s.

5. Popov V.M. Mehanizacija zakladochnyh rabot. – M.: Metallurgizdat, 1951. – 119 s.

6. Uspenskij V.A. Pnevmaticheskij transport. – Sverdlovsk – Moskva: Metallurgizdat, 1952. – 152 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

Секретарев Александр Петрович – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Ветров Иван Юрьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

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

Shvartz Sergey – Candidate of Technical Sciences, Director of LLC “Meridian”, Russia Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Sekretarev Alexander – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Vetrov Ivan – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 28.06.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.11.2020

УДК 631.812
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-21-29

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Коротков Илья Владимирович
[1]Ветров Иван Юрьевич
[1]Беседин Владимир Владимирович
[2]Князева Лариса Геннадьевна

[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Рассмотрены характеристики органических удобрений из навоза крупного-рогатого скота (КРС) и свиней, птичьего помета. Отмечено, что на современных крупных животноводческих агрофирмах ежегодно накапливается как органическое сырье бесподстилочный навоз, отличающийся текучими свойствами. В нем от 50 до 70 % органического вещества находится в аммонийной форме, хорошо доступной растениям в период внесения, действие подстилочного навоза слабее. Проанализированы положительные и отрицательные стороны каждого вида удобрений. Отмечено, что навоз от КРС и свиней на небольших животноводческих фермах обычно подвергают обеззараживанию биотермическим способом. Обозначены способы внесения в почву свежего навоза: разведение в воде в соотношении 1:4; разбрасывание зимой по снегу (15 л на 1 м^2); внесение в почву на глубину не более 40 см под осеннюю перекопку (10 л на 1 м^2), вместе с опилками при сооружении теплых грядок. Установлено, что значительных потерь элементов питания в курином помете в процессе сушки не происходит. 1тонна сырого куриного помета обогащает почву на 6,3 кг азота, а 1 т сухого помета – на 42 кг, последнее значение существенно выше требуемого стандартом минимального значения. Сделан вывод об универсальности применения удобрений в форме гранул. Удобрения таких форм сохраняют в себе полезные для растений свойства, содержат в себе макро-, мезо- и микроэлементы, способны увеличивать содержание органического вещества (гумуса) в почве, делать почву более лёгкой, препятствуют прессованию*

Ключевые слова: *удобрения, органические удобрения, минеральные удобрения, органо-минеральные удобрения, гранулированные удобрения.*

POTENTIAL OPPORTUNITIES OF ORGANIC FERTILIZER IN CROP

[1]Schwartz Anatoly
[1]Korotkov Ilya
[1]Vetrov Ivan
[1]Besedin Vladimir
[1]Knyazeva Larisa

[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"
[2]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *The characteristics of organic fertilizers from manure of cattle (cattle) and pigs, poultry manure are considered. It is noted that on modern large livestock agricultural firms, litterless manure is accumulated annually as organic raw material, which is distinguished by its fluid properties. In it, from 50 to 70 % of organic matter is in the ammonium form, which is readily available to plants during the application period; the effect of bedding manure is weaker. The positive and negative aspects of each type of fertilizer are analyzed. It is noted that manure from cattle and pigs on small livestock farms is usually subjected to decontamination by a biothermal method. Methods for introducing fresh manure into the soil are indicated: dilution in water in a ratio of 1: 4; spreading in winter on snow (15 liters per 1 m^2); introduction into the soil to a depth of no more than 40 cm for autumn digging (10 liters per 1 m^2), together with sawdust during the construction of warm beds. It was found that significant losses of nutrients in chicken manure during the drying process do not occur. 1 ton of raw chicken manure enriches the soil by 6.3 kg of nitrogen, and 1 ton of dry manure by 42 kg, the latter value is significantly higher than the minimum value required by the standard. The conclusion is made about the versatility of the use of fertilizers in the form of granules. Fertilizers of such forms retain properties useful for plants, contain macro-, meso- and microelements, are able to increase the content of organic matter (humus) in the soil, make the soil lighter, prevent pressing.*

Keywords: *fertilizers, organic fertilizers, mineral fertilizers, organo-mineral fertilizers, granular fertilizers.*

Введение. Под термином «удобрение» обычно понимают различные минеральные и органические материалы и вещества, содержащие в своём составе необходимые элементы питания для растений, усиливающие транспортировку питательных веществ из запасов почвы, а также улучшающие свойства почв [1]. Сельскохозяйственные предприятия используют удобрения, обогащающие почву азотом, макро-, мезо- и микроэлементами, а также негативно сказывающиеся на росте сорной растительности.

Внесение органических удобрений обеспечивает жизнедеятельность полезных почвенных микроорганизмов, особенно активизируя ее осенью, обеспечивая аккумуляцию питательных веществ на зиму; способствует образованию большого количества ферментов и витаминов, способствующих усвоению растениями минеральных элементов.

Но использование органических удобрений в нужных объемах сегодня не доступно многим сельскохозяйственным предприятиям АПК страны в том числе из-за снижения выхода навоза в чистом виде. В то же время на современных крупных животноводческих агрофирмах ежегодно накапливается как органическое сырье бесподстилочный навоз, отличающийся текучими свойствами.

Навоз содержит все питательные вещества, необходимые растениям [1]: органические вещества, азот, калий, кальций, магний, фосфор, бор, марганец, медь, молибден, полезные бактерии. Его внесение снижает кислотность почвы, делает ее более рыхлой, теплой и лучше впитывающей влагу.

Но из свежего навоза эффективное органическое удобрение еще нужно получить. Он беден кальцием, способен повышать кислотность почв, загрязнять грунтовые воды. Помимо полезных веществ, в свежем навозе могут содержаться: условно-патогенные и болезнетворные бактерии, опасные для животных и человека; споры грибов и гнилостные бактерии, яйца гельминтов, остающиеся жизнеспособными несколько лет, повышенное количество аммиака (особенно в свиных экскрементах), которое приводит к угнетению растений. Следует помнить, что многие

полезные вещества, содержащиеся в органическом удобрении, усваиваются растениями только после разложения бактериями.

Навоз от КРС и свиней на небольших животноводческих фермах обычно подвергают обеззараживанию биотермическим способом [2-4].

Если нет времени на разложение свежего навоза, его вносят в почву следующим образом: разводят в воде в соотношении 1:4 и поливают растения; разбрасывают зимой по снегу (15 л на 1 $м^2$); вносят в почву на глубину не более 40 см под осеннюю перекопку (10 л на 1 $м^2$), используют вместе с опилками при сооружении теплых грядок [5].

В любом сельскохозяйственном предприятии в идеале должен быть план накопления и хранения навоза, навозной жижи. При использовании в качестве органического удобрения навоз необходимо проверять на соответствие техническим условиям (ГОСТ 53117-2008) по токсикологическим, ветеринарно-санитарным, гигиеническим характеристикам. В нем должны отсутствовать патогенные бактерии, жизнеспособные личинки и яйца гельминтов, куколки и личинки мух, цисты кишечных простейших. Органические удобрения должны относится к категории «чистая почва» [6].

Недостаток органических удобрений земледельцы часто компенсируют за счёт минеральных и органо-минеральных гранулированных удобрений.

Целью настоящей работы является анализ существующих видов органических удобрений.

Анализ и обсуждение. Академик Д.Н. Прянишников, по многолетним опытам с органическими удобрениями на агрохимической опытной станции, установил, что за счет их применения можно повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 40-60 %.

Самым ценным в растениеводстве считаются конский навоз, который превосходит другие виды по содержанию питательных веществ.

Подстилочный навоз КРС богат питательными веществами, Последействие применения подстилочного навоза составляет 4-5 лет, то есть в течение следующих 4-5 лет аграрии продолжают получать прибавку урожая за счёт применения этого органического удобрения. В составе подстилочного навоза КРС преобладают фосфор и калий, при его применении следует дополнительно вносить азотные удобрения [1].

Идеальным органическим удобрением считается жидкая фракция [5]. Для внесения такого навоза в почву используют различные жижевозы и шланговые системы [7 – 11].

Неразбавленный жидкий навоз КРС и свиней, соответственно, содержит (%): сухого вещества – 10 – 11,5 и 9,8 – 10,5; азота – 0,40 – 0,43 и 0,5 – 0,7; фосфора – 0,20 – 0,28 и 0,25 – 0,40; калия – 0,45 – 0,50 и 0,21 – 0,24 [5]. В бесподстилочном навозе от 50 до 70 % органического вещества находится в аммонийной форме, хорошо доступной растениям в период внесения, действие подстилочного навоза слабее.

В таблице 1 приведены данные по сравнению некоторых показателей навозных стоков свиней и КРС.

Таблица 1 – Характеристики навозных стоков КРС и свиней.

Показатели	Навозные стоки	
	КРС	Свиней
pH	6,09-7,2	7,1-7,2
Сухой остаток, мг/л	3700-5000	13500
Взвешенные вещества, мг/л	1232 - 8600	12400 -20950
Общий азот, мг/л	1300-3884	1696-4370
Аммиачный азот, мг/л	1400-2691	643-1430
Хлориды, мг/л	122-930	142 -600
Фосфаты, мг/л	155-1850	430-900
Сульфаты, мг/л	440-445	196
Химическое потребление кислорода (ХПК), мг/л	5892 – 11696	7600-40000
Биохимическое потребление кислорода (БПК), мг/л	1900-9200	2952-6716
Бактерии группы кишечных палочек	$3,0 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^6$

Количество сухого остатка, взвешенных веществ в навозных стоках свиней выше, чем в навозных стоках КРС. Показатели ХПК, БПК, данные о количестве бактерий группы кишечной

палочки также свидетельствуют о большей загрязненности от навозных стоков свиней, по сравнению с навозными стоками от КРС.

Использование жидкого свиного навоза в качестве удобрения эффективно, но результат зависит от технологий транспортировки и внесения. Это очень затратный процесс для предприятий. Причём жидкая фракция свиного навоза - это азотно-калийное удобрение, не сбалансированное по содержанию фосфора. Последействие жидкой фракции свиного навоза составляет примерно 2 года [5].

В современных условиях бесподстилочный навоз свиней для снижения экологической нагрузки на природную среду предлагают разделять на отдельные фракции [12]. В ЗАО «Заволжское» Тверской области внедрена голландская технология получения органических удобрений из навоза свиней. Жидкий навоз от свинарников поступает на сепаратор, где разделяется на твердую (8 % от общего количества) и жидкую фракции. Твердую фракцию используют как эффективное органических удобрение в чистом виде. Жидкую фракцию из сепаратора перекачивают в навозо-накопители для дегельминтизации на 6 месяцев в весенне-летний период и 8 месяцев в осенне-зимний. Обычно возникают затруднения в использовании жидкой фракции из-за больших объемов и неудобств для транспортировки потенциальным потребителям [13 – 15].

К сожалению, предприятия сфер животноводства и птицеводства в настоящее время не в состоянии обеспечить более 1% потребностей сельхозтоваропроизводителей в удобрениях, а также стимуляторах роста растений [13].

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики РФ в период с 2007 по 2017 гг. численность большинства сельскохозяйственных животных претерпела следующие изменения (таблица 2) [16]. Из приведенных данных в таблице 2 следует, что за период с 2007 по 2017 гг. в России на 15% сократилось поголовье крупного рогатого скота, на 5% сократилось поголовье лошадей, а поголовья птиц и свиней увеличились на 43% и 41%, соответственно [17]. Изменение пропорций в животноводстве сказывается на потенциально возможных пропорциях в объемах органических удобрений. С ростом производства мяса и свинины в России увеличился объем этих отходов животноводства, что сделало задачу по их утилизации и переработке как никогда актуальной.

Использование птичьего помёта как концентрированного удобрения требует дополнительного внесения азотных удобрений, так как по мнению агрономов, птичий помёт не сбалансирован по содержанию азота [18]. Дозировка его применения на полях сравнительно небольшая ввиду высокого содержания в его составе фосфора и калия, последействие от применения - 1-2 года.

Таблица 2 – Поголовье сельскохозяйственных животных в России в период с 2007 по 2017 гг., тыс. голов

Показатель	2007 г.	2009 г.	2011 г.	2013 г.	2015 г.	2017 г.	2017 г. / 2007 г., %
КРС	21501,6	20540,0	19900,8	19272,6	18620,9	18294,2	85
Свиньи	16370,8	17287,8	17262,9	19010,3	21405,5	23075,5	141
Лошади	1307,0	1330,2	1287,3	1266,2	1240,6	1238,6	95
Птица	388433,7	436197,1	473252,9	493945,1	543913,5	555827,2	143

Сырой помет, наряду с полезными свойствами, обладает многими отрицательными: имеет зловонный запах; содержит большое количество примесей в виде семян сорняков, яиц и личинок гельминтов и мух, множество микроорганизмов, среди которых нередки возбудители опасных заболеваний [5], его транспортировка на дальние расстояния экономически не оправдана, требует значительного количества техники, затрат труда и денежных средств.

Наиболее безопасным и эффективным форматом для применения птичьего помёта в качестве органического удобрения может служить термическая сушка куриного помёта с последующей грануляцией и фасовкой в тару. Такой процесс производства позволяет получить обеззараженное высококонцентрированное быстродействующее органическое удобрение с благоприятными физическими свойствами, лишенное запаха и всхожих семян сорняков [5], сохранить ценные питательные вещества для растений, уничтожить гельминты и другие патогены. В таблице 3

приведены сравнительные данные по агрохимической ценности птичьего помета до и после термической обработки [19].

В работе [19] показано, что 1т сырого куриного помета обогатит почву на 6,3 кг азота, а 1 т сухого помета – на 42 кг, последнее значение существенно выше требуемого стандартом минимального значения. В той же работе показано, что значительных потерь элементов питания в процессе сушки не происходит [19].

В работе [20] рассматривается эффективность различных видов и норм органических удобрений в повышении плодородия почвы, урожайности и качества продукции растениеводства, и приведено сравнение с минеральными удобрениями.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика агрохимической ценности птичьего помета

Куриный помет	Сухое вещество,%	Органическое вещество, %	pH	Токсичные элементы, мг/кг	
				свинец	кадмий
До сушки	21,97	93,54	7,10	2,57	0,19
Сухой	92,07	86,15	6,68	2,34	0,15
Требования к сухому птичьему помету	не менее 85	не менее 50	6,0-8,5	не более 130	не более 2.0

Были изучены различные нормы термически высушенного гранулированного куриного помета, его пригодность в качестве экологически безопасного комплексного органического удобрения и его эффективность в повышении урожайности, качества продукции, плодородия почвы и продуктивности севооборотов по сравнению с традиционным навозом, гречишным сидератом, минеральными удобрениями и натуральными удобрениями.

В настоящее время наиболее приемлемой для использования в качестве удобрений является гранулированная форма. Оптимальным решением при выборе органических удобрений стоит считать выбор в качестве подкормки термически высушенный птичий помёт с последующей его грануляцией. Возможным является и вариант гранулирования навоза КРС [21].

Исследователи вопроса нехватки органических удобрений считают, что уменьшить дозы внесения удобрений можно при использовании смеси органических и минеральных удобрений [2].

Современный рынок богат органоминеральными (гуминовыми) удобрениями таких как ОМУ Универсал, Гумат калия "Овощной", ЖУСС Комплексный Кальций, Гуми-Оми-Калий "Сульфат калия", Биогумус для овощей и томатов, Geolia, Reasil micro Amino B-Mo, Florizel, Robin Green, Микорайз турборост всех культур, BONA FORTE почвоулучшитель и др., сочетающими органические и минеральные компоненты, обогащающие почву без вреда для ее физических свойств.

Минеральным компоненты обеспечивают растения нужным количеством минерального питания и повышают его адаптационную способность, органические - улучшают показатели плодородия почвы, улучшая агрохимические, агрофизические и биологические характеристики. Высокая усвояемость органоминеральных удобрений позволяет сократить норму из внесения в 2,5-3 раза, по сравнению с минеральными добавками.

Чаще всего органоминеральные удобрения выпускаются в форме гранул. Это даёт возможность более экономно и эффективно их использовать, транспортировать и хранить. Гранулы обладают способностью впитывать в себя воду, а затем питать ею растения по мере необходимости. Применение готовых органоминеральных удобрений даёт положительный эффект.

На основании проведенного анализа научно-технической и патентной литературы установлено, что имеется множество технологий гранулирования этих удобрений, таких как формование, окатывание, экструзия и прессование [22 – 27].

Удобрения в виде гранул могут быть круглыми, вытянутыми и в виде комочков, но они всегда имеют плотную оболочку. Преимуществами использования гранулированных удобрений считаются эффективность их применения для растений, удобство хранения и транспортировки, а также высокая равномерность рассеивания при распределении по поверхности поля [28].

Минеральные и органоминеральные удобрения также выпускаются в форме гранул, что даёт право считать, что именно такая форма удобрений наиболее перспективна для их внесения и распределения по поверхности поля.

Способы внесения гранулированных удобрений различны: применяют как поверхностное внесение, так и внесение во время посева [29, 30]. Гранулы подходят для различных существующих в настоящее время сеялок и разбрасывающих устройств.

Удобрения таких форм сохраняют в себе полезные для растений свойства, содержат в себе макро-, мезо- и микроэлементы, способны увеличивать содержание органического вещества (гумуса) в почве, делать почву более лёгкой, препятствуют прессованию.

Вывод. Использование гранулированных форм удобрений - универсальное решение для сельскохозяйственных предприятий, использующих органические, минеральные, органоминеральные удобрения при производстве продукции растениеводства. Внесение гранулированных удобрений - удобный способ обогащения почвы элементами питания. Различный состав удобрений предполагает возможность выбора доз удобрений при внесении в любое время вегетации любых сельскохозяйственных растений.

Список литературы

1. Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрохимия. – М.: Колос, 1971. – С. 110-127.

2. Cestonaro, T., de Mendonça Costa, M.S.S., de Mendonça Costa, L.A., Rozatti, M.A.T., Pereira, D.C., Lorin, H.E.F., Carneiro, L.J. The anaerobic co-digestion of sheep bedding and P50 % cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality. // Waste Management. – Vol. 46, – 2015. – P. 612 – 618.

3. Magda Dudek, Marcin Zieliński, Paulina Rusanowska, Marcin Dębowski, Cezary Purwin, Maja Fijałkowska, Anna Nowicka. Efficiency of anaerobic decomposition of manure from cattle fed with sida hermaphrodita silage / Proceedings of the 8 th International Scientific Conference Rural Development. – 2017. – P. 261 – 265.

4. Noorollahi Y., Kheirrouz M., Farabi Asl H., Yousefi H., Hajinezhad A. Biogas production potential from livestock manure in Iran. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 50, – 2015. – P. 748–754.

5. В. Загоровская. Навозная дилемма: самый актуальный вопрос для животноводов – что делать с отходами? / URL: https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/25634-navoznaya-dilemma/ (Дата обращения 19.10.2020).

6. Органическое удобрение. Польза или вред? / URL: http://www.kmvl.ru/novosti/organic-fertilizer-benefit-or-harm280420. (Дата обращения 19.10.2020).

7. Берглунд С., Анианссон Г., Экесбу И. Транспортировка жидкого навоза / Пер. со швед. Под ред. И.Ф. Ромашкевича. М.: Колос. – 1962. – 183 с.

8. Марченко Н.М., Личман Г.И., Шебалкин А.Е. Механизация внесения органических удобрений. М.: Агропромиздат. – 1980. – 207 с.

9. Капустин В.П. Совершенствование систем уборки и транспортировки бесподстилочного навоза. Тамбов. Издательство ТГТУ. – 2001 – 122 с.

10. Капустин В.П. Обоснование способов и средств переработки бесподстилочного навоза // Biology/Plants: Agriculture and Forestry. – 2002 – P. 40.

11. Капустин В.П., Глазков Ю.Е.. Сельскохозяйственные машины. Настройка и регулировка: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – 196 с.

12. Барановский И.Н., Бабенко Н.В. Влияние фракций свиного навоза на питательный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зернотравяного звена севооборота// Вестник ТвГУ. Серия «Химия». – 2014. – № 2. – С. 40 – 48.

13. Песчинский И. Мода на органическую продукцию угрожает удобрениям / URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/01/23/748630-ugrozhaet-udobreniyam (дата обращения 19.10.2020).

14. Гомонова Н.Ф. Эколого-агрохимические функции удобрений при их длительном применении (50 лет) в агроценозе на дерново-подзолистой почве: автореф. дис…д-ра биол. наук. М. – 2010. – 46 с.

15. Ковалев Н.Г., Барановский И.Н. Высокоэффективные системы использования органических удобрений и возобновляемых биологических ресурсов / Сб. науч. тр. М.: Россельхозакадемия ГНУ ВНИИОУ. – 2012. – С. 69 – 76.

16. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи: в 8 т. / Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ "Статистика России", Т.5: Поголовье сельскохозяйственных животных. – 2018. – 450 с.

17. Беседин Б.П. Исследование параметров роторного рабочего органа разбрасывателя органо-минеральных удобрений: дисс. ... канд. техн. наук. – Курск. – 2017. – 160 с.

18. Минаев В.Г., Сычёв В.Г., Гамзиков В.Г. и др. Агрохимия: Учебник. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. – 2017. – 854 с.

19. Дабахова Е.В., Титова В.И. Оценка перспектив использования сухого птичьего помета в качестве удобрения. В сборнике: Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии. / Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Владимир. ФГБНУ ВНИИОУ, 8 – 10 июля 2015 г. – С. 7 – 11.

20. Rafil C. Shakirov, Zakirzhan M. Bikhmuhammetov and Fidail F. Khisamiev. Effectiveness of various types and norms of fertilizers in increasing the productivity of cultivated crops and the fertility of gray forest soil in the Pre-Kama Area of Tatarstan / International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources (FIES 2019)”. – 2020. – V.17. – p. 6.

21. Шварц А.А. Шварц С.А. Экспериментально-теоретическое обоснование параметров рабочего органа разбрасывателя удобрений // Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск. – 2019. – С. 301.

22. Патент РФ № 2491263, МПК С05Б 5/00. Органо-минеральное гранулированное удобрение и способ его получения / Стифеев А.И., Золотухин Л. А. – опубл. 27.08.2013.

23. Патент РФ № 2026271, МПК С05Б 3/00, С05Б 11/02. Состав для производства органо-минерального удобрения / Родненко Л.В., Салюков А Н., Сапелкин П.П. – опубл. 09.01.1995.

24. Патент РФ 2121489, МПК С10F 7/00, С05F 11/00. Гранулированное удобрение на основе торфа / Перфильева В.Д., Алексеева Т.П., Криницын ГГ. – опубл. 10.11.1998.

25. Патент РФ 2272800, МПК С05F 11/02. Способ гранулирования органо-минерального удобрения / Живописцев В.А., Маланчук В.Я., Михайлов Г.В. – опубл. 27.03.2006.

26. Патент РФ 2002106546, МПК С05F 11/02. Способ получения комплексного органо-минерального удобрения / Ковалёв К.Е., Папаянаки В В. – опубл. 20.09.2003.

27. Патент РФ 2337900, МПК С05F 3/00. Способ получения сложного гранулированного органического удобрения, обогащение минеральными компонентами / Суханов В.М., Маланчук В.Я., Должич А.Р., Ретуев А.В. – опубл. 10.11.2008.

28. Шварц А.А., Ветров И.Ю. Особенности гранулированных удобрений / В кн.: Актуальные проблемы молодёжной науки в развитии АПК (материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, г. Курск, 11-13 декабря 2019 г., ч.1). – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак. – 2020. – С. 349 – 352.

29. Семыкин В.А., Андреев В.В., Быков В.С., Варавин В.И., Гуреев И.И., Климов Н.С. Сельскохозяйственные машины. Практикум (расчётный курс). Часть 1. Подготовка почвы, посев, возделывание сельскохозяйственных культур – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак. – 2010. – 90 с.

30. Варавин В.И., Коротков И.В. Перспективы повышения эффективности использования посевных машин / В кн.: Молодежная наука – гарант инновационного развития АПК (материалы X Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Курск, 19 – 21 декабря 2018 г., ч.3). – Курск: Изд-во Курск.гос. с.-х. ак. – 2019. – С. 251 – 254.

References

1. Smirnov P.M., Muravin Je.A. Agrohimija. – M.: Kolos, 1971. – S. 110-127.

2. Cestonaro, T., de Mendonça Costa, M.S.S., de Mendonça Costa, L.A., Rozatti, M.A.T., Pereira, D.C., Lorin, H.E.F., Carneiro, L.J. The anaerobic co-digestion of sheep bedding and P50 % cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality. // Waste Management. – Vol. 46, – 2015. – R. 612 – 618.

3. Magda Dudek, Marcin Zieliński, Paulina Rusanowska, Marcin Dębowski, Cezary Purwin, Maja Fijałkowska, Anna Nowicka. Efficiency of anaerobic decomposition of manure from cattle fed with sida hermaphrodita silage / Proceedings of the 8 th International Scientific Conference Rural Development. – 2017. – R. 261 – 265.

4. Noorollahi Y., Kheirrouz M., Farabi Asl H., Yousefi H., Hajinezhad A. Biogas production potential from livestock manure in Iran. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 50, – 2015. – R. 748–754.

5. V. Zagorovskaja. Navoznaja dilemma: samyj aktual'nyj vopros dlja zhivotnovodov – chto delat' s othodami? / URL: https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/25634-navoznaya-dilemma/ (Data obrashhenija 19.10.2020).

6. Organicheskoe udobrenie. Pol'za ili vred? / URL: http://www.kmvl.ru/novosti/organic-fertilizer-benefit-or-harm280420. (Data obrashhenija 19.10.2020).

7. Berglund S., Aniansson G., Jekesbu I. Transportirovka zhidkogo navoza / Per. so shved. Pod red. I.F. Romashkevicha. M.: Kolos. – 1962. – 183 s.

8. Marchenko N.M., Lichman G.I., Shebalkin A.E. Mehanizacija vnesenija organicheskih udobrenij. M.: Agropromizdat. – 1980. – 207 s.

9. Kapustin V.P. Sovershenstvovanie sistem uborki i transportirovki bespodstilochnogo navoza. Tambov. Izdatel'stvo TGTU. – 2001 – 122 s.

10. Kapustin V.P. Obosnovanie sposobov i sredstv pererabotki bespodstilochnogo navoza // Biology/Plants: Agriculture and Forestry. – 2002 – R. 40.

11. Kapustin V.P., Glazkov Ju.E.. Sel'skohozjajstvennye mashiny. Nastrojka i regulirovka: uchebnoe posobie. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta. – 2010. – 196 s.

12. Baranovskij I.N., Babenko N.V. Vlijanie frakcij svinogo navoza na pitatel'nyj rezhim dernovo-podzolistoj pochvy i produktivnost' zernotravjanogo zvena sevooborota// Vestnik TvGU. Serija «Himija». – 2014. – № 2. – S. 40 – 48.

13. Peschinskij I. Moda na organicheskuju produkciju ugrozhaet udobrenijam / URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/01/23/748630-ugrozhaet-udobreniyam (data obrashhenija 19.10.2020).

14. Gomonova N.F. Jekologo-agrohimicheskie funkcii udobrenij pri ih dlitel'nom primenenii (50 let) v agrocenoze na dernovo-podzolistoj pochve: avtoref. dis…d-ra biol. nauk. M. – 2010. – 46 s.

15. Kovalev N.G., Baranovskij I.N. Vysokojeffektivnye sistemy ispol'zovanija organicheskih udobrenij i vozobnovljaemyh biologicheskih resursov / Sb. nauch. tr. M.: Rossel'hozakademija GNU VNIIOU. – 2012. – S. 69 – 76.

16. Itogi Vserossijskoj sel'skohozjajstvennoj perepisi: v 8 t. / Federal'naja sluzhba gos. statistiki. M.: IIC "Statistika Rossii", T.5: Pogolov'e sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh. – 2018. – 450 s.

17. Besedin B.P. Issledovanie parametrov rotornogo rabochego organa razbrasyvatelja organo-mineral'nyh udobrenij: diss. ... kand. tehn. nauk. – Kursk. – 2017. – 160 s.

18. Minaev V.G., Sychjov V.G., Gamzikov V.G. i dr. Agrohimija: Uchebnik. M.: Izd-vo VNIIA im. D.N. Prjanishnikova. – 2017. – 854 s.

19. Dabahova E.V., Titova V.I. Ocenka perspektiv ispol'zovanija suhogo ptich'ego pometa v kachestve udobrenija. V sbornike: Jekologicheskie problemy ispol'zovanija organicheskih udobrenij v zemledelii. / Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Vladimir. FGBNU VNIIOU, 8 – 10 ijulja 2015 g. – S. 7 – 11.

20. Rafil C. Shakirov, Zakirzhan M. Bikhmuhammetov and Fidail F. Khisamiev. Effectiveness of various types and norms of fertilizers in increasing the productivity of cultivated crops and the fertility of gray forest soil in the Pre-Kama Area of Tatarstan / International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources (FIES 2019)”. – 2020. – V.17. – p. 6.

21. Shvarc A.A. Shvarc S.A. Jeksperimental'no-teoreticheskoe obosnovanie parametrov rabochego organa razbrasyvatelja udobrenij // Sbornik nauchnyh statej 4-j Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – Kursk. – 2019. – S. 301.

22. Patent RF № 2491263, MPK S05B 5/00. Organo-mineral'noe granulirovannoe udobrenie i sposob ego poluchenija / Stifeev A.I., Zolotuhin L. A. – opubl. 27.08.2013.

23. Patent RF № 2026271, MPK S05B 3/00, S05B 11/02. Sostav dlja proizvodstva organo-mineral'nogo udobrenija / Rodnenko L.V., Saljukov A N., Sapelkin P.P. – opubl. 09.01.1995.

24. Patent RF 2121489, MPK C10F 7/00, C05F 11/00. Granulirovannoe udobrenie na osnove torfa / Perfil'eva V.D., Alekseeva T.P., Krinicyn GG. – opubl. 10.11.1998.

25. Patent RF 2272800, MPK C05F 11/02. Sposob granulirovanija organo-mineral'nogo udobrenija / Zhivopiscev V.A., Malanchuk V.Ja., Mihajlov G.V. – opubl. 27.03.2006.

26. Patent RF 2002106546, MPK C05F 11/02. Sposob poluchenija kompleksnogo organo-mineral'nogo udobrenija / Kovaljov K.E., Papajanaki V V. – opubl. 20.09.2003.

27. Patent RF 2337900, MPK C05F 3/00. Sposob poluchenija slozhnogo granulirovannogo organicheskogo udobrenija, obogashhenie mineral'nymi komponentami / Suhanov V.M., Malanchuk V.Ja., Dolzhich A.R., Retuev A.V. – opubl. 10.11.2008.

28. Shvarc A.A., Vetrov I.Ju. Osobennosti granulirovannyh udobrenij / V kn.: Aktual'nye problemy molodjozhnoj nauki v razvitii APK (materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii, g. Kursk, 11-13 dekabrja 2019 g., ch.1). – Kursk: Izd-vo Kursk. gos. s.-h. ak. – 2020. – S. 349 – 352.

29. Semykin V.A., Andreev V.V., Bykov V.S., Varavin V.I., Gureev I.I., Klimov N.S. Sel'skohozjajstvennye mashiny. Praktikum (raschjotnyj kurs). Chast' 1. Podgotovka pochvy, posev, vozdelyvanie sel'skohozjajstvennyh kul'tur – Kursk: Izd-vo Kursk. gos. s.-h. ak. – 2010. – 90 s.

30. Varavin V.I., Korotkov I.V. Perspektivy povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija posevnyh mashin / V kn.: Molodezhnaja nauka – garant innovacionnogo razvitija APK (materialy X Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, g. Kursk, 19 – 21 dekabrja 2018 g., ch.3). – Kursk: Izd-vo Kursk.gos. s.-h. ak. – 2019. – S. 251 – 254.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Коротков Илья Владимирович – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: koro7kov@yandex.ru.

Ветров Иван Юрьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Беседин Владимир Владимирович – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: besedinvv@rambler.ru.

Князева Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

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

Korotkov Ilya – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: koro7kov@yandex.ru.

Vetrov Ivan – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Besedin Vladimir – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: besedinvv@rambler.ru.

Knyazeva Larisa – Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 28.10.2020 Принята к публикации (Accepted): 11.12.2020

УДК 97.921:633.63; 631.243.4
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-30-36

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ХРАНЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В КАГАТАХ

[1]Завражнов Анатолий Иванович
[1]Кольцов Семен Михайлович
[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. *Описано текущее состояние дел в хранении сахарной свеклы, основные массогабаритные параметры полевых и вентилируемых кагатов. Указаны недостатки хранения в полевых кагатах на полях выращивания. Приведена типовая схема организации вентилируемого хранения. Описаны объекты исследований: кагаты с вентиляцией и без нее, а также лабораторный стенд. Представлена схема расположения датчиков измерения температуры в массиве исследуемого сечения вентилируемого и невентилируемого кагата. Приведена схема испытательного стенда, используемого в процессе проведения исследований. Указан перечень примененных электронных и механических устройств, задействованных в исследовании. Описана методика проведения сравнительных исследований хранения сахарной свеклы с вентиляцией и без нее. Представлены промежуточные результаты исследований. Установлено, что в текущем сезоне на хранение поступала сахарная свекла с повышенным содержанием гнилей до 5 %. За 25 суток хранения невентилируемый кагат потерял в массе 156 т или 2,08 %, произошло снижение сахаросодержания на 1,07 %, выросла доля увядших корнеплодов на 1,73 %, появилась доля подмороженной свеклы – она составила 4,82 %, доля гнилей возросла на 5,72 %. На невентилируемом кагате обнаружены зоны повышенных температур +24,7 – +30,3°С. Установлено, что качество свеклы, поступающее с полей выращивания ниже, чем из невентилируемых кагатов на свеклопункте: сахаристость ниже на 0,86 %; загрязненность выше на 0,39 %; содержание увядших корнеплодов выше на 1,87 %; содержание подмороженной свеклы выше на 5,92 %. Представлены результаты изменения параметров сахарной свеклы после 25 суток хранения в лабораторном стенде.*

Ключевые слова: *сахарная свекла, хранение, активная вентиляция, полевой кагат, свеклопункт.*

RESEARCH METHODS OF SUGAR BEET STORAGE

[1]Zavrazhnov Anatoly
[1]Koltsov Semyon
FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"

Abstract. *The actual state of affairs in the storage of sugar beet, the main mass and size parameters of field and ventilated clamps are described. The drawbacks of storage in field clamps on the fields of cultivation are specified. A typical scheme of organization of ventilated storage is given. The described research objects: clamps with ventilation and without it, as well as laboratory bench. A diagram of the location of temperature measurement sensors in the array of the studied cross-section of the ventilated and non-ventilated clamps. The diagram of the test bench used in the research process is given. The list of applied electronic and mechanical devices involved in the study is indicated.The method of conducting comparative studies of sugar beet storage with and without ventilation is described. It is established that in the current season, sugar beets with an increased rot content of up to 5% were stored. For 25 days of storage, unventilated clamp lost 156 tons or 2.08 % in weight, there was a decrease in sugar content by 1.07 %, the share of wilted root crops increased by 1.73 %, the share of frozen beets appeared-it was 4.82 %, the share of rot increased by 5.72%. Zones of elevated temperatures of+24.7 – +30.3°C were found on the unventilated clamp. It was found that the quality of beet coming from the growing fields is lower than from unventilated clamps at the beet point: sugar content is lower by 0.86 %; contamination is higher by 0.39 %; the content of wilted root crops is higher by 1.87 %; the content of frozen beet is 5.92% higher.The results of changing the parameters of sugar beet after 25 days of storage in a laboratory stand are presented.*

Keywords: *sugar beet, storage, active ventilation, field clamp, beet point.*

Введение. Хранение сахарной свеклы является одной из задач свеклосахарной отрасли в России. Наиболее распространенным способом является хранение свеклы в кагатах на полях выращивания, также свеклу хранят в среднесрочных невентилируемых кагатах и в долгосрочных кагатах с активной вентиляцией на свеклопунктах [1, 2].

В полевых кагатах хранение сопровождаются прогрессирующими потерями массы и сахаристости, производители сахара вынуждены останавливать производство в декабре. Короткий сезон переработки, вызванный снижением качества свеклы, приводит к росту себестоимости сахара. Решением данной проблемы является увеличение объемов хранения свеклы (не менее 20% от годового объема переработки) в долгосрочных вентилируемых кагатах по январь-февраль включительно. В настоящий момент доля хранения свеклы в вентилируемых кагатах значительно меньше расчетной, а на некоторых производствах отсутствует вовсе [3, 4].

Причиной больших потерь в полевых кагатах является низкое соотношение хранящейся свекольной массы к её площади поверхности 0,35 – 0,42. У среднесрочных невентилируемых кагатов оно составляет 0,7 – 0,9, у вентилируемых кагатов – 1,05 – 1,35 [5]. На полях выращивания свекла хранится в кагатах высотой 3 м, шириной основания 7 м длинной 35 м. В среднесрочных невентилируемых кагатах высота достигает 7 м при ширине основания 16 м и длине 100 м.

Вентилируемые кагаты на свеклопунктах формируют высотой 6,5 м, шириной нижнего основания 30 м и более, шириной верхнего основания 10 м и более и длиной от 120 до 300 м. За счет увеличения размеров кагата достигается снижение воздействия факторов окружающей среды на основной массив сырья, возрастает роль внутреннего микроклимата [6]. Возникает необходимость применения средств активного вентилирования с механическим побуждением, так как естественная конвекция воздушных масс в межкорневом пространстве не отводит часть избыточной теплоты [7].

Охлаждение кагата осуществляется децентрализованными системами активной вентиляции. Системы являются сборно-разборными. Они устанавливаются на площадке поперек кагата по мере его формирования. Воздух для охлаждения насыпи поступает из окружающей среды без предварительной подготовки. Охлаждение насыпи обеспечивается за счет подачи более холодного воздуха, чем хранящаяся свекла. Если температура окружающей среды выше температуры свеклы, вентиляционная система не работает.

Формирование вентилируемых кагатов проходит в период массовой копки, начиная с конца сентября до наступления заморозков. В вентилируемые кагаты закладывается либо свежекопанная свекла, либо пролежавшая на полях выращивания не более пяти суток.

Продолжительность хранения, а также величина потерь свекломассы и сахаристости в вентилируемых кагатах зависит от начального состояния сахарной свеклы и условий её хранения. При оценке начального состояния сахарной свеклы учитываются шесть параметров, прописанных в нормативной документации, а именно: сахаристость, загрязненность, содержание зеленной массы, увядших корнеплодов, корнеплодов с сильными механическими повреждениями, содержание цветушных корнеплодов [8]. Перед укладкой в вентилируемые кагаты определяется наличие или отсутствие гнилей и температура свеклы.

Задачей исследования является изучение тепломассообменных процессов в кагатах для совершенствования технологии и разработки режимов хранения сахарной свеклы.

Материалы и методы. Исследования проводятся на вентилируемом и невентилируемом кагате и лабораторном стенде. Работа начата 08.11.20 г. одновременно на кагатах и стенде. Дата окончания исследований зависит от начала разбора вентилируемого кагата в первой декаде января.

В период массовой закладки сырья на хранение были выбраны два кагата, уложенные в схожие сроки. Один из выбранных кагатов оснащен системой активной вентиляции. В процессе укладки кагатов определены исследуемые сечения, из них отобраны пробы для сдачи на анализы в сырьевую лабораторию. Параллельно из вентилируемого кагата отобрана свекла для лабораторного стенда в объеме 1 м^3.

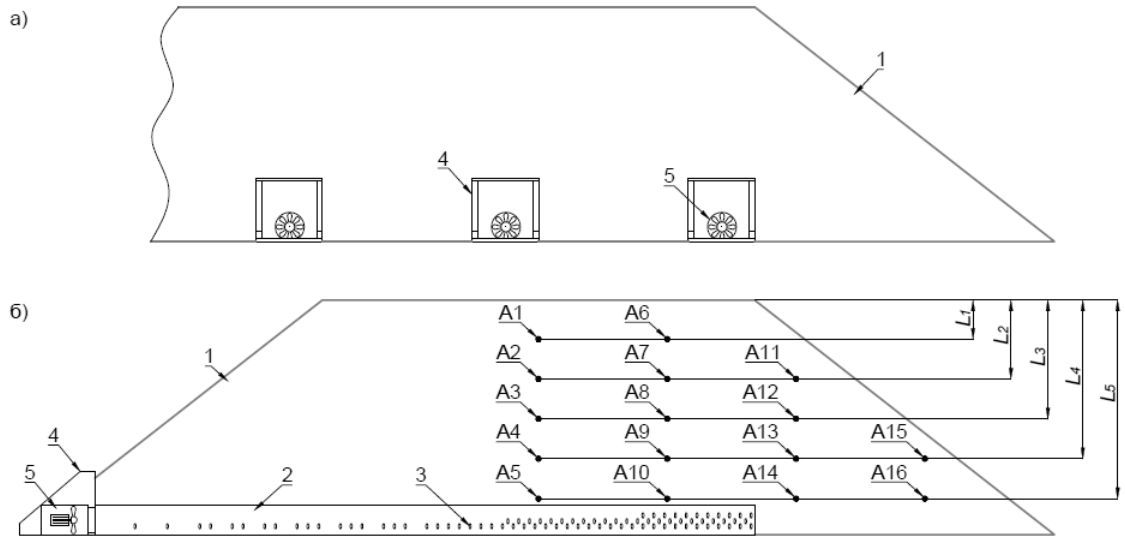
Вентилируемый кагат имеет форму циклически повторяющуюся: вентиляционные системы находятся на расстоянии 6 м друг от друга, на одну вентиляционную ветвь приходится 516 т сахарной свеклы, рисунок 1. В исследовании рассматривается фрагмент вентилируемого кагата: одна вентиляционная ветвь и насыпь сахарной свеклы, которая охлаждается данной ветвью.

Общая длина вентиляционной системы составляет 22 м. Благодаря конструкции рамы вентиляционного агрегата, система вентиляции не выходит за габариты кагата.

Подача воздуха из окружающей среды в насыпь обеспечивается вентилятором ВО-30-160 мощностью 11 кВт. Объем нагнетаемого в кагат воздуха составляет 22 400 $м^3$/ч. Длина воздуховода составляет 20 м, диаметр воздуховода составляет 0,8 м.

Распределение воздушного потока осуществляется через щелевые отверстия, расположенные на воздуховоде. На нем расположено 146 щелевых отверстий, с проходным сечением 0,005 $м^2$.

В насыпи свеклы над вентиляционной системой расположены датчики температуры в количестве 16 шт., согласно схеме, приведенной на рисунке 1. На рисунке 1 указано расстояние от верхнего основания кагата до расположения датчика: L_1=1,2 м; L_2=2,4 м; L_3=3,6 м; L_4=4,8 м; L_5=6,0 м [9]. Расположение датчиков обусловлено симметричной формой поперечного сечения кагата. Для подтверждения предположения об одинаковом распределении температуры в левой и в правой частях сечения были симметрично расставлены 6 термоштанг: по 2 термоштанги на склонах и по 1 термоштанге по краям верхнего основания кагата (на схеме не отражены).



1 – кагат; 2 – вентиляционная ветвь; 3 – воздуховыпускные отверстия;
4 – рама вентиляционного агрегата; 5 – вентилятор; A1 – A16 – датчики измерения температуры.

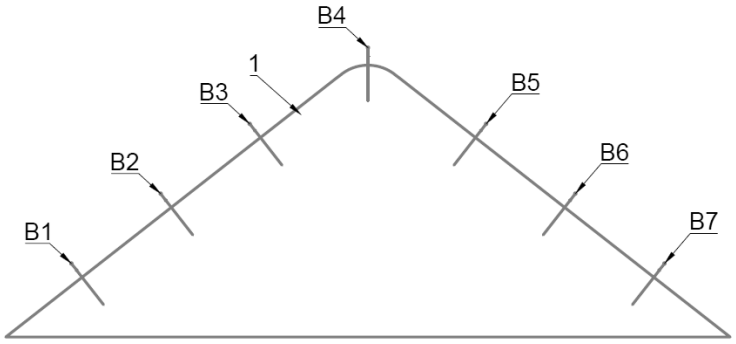
Рисунок 1 – Вентилируемый кагат сахарной свеклы: а – вид сбоку; б – исследуемое сечение

Применяются термоштанги для измерения температуры на расстоянии 1 м от поверхности кагата. Они оснащены радиомодулем для передачи сигнала на базовую станцию. Измерение температуры на расстоянии более 1 м от поверхности кагата производится с помощью проводных датчиков ДТС014-50М.В3.25/1,5. Считывание показаний осуществляется измерителем-регулятором ТРМ-138-Р, для записи данных используется архиватор МСД-200.

Измерение температуры в невентилируемом кагате проведено на расстоянии 1 м от поверхности кагата в одном сечении согласно схеме на рисунке 2. Параметры невентилируемого кагата: высота 7 м, ширина основания 16 м, длина 160 м, масса 7 470 т.

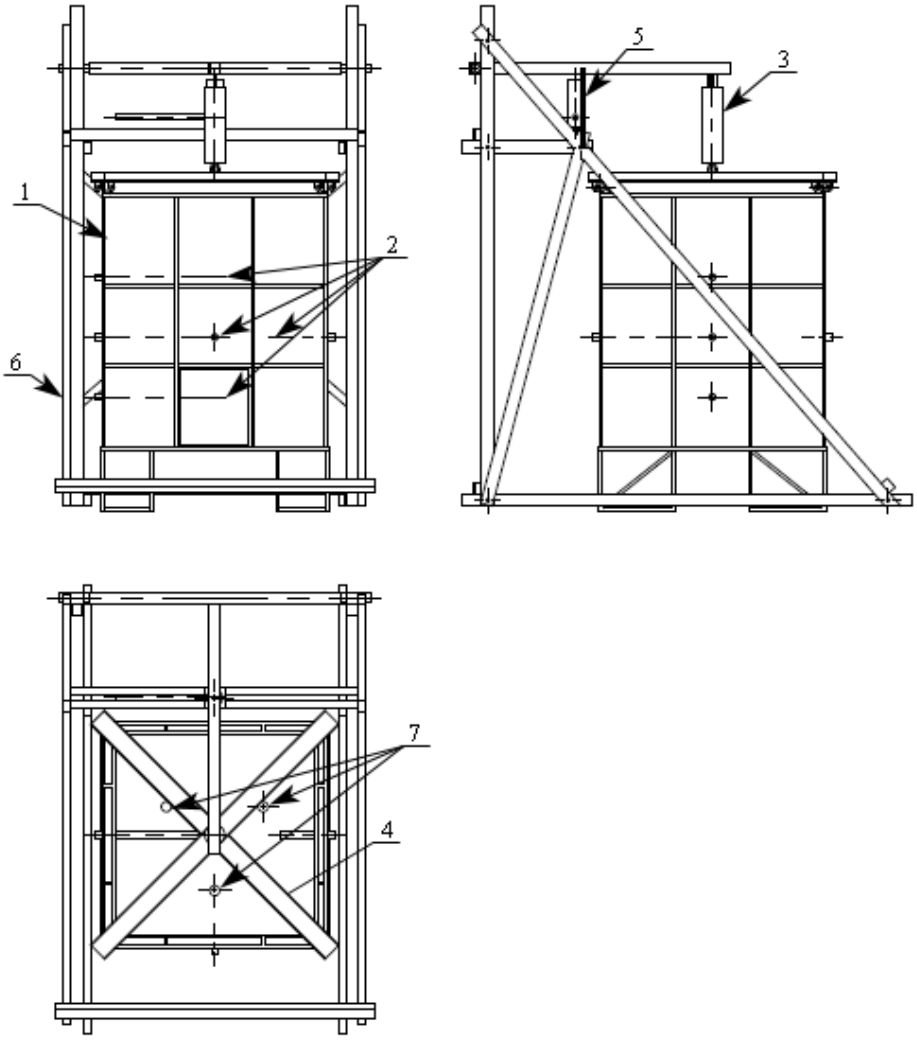
В исследовании температурного распределения в невентилируемом кагате задействовано 7 термоштанг. Измерение температуры проводится весь период хранения свеклы в кагатах. В момент разбора кагата из исследуемого сечения извлекаются датчики температуры и термоштанги и отбирается проба для сдачи на анализы в сырьевую лабораторию.

Для изучения тепломассообменных процессов насыпи сахарной свеклы разработан лабораторный стенд, рисунок 3. В лабораторном стенде емкость 1 для хранения свеклы имеет внутренний объем 1 $м^3$. Измерение температуры осуществляется датчиками температуры 2 в семи точках насыпи, согласно схеме, на рисунке 3.



1 – кагат; В1 – В7 – расположение термоштанг.

Рисунок 2 – Исследуемое сечение невентилируемого кагата сахарной свеклы



1 – емкость для хранения; 2 – каркас; 3 – подъемный механизм; 4 – весы подвесные; 5 – траверса; 6 – трубы для размещения датчиков; 7 – отверстия для подачи воздуха в насыпь.

Рисунок 3 – Лабораторный стенд

Определение потери массы насыпи свеклы осуществляется путем взвешивания емкости на подвесных крановых весах 3 CS-97EC. Подъем емкости осуществляется за траверсу 4 с помощью подъемного механизма 5, закрепленного на каркасе 6. В основании емкости имеются воздухораспределительные устройства 7, через которые воздух может подаваться в насыпь снизу вверх (вентилятор на схеме отсутствует).

Стенд оснащен аналогичными датчиками температурами, измерителем и архиватором. В процессе проведения исследований стенд взвешивается через каждые 4 суток. По разнице в весе определяется потери свекломассы. В центре емкости заложены 3 сетчатые пробы весом от 15 до 18 кг, которые в процессе хранения извлекаются для определения качества свеклы. Извлечение проб осуществляется через боковые створки. За счет этого верхний слой насыпи не перемешивается с нижними слоями. Сдача на анализы двух сетчатых проб сахарной свеклы из лабораторного стенда запланирована на 25 декабря и 17 января. В конце исследования запланирован отбор проб из верхней и нижней части емкости.

При необходимости снижения температуры свеклы в насыпь подается воздух. Подача осуществляется вентилятором через воздухораспределительные отверстия, расположенные на дне стенда. Если охлаждение насыпи не требуется, то отверстия находятся в закрытом состоянии.

Результаты и их обсуждение. В ходе подготовки к исследованиям нами выбраны кагаты с вентиляцией и без неё на одном из свеклопунктов в Курской области. Для лабораторного стенда отобрана свекла из вентилируемого кагата. В статье представлены промежуточные результаты исследований.

Невентилируемые кагаты на призаводских свеклопунктах формируются из свеклы, которая ранее хранилась в кагатах на полях выращивания. По этой причине данные по свекле из невентилируемого кагата на момент его формирования соответствуют данным из кагатов на полях выращивания, таблица 1.

В сезоне 2020 / 21гг сахарная свекла поступала на хранение с повышенным содержащем гнилостных поражений. Если в сезоне 2019 / 20гг содержание гнилей превышало 1 %, то партия свеклы не поступала на хранение и отправлялась в переработку на сахарный завод. В текущем сезоне на хранение поступала сахарная свекла с повышенным содержанием гнилей до 5 %. Повышенное содержание гнилостных поражений сахарной свеклы в это году наблюдается на большинстве свеклосахарных производств в ЦФО.

Таблица 1 – Параметры сахарной свеклы в начале проведения исследований

Параметр	Вентилируемый кагат	Невентилируемый кагат	Лабораторный стенд
Масса сахарной свеклы на момент закладки, т	8 261	7 470	0,736
Сахаристость, %	19,93	19,47	20,05
Загрязненность, %	6,29	6,87	6,13
Содержание зеленной массы, %	—	0,32	—
Содержание увядших корнеплодов, %	6,35	8,60	5,84
Содержание корнеплодов с сильными механическими повреждениями, %	8,52	14,26	5,91
Содержание цветушных корнеплодов, %	—	—	—
Содержание подмороженной свеклы, %	—	—	—
Содержание гнилостных поражений, %	3,15	4,23	0,94

Следующий отбор проб произведен на 25 сутки после начала исследования, таблица 2. Данные из исследуемого фрагмента вентилируемого кагата в таблице 2 не приводятся, так как проба отбирается при его разборе. Разбор кагата запланирован в первой половине января.

За 25 суток хранения невентилируемый кагат потерял в массе 156 т или 2,08 %. За сутки потери в невентилируемом кагате составили 6,24 т или 0,083 % от исходной массы. Также произошло снижение сахаросодержания на 1,07 %, выросла доля увядших корнеплодов на 1,73 %, появилась доля подмороженной свеклы – она составила 4,82 %. Вместе с тем в исследуемом сечении обнаружены следы грибковых поражений. Доля гнилей возросла на 5,72 %.

При хранении на всей протяженности невентилируемого кагата наблюдались процессы самосогревания, сопровождающиеся интенсивным выделением пара. При осмотре хребта кагата

обнаружены колонии свекловичной минирующей мухи «Pegomyia betae» [10]. За период хранения средняя температура исследуемого фрагмента насыпи на расстоянии 1 м от поверхности склона варьировалась в диапазоне +3,9 – +5,1 °С, на вершине кагата в диапазоне +24,7 – +30,3 °С.

При хранении в кагатах на полях выращивания произошло снижение сахаристости на 1,93 %. Определение массы кагатов в фермерских хозяйствах не производится. Первое взвешивание осуществляется на весовой станции свеклопункта. По этой причине данные о массе полевых кагатов не приводятся.

В сравнении с невентилируемым кагатом на свеклопункте качество свеклы, поступающее с полей выращивания оказалось ниже: сахаристость ниже на 0,86 %; загрязненность выше на 0,39 %; содержание увядших корнеплодов выше на 1,87 %; содержание подмороженной свеклы выше на 5,92 %.

Содержание корнеплодов с сильными механическими повреждениями меньше на 1,88 %, по причине меньшего количества перевалок свеклы. Содержание гнилостных поражений свеклы на 2,29 % ниже по причине повышенного количества подмороженной свеклы.

Таблица 2 – Параметры сахарной свеклы через 25 суток с начала исследований

Параметр	Полевой кагат	Невентилируемый кагат	Лабораторный стенд
Масса насыпи сахарной свеклы, т	—*	7 314	0,710
Сахаристость, %	17,54	18,40	19,51
Загрязненность, %	7,12	6,73	6,13
Содержание зеленной массы, %	—	—	—
Содержание увядших корнеплодов, %	12,20	10,33	6,07
Содержание корнеплодов с сильными механическими повреждениями, %	9,38	11,26	5,84
Содержание цветушных корнеплодов, %	—	—	—
Содержание подмороженной свеклы, %	8,74	2,82	—
Содержание гнилостных поражений, %	7,66	9,95	1,12

* Данные о первоначальной массе кагатов на полях выращивания отсутствуют

Хранение в полевых кагатах на полях выращивания при отрицательных температурах окружающей среды приводит к значительному росту доли подмороженной свеклы. В осенний переходный период заморозки чередуются с оттепелями, что приводит к многократным циклам заморозки и оттайке корнеплодов. Следствием данного процесса является повреждение клеточной структуры сахарной свеклы, которое сопровождается потерей свекломассы, сахаристости, выделением тепла, а также способствует развитию грибковых микроорганизмов.

В результате анализа одной из трех сетчатых проб, заложенных в лабораторный стенд, установлено, что масса пробы уменьшилась с 16,4 кг до 15,83 кг или на 3,48 %. Содержание сахара снизилось на 0,54 %, содержание увядших корнеплодов возросло на 0,23 %, содержание гнилостных поражений больше на 0,18 %. Сдача на анализы двух сетчатых проб сахарной свеклы из лабораторного стенда запланирована на 25 декабря и 17 января. Полученные данные будут рассмотрены с учетом температурного распределения внутри насыпи свеклы и факторов окружающей среды, а также будут сопоставлены с результатами хранения в кагатах с вентиляцией и без неё.

Заключение. Описана методика проведения научно-исследовательской работы, которая направлена на совершенствование технологии и разработки режимов хранения сахарной свеклы в кагатах. Исследования проводятся параллельно на кагатах с вентиляцией и без нее, а также на лабораторном стенде. Представлены промежуточные результаты исследований, в ходе которых установлено снижение качества поступающей свеклы с полей выращивания в сравнении с сырьем из невентилируемых кагатов на свеклопунктах.

Список литературы

1. Завражнов А.И., Кольцов С.М. Обоснование и разработка технологии хранения сахарной свёклы в кагатах в условиях Центрально-Черноземного региона // Сахар. – 2020. – № 1. – С. 38–44.

2. Путилина Л.Н. Свеклосахарный комплекс России: состояние и направления развития // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79. № 2 (72). – С. 180-190.

3. Завражнов А.И. Ресурсосберегающая технология и техника производства сахарной свёклы: монография / А.И. Завражнов [и др.] – СПб.: Лань, 2019. – 164 с.

4. Смирнов М.А., Путилина Л.Н. Резервы повышения сохранности корнеплодов сахарной свеклы // Сахарная свекла. – 2014. – № 5. – С. 46–48.

5. Завражнов А.И., Завражнов А.А. Снижение потерь сахарной свеклы при хранении // Сельский механизатор. – 2020. – № 5-6. – С.35-36.

6. Куденко В.Б., Литвинов А.В. Исследование параметров микроклимата // Наука и образование ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ. – 2019. – № 4 (2). – С. 89-94

7. Аксёнов Д.М., Сапронов Н.М. Изучение температурного режима в кагате сахарной свеклы под полимерным укрытием с антимикробными свойствами // В сборнике: Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции. – 2014. – С.35-38.

8. Кульнева Н.Г. Хранение и переработка сахарной свеклы низкого технологического качества // В сборнике: Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья. – 2016. – С. 380-384.

9. Завражнов А.И., Кольцов С.М. Методика исследований показателей свекольной массы при хранении в кагатах / Материалы конференции: Развитие производственного и научного потенциала отрасли садоводства и питомниководства в Российской Федерации / Мичуринск-наукоград. – 2019. – С. 267-273.

10. Хелемский М.З. Хранение сахарной свеклы. М.: Пищ. пром-сть. – 1964. – 471 с.

References

1. Zavrazhnov A.I., Kol'cov S.M. Obosnovanie i razrabotka tehnologii hranenija saharnoj svjokly v kagatah v uslovijah Central'no-Chernozjomnogo regiona // Sahar. – 2020. – № 1. – S. 38–44.

2. Putilina L.N. Sveklosaharnyj kompleks Rossii: sostojanie i napravlenija razvitija // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij. – 2017. – T. 79. № 2 (72). - S. 180-190.

3. Zavrazhnov A.I. Resursosberegajushhaja tehnologija i tehnika proizvodstva saharnoj svjokly: monografija / A.I. Zavrazhnov [i dr.] – SPb.: Lan', 2019. – 164 s.

4. Smirnov M.A., Putilina L.N. Rezervy povyshenija sohrannosti korneplodov saharnoj svekly // Saharnaja svekla. – 2014. – № 5. – S. 46–48.

5. Zavrazhnov A.I., Zavrazhnov A.A. Snizhenie poter' saharnoj svekly pri hranenii // Sel'skij mehanizator. – 2020. – № 5-6. – S.35-36.

6. Kudenko V.B., Litvinov A.V. Issledovanie parametrov mikroklimata // Nauka i obrazovanie FGBOU VO Michurinskij GAU. – 2019. – № 4 (2). – S. 89-94

7. Aksjonov D.M., Sapronov N.M. Izuchenie temperaturnogo rezhima v kagate saharnoj svekly pod polimernym ukrytiem s antimikrobnymi svojstvami // V sbornike: Nauchnoe obespechenie innovacionnyh tehnologij proizvodstva i hranenija sel'skohozjajstvennoj i pishhevoj produkcii. – 2014. – S.35-38.

8. Kul'neva N.G. Hranenie i pererabotka saharnoj svekly nizkogo tehnologicheskogo kachestva // V sbornike: Innovacionnye reshenija pri proizvodstve produktov pitanija iz rastitel'nogo syr'ja. – 2016. – S. 380-384.

9. Zavrazhnov A.I., Kol'cov S.M. Metodika issledovanij pokazatelej svekol'noj massy pri hranenii v kagatah / Materialy konferencii: Razvitie proizvodstvennogo i nauchnogo potenciala otrasli sadovodstva i pitomnikovodstva v Rossijskoj Federacii / Michurinsk-naukograd. – 2019. – S. 267-273.

10. Helemskij M.Z. Hranenie saharnoj svekly. M.: Pishh. prom-st'. – 1964. – 471 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражнов Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Кольцов Семен Михайлович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: smkoltsov@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Anatoly – Academician of the Russian Academy of Sciences, Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Koltsov Semyon – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: smkoltsov@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.10.2020 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2020

УДК 631.362.36
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-37-44

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ В ПНЕВМОСИСТЕМАХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

[1]Оробинский Владимир Иванович
[1]Гиевский Алексей Михайлович
[1]Чернышов Алексей Викторович
[1]Баскаков Иван Васильевич
[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. *В статье приведены результаты экспериментальных исследований использования вентиляторов диаметрального типа в пневмосистемах универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин ОЗФ-80 с рабочими колесами, имеющими 12 и 24 лопатки. Приведена методика снятия количественных характеристик. Установлено, что вентилятор с рабочим колесом, имеющим 24 лопатки, имеет более высокий коэффициент полезного действия (кпд) и производительность на всех исследуемых частотах вращения рабочего колеса. Напор всасывания по каналам очистки существенно отличается для обоих типов колес. Максимальный напор всасывания в канале послерешетной очистки для вентилятора с рабочим колесом, имеющим 34 лопатки составляет 430 – 440 Па, а в спаренных каналах дорешетной очистки 180 – 200 Па, у вентилятора с рабочим колесом, имеющим 12 лопаток в канале послерешетной очистки 350 – 370 Па и в спаренных каналах дорешетной очистки не более 85 Па. Повышение частоты вращения рабочего колеса вентилятора с 24 лопатками до 780 – 830 мин$^{-1}$, позволит получать скорость воздуха в каналах дорешетной очистки 7,8 – 8,2 м/с и в канале послерешетной очистки 11,9 – 12,5 м/с. В результате исследований подтверждено наличие пологой характеристики у вентиляторов диаметрального типа с шириной пневмосистемы более 1,0 м, выявлена нецелесообразность использования дросселирования для установления технологически необходимых скоростей воздуха в каналах при обслуживании аспираций одним вентилятором диаметрального типа. Установлена возможность использования диаметрального вентилятора с рабочим колесом, имеющим 24-лопатки в пневмосистемах универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин производительностью при первичной очистке не более 60 т/ч.*

Ключевые слова: *диаметральный вентилятор, пневмосистема, характеристика вентилятора, расход воздуха, напор, скорость воздуха, зерноочистительная машина.*

POSSIBILITIES OF USING DIAMETRAL FANS IN PNEUMATIC SYSTEMS OF GRAIN CLEANING MACHINES

[1]Orobinsky Vladimir
[1]Gievsky Aleksey
[1]Chernyshov Aleksey
[1]Baskakov Ivan
[1]FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great"

Abstract. *The article presents the results of experimental studies of the use of diametric type fans in pneumatic systems of universal air-screen grain cleaning machines OZF-80 with impellers having 12 and 24 blades. The technique of quantitative characterization is presented. It has been established that a fan with an impeller with 24 blades has a higher efficiency (efficiency) and productivity at all investigated impeller rotation frequencies. The suction head through the cleaning channels is significantly different for both types of wheels. The maximum suction head in the post-sieve cleaning channel for a fan with an impeller with 34 blades is 430 – 440 Pa, and in the paired pre-sieve cleaning channels 180 – 200 Pa, for a fan with an impeller having 12 blades in the post-sieve cleaning channel 350 – 370 Pa and in the paired pre-sieve cleaning channels no more than 85 Pa. Increasing the rotational speed of the fan impeller with 24 blades to 780 – 830 min^{-1}, will make it possible to obtain an air speed in the pre-sieve cleaning channels of 7.8 – 8.2 m/s and in the post-sieve cleaning channel 11.9 – 12.5 m/s. As a result of the*

research, the presence of a flat characteristic of the fans of the diameter type with the width of the pneumatic system more than 1.0 m was confirmed, the inappropriateness of the use of throttling to establish the technologically necessary air velocities in the ducts when servicing aspirations with one fan of the diametric type was revealed. The possibility of using a cross-flow fan with an impeller with 24 blades in the pneumatic systems of universal air-sieve grain cleaning machines with a capacity of no more than 60 t/h during primary cleaning has been established.

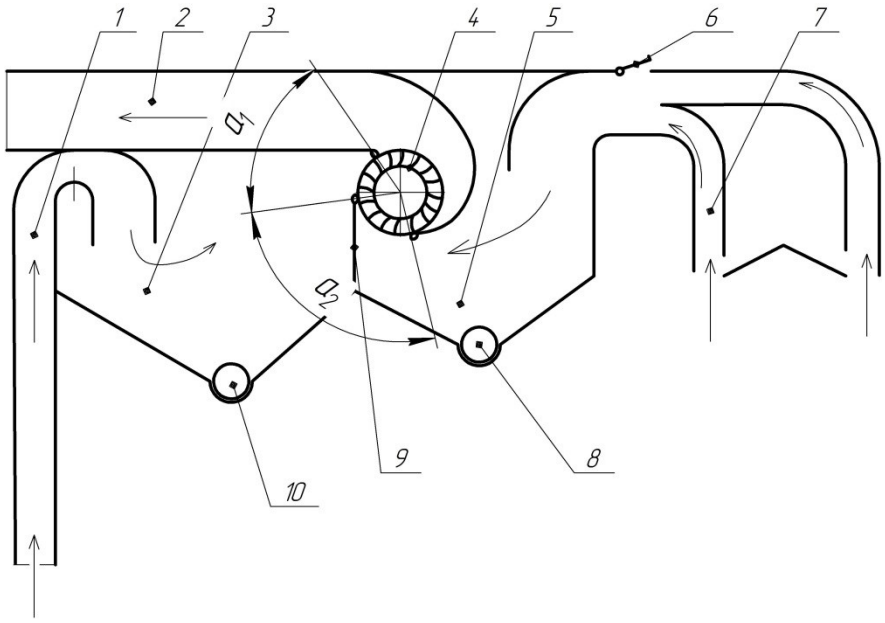
Keywords: *cross-flow fan, pneumatic system, fan characteristic, air flow rate, pressure, air speed, grain cleaning machine.*

Введение. Пневмосистемы, учитывая их основную функцию, заключающуюся в выделении из зернового вороха частиц отличающихся от основной части меньшей скоростью витания являются неотъемлемой частью всех зерноочистительных и сортировальных машин независимо от их назначения. Одним из основных рабочих органов любой пневмосистемы является вентилятор, назначение которого состоит в создания воздушного потока нужной скорости в пневмосепарирующих каналах [1 – 3]. В зерноочистительных машинах чаще используются вентиляторы двух типов: радиальные или центробежные и диаметральные [4 – 8]. Выбор типа вентилятора определяется следующими основными факторами: назначением машины, типом пневмосистемы, используемой на машине, количеством каналов, сопротивлением пневмосистемы и требуемой скоростью воздуха в каналах [9 – 13].

Пневмосистемы современных универсальных зерноочистительных машин имеют, как правило, два пневмосепарирующих канала и чаще всего две осадочные камеры для отделения от воздуха вынесенных компонентов вороха [5, 14 – 16]. В этих каналах, за счет перемещения с необходимой скоростью воздушного потока, происходит вынос или выделение из общего потока незерновых легковесных примесей и щуплого зерна основной культуры. Традиционно пневмосистемы машин отечественного производства оборудуются вентиляторами диаметрального типа, которые со временем стали использовать для обеспечения работы обеих пневмосепарирующих каналов. Применение вентиляторов этого типа привлекательно с точки зрения их размещения непосредственно в осадочных камерах в пневмосистемах замкнутого или полузамкнутого топов с простейшими устройствами для пылеотделения. При производительности не более 20 *т/ч* на первичной очистке такая конструкция пневмосистемы могла обеспечить её удовлетворительные качественные показатели работы. Переход к выпуску более производительных универсальных воздушно-решетных машин с иной компоновкой решетной очистки и двухаспирационной пневмосистемой обслуживаемой одним диаметральным вентилятором уже не может обеспечить её качественные показатели работы. К таким машинам относятся машины марок ОЗФ-80/40/20, ОЗФ 50/20/10, СВУ – 60, пневмосистемы которых, несмотря на конструктивные различия, оборудуются диаметральными вентиляторами одинакового диаметра, который составляет 0,4 *м*. Ширина решетных очисток и пневмосистем этих машин близка к 1,5 *м*.

Материалы и методы. Диаметральный вентилятор на машинах серии ОЗФ расположен в осадочной камере дорешетной аспирации 5, отделенной от осадочной камеры послерешетной аспирации 3 перегородкой 9 (рисунок 1). Со стороны осадочных камер рабочее колесо вентилятора 4 не имеет ограждений, и с учетом направления вращения и наклона лопаток образуется зона всасывания. Из зоны всасывания воздух захватывается лопатками колеса вентилятора, создавая разряжения в осадочных камерах 3 и 5, куда поступает наружный воздух через открытые каналы дорешетной 7 и послерешетной очисток 1. Изменением положения перегородки 9 разделяющей осадочные камеры меняется соотношение зон всасывания между камерами, которые характеризуются центральными углами α_1 для осадочной камеры послерешетной аспирации и α_2 для осадочной камеры дорешетной аспирации.

Протяженность зоны всасывания для канала определенной длины и конструкции обеспечивает скорость воздушного потока в канале, которая должна соответствовать обрабатываемой на машине культуре и составу вороха. При неизменной частоте вращения колеса вентилятора скорости в каналах можно изменять только в меньшую сторону путем увеличения сопротивления или дросселированием, а также сообщением осадочной камеры со стороны зоны всасывания с атмосферой для забора наружного (холостого) воздуха.



1 – канал послерешетной очистки; 2 – воздухоотводящий канал;
3, 5 – осадочные камеры послерешетной и дорешетной очисток соответственно;
4 –диаметральный вентилятор, 6 – клапан воздухозаборный;7 – канал дорешетной очистки;
8, 10 – устройства выводы примесей из осадочных камер; 9 – перегородка

Рисунок 1 – Пневмосистема машины ОЗФ-80 с диаметральным вентилятором

На машине реализован более рациональный путь изменения производительности и создаваемого напора вентилятора путем регулирования частоты вращения рабочего колеса электродвигателем за счет частотного преобразователя. Дополнительно осадочная камера каналов дорешетной очистки, где требуется меньшая скорость по сравнению с каналом послерешетной очистки, имела воздухозаборный клапан 6.

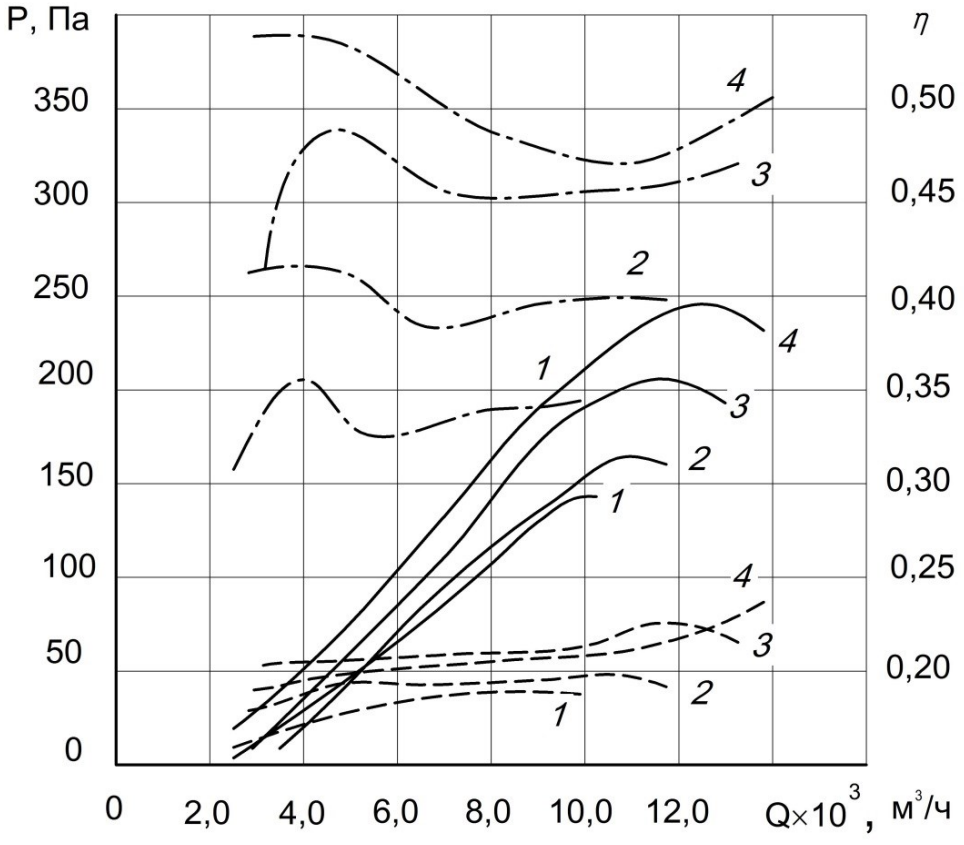
Исследованиями, проведенными на лабораторной установке, являющейся аналогом пневмосистемы машин серии ОЗФ, и отличающейся уменьшенной в пять раз шириной было установлено, что создаваемые вентилятором напоры по зоне всасывания и в аспирациях неодинаковы. Это приводит к изменению направления скорости воздуха на прямо противоположное в конце зоны всасывания (осадочная камера первой аспирации) или обратному выхлопу [5]. Прирост скорости воздуха в каналах за счет повышения частоты вращения рабочего колеса вентилятора, происходит в каналах дорешетной и послерешетной очисток пневмосистемы в разной степени. Пропорционально повышению частоты вращения рабочего колеса вентилятора растет скорость только в канале послерешетной очистки. Рост скорости в каналах дорешетной очистки происходит в несколько раз меньше.

Эксплуатация этих машин в производственных условиях показала, что качественные показатели работы пневмосистем вызывают много нареканий, а попытки увеличить скорость воздушного потока, как с помощью заслонок, так и путем увеличения частоты вращения рабочего колеса вентилятора не приводят к нужным результатам.

После начала серийного выпуска машин были проведены исследования непосредственно на пневмосистеме машины. Целью этих исследований было изучение возможности установления технологически необходимых скоростей воздушного потока в каналах аспираций для послеуборочной очистки и сортировки всего спектра, возделываемых культур при комплектовании пневмосистемы вентиляторами диаметрального типа. Для этого в пневмосистему машины ОЗФ-80 устанавливались поочередно рабочие колеса диаметральных вентиляторов с 12 лопатками и 24 лопатками и снимались показатели для получения количественных характеристик.

Оба рабочих колеса изготавливались на ОАО «Воронежсельмаш». Количественная характеристика вентиляторов снималась по схеме создания сопротивления на всасывании и свободный выход воздушного потока на выходе из вентилятора. Сопротивление каналов изменялось регулировкой живого сечения на входе в каналы. Для построения характеристики кроме фиксации частоты вращения рабочего колеса вентилятора, проводились замеры затрат мощности на его привод. В пневмосепарирующих каналах проводился замер скорости воздуха, полного и динамического напора. Для расчета расхода воздуха, расчетной мощности на привод вентилятора и его кпд замерялась скорость воздуха в воздухоотводящем канале. Скорость воздушного потока, а также полное и динамическое давление замеряли при помощи многофункционального измерительного прибора Testo 435-3 со встроенным датчиком для измерения дифференциального давления, зондом замера скорости воздуха с обогреваемой струной и трубкой Пито. Для замера частоты вращения колеса вентилятора пользовались тахометром DT6236B, мощность потребляемую электродвигателем привода вентилятора измеряли прибором для измерения мощности марки GPM-8212+RS-232.

Результаты и их обсуждение. Количественная характеристика диаметрального вентилятора, установленного в пневмосистеме машины ОЗФ-80 с рабочим колесом, имеющим 12 лопаток, приведено на рисунке 2. Для сравнения показателей на рисунке 3 приведена такая же характеристика вентилятора с рабочим колесом, имеющим 24 лопатки.

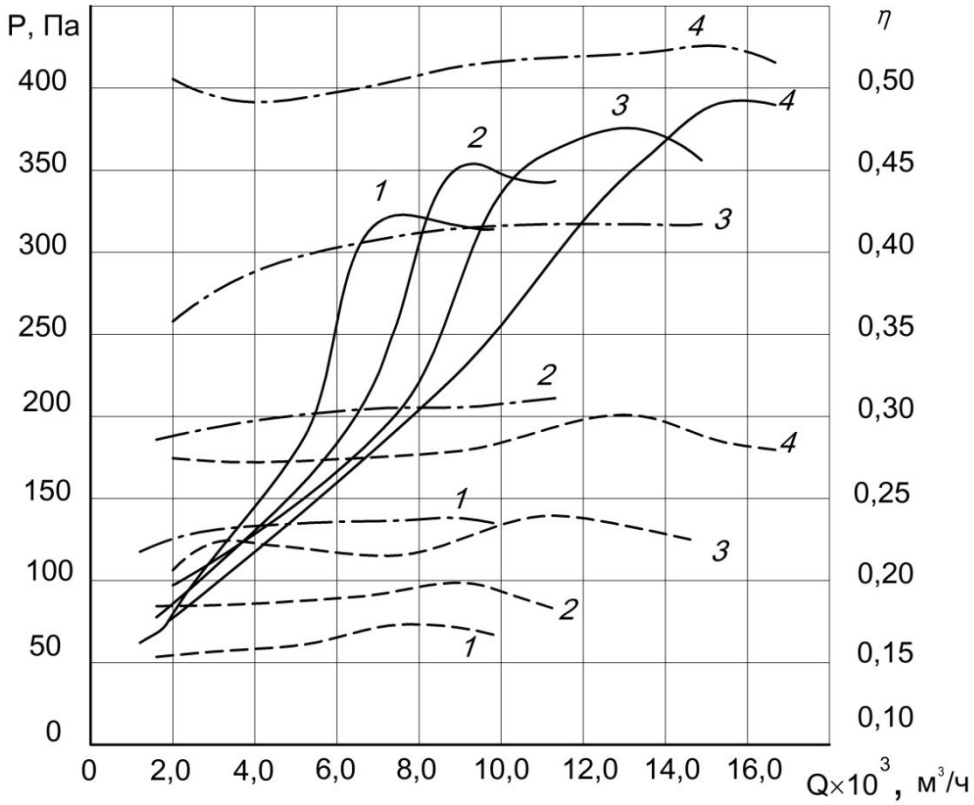


1 – 500 *мин*$^{-1}$; 2 – 600 *мин*$^{-1}$; 3 – 700 *мин*$^{-1}$; 4 – 780 *мин*$^{-1}$

– – – – напор каналы дорешетной очистки; — · — · — напор канал послерешетной очистки;

———— коэффициент полезного действия.

Рисунок 2 – Количественная характеристика диаметрального вентилятора с 12 лопатками в пневмосистеме машины ОЗФ-80



1 – 400 *мин*$^{-1}$; 2 – 500 *мин*$^{-1}$; 3 – 600 *мин*$^{-1}$; 4 – 700 *мин*$^{-1}$

– – – – напор каналы дорешетной очистки; — · — · — напор канал послерешетной очистки

———— коэффициент полезного действия.

Рисунок 3 – Количественная характеристика диаметрального вентилятора с 24 лопатками в пневмосистеме машины ОЗФ-80

Как видно из графических зависимостей, вентилятор с рабочим колесом, имеющим 24 лопатки, имеет более высокий коэффициент полезного действия (кпд) на частотах вращения рабочего колеса от 400 до 780 *мин*$^{-1}$. Причем, интенсивность снижения максимального кпд с уменьшением частоты вращения рабочего колеса для вентилятора с меньшим числом лопаток практически в два раза выше, чем для вентилятора с большим числом лопаток. Так, при частоте вращения рабочего колеса 500 *мин*$^{-1}$ максимальный кпд вентилятора с 12 лопатками снижается до 0,28 – 0,30, в то время как максимальный кпд вентилятора с 24 лопатками снижается только до 0,45 – 0,46.

Производительность вентилятора или часовой расход воздуха, как один из основных параметров определяющих возможность установления необходимых значений скорости воздуха в каналах, составляла 14,0 *тыс. м*^{3}*/ч* при частоте вращения рабочего колеса с 12 лопатками 780 *мин*$^{-1}$.

При установке рабочего колеса с 24 лопатками она выросла до 16,4 *тыс. м*^{3}*/ч* при частоте вращения 700 *мин*$^{-1}$. Причем, разница в производительностях с ростом частоты вращения рабочего колеса увеличивается.

Напор всасывания по каналам пневмосистемы как для дорешетной очистки, так и послерешетной очистки выше в варианте установки рабочего колеса с 24 лопатками. Так, у вентилятора с рабочим колесом, имеющим 24 лопатки, максимальный напор всасывания наблюдается в канале послерешетной очистки при частоте вращения рабочего колеса 700 мин$^{-1}$, и составляет 430 – 440 *Па*, в то время как максимальный напор всасывания в канале послерешетной очистки у вентилятора с рабочим колесом, имеющим 12 лопаток в режиме максимального кпд только 350 – 370 *Па*.

Одновременно напор всасывания в каналах дорешетной очистки значительно меньше. Вентилятор, с рабочим колесом, имеющим 12 лопаток, создает в спаренных каналах дорешетной очистки напор всасывания не превышающий 85 *Па*, что меньше напора, создаваемого в канале послерешетной очистки более чем в четыре раза. Меньшая разница (в 2,0 – 2,15 раза) в создаваемых напорах по аспирациям наблюдается для вентилятора с 24 лопатками. Напор всасывания в спаренных каналах дорешетной очистки при использовании вентилятора с 24 лопатками составляет 180 – 200 *Па* при частоте вращения рабочего колеса 700 $мин^{-1}$.

Глубина канала послерешетной очистки и его протяженность при установке в пневмосистему диаметрального вентилятора с рабочим колесом, имеющим 12 лопаток обеспечивают скорость воздушного потока в канале в пределах 8,6 – 9,05 *м/с* при частоте вращения 870 $мин^{-1}$. Указанной скорости достаточно для выделения щуплого и биологически неполноценного зерна для большинства зерновых культур. Скорость воздушного потока в спаренных каналах дорешетной очистки составляет при такой частоте 3,9 – 4,5 *м/с*. Такой скорости в каналах дорешетной очистки недостаточно для выделения незерновых легковесных примесей, которые вынужденно будут довыделяться каналом послерешетной очистки.

Попытки повышения скоростей воздушного потока путем увеличения частоты вращения рабочего колеса диаметрального вентилятора с 12 лопатками только незначительно (на 0,3 – 0,7 *м/с*) повысили скорость воздушного потока в канале послерешетной очистки, а скорость потока воздуха в спаренных каналах дорешетной очистки осталась практически неизменной (4,1 – 4,7 *м/с*).

Применение в пневмосистемах машин вентилятора с 24 лопатками при частоте вращения рабочего колеса 700 – 750 $мин^{-1}$ дает возможность поддерживать в канале послерешетной очистки скорость воздуха от 9,5 до 11,2 *м/с*, а в каналах дорешетной очистки 6,7 – 7,2 *м/с*. Таких скоростей достаточно для очистки практически всех зерновых культур.

Как показывает анализ приведенных характеристик, рост сопротивления слоя вороха может привести к непредсказуемому изменению расхода воздуха и его скорости в зоне сепарации каналов. Поэтому, применение дросселирования, широко используемого в зерноочистительной технике, с целью установления технологически необходимых скоростей воздушного потока при обслуживании аспираций одним вентилятором диаметрального типа нецелесообразно. Причиной этого является низкая надежность поддержания установленной скорости при изменении сопротивления слоя зернового вороха.

Таким образом, использование диаметральных вентиляторов с рабочим колесом, имеющим 12 лопаток, для обеспечения работы пневмосистемы с каналами дорешетной и послерешетной очисток не рекомендуется.

Для послеуборочной очистки кукурузы и крупносеменных бобовых культур частоту вращения рабочего колеса вентилятора с 24 лопатками необходимо увеличивать до 780 – 830 $мин^{-1}$, что позволит получать скорость воздуха в каналах дорешетной очистки 7,8 – 8,2 *м/с* и в канале послерешетной очистки 11,9 – 12,5 *м/с*.

Заключение. Полученные результаты подтверждают наличие пологой характеристики у вентиляторов диаметрального типа с шириной пневмосистемы более *1,0 м*.

Применение дросселирования, широко применяемое в зерноочистительной технике, с целью установления технологически необходимых скоростей воздушного потока при обслуживании аспираций одним вентилятором диаметрального типа нецелесообразно.

Для универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин с каналами дорешетной и послерешетной очисток использование диаметральных вентиляторов с рабочим колесом, имеющим 12 лопаток, не рекомендуется. В пневмосистемах таких машин производительностью при первичной очистке не более 60 *т/ч* можно рекомендовать использование диаметрального вентилятора с рабочим колесом, имеющим 24-лопатки.

Список литературы

1. Бурков А.И. Диаметральные вентиляторы зерно- и семяочистительных машин: монография. – Киров. – 2008. – 161 с.

2. Сычугов Н.П. Аэродинамические схемы, характеристики и применение диаметральных вентиляторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 3. – С. 27-33.

3. Сычугов Н.П., Бурков А.И. Применение диаметральных вентиляторов в замкнутых пневмосистемах зерноочистительных машин. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1981. – № 2. – С. 23.

4. Бурков А.И., Лазыкин В.А. Фракционный пневматический сепаратор семян СП-2Ф // Сельский механизатор. – 2016. – №3. – С.4–7.

5. Гиевский А.М. Исследование работы диаметрального вентилятора в пневмосистемах машин серии ОЗФ // Механизация и электрификация. – 2008. – № 6. – С. 35-36.

6. Жолобов Н.В., Блинов Б.Ю., Маишев К.В. Ресурсосберегающий пневмосепаратор // Сельский механизатор. – 2013. – № 6. – С. 12–15.

7. Сычугов Ю.В., Глушков А.Л. Результаты аэродинамических исследований пневмосепарирующих каналов машины предварительной очистки зерна МПО-30Р «Велес» // Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства: материалы междунар. науч. конф., семинар для молодых ученых «Методика научных исследований в механизации сельского хозяйства» (г. Киров, 12-14 декабря 2018 г). – Киров. – 2018. – С. 104 – 109.

8. Галкин В.Д., Грубов К.А. Вибропневмосепаратор семян с усовершенствованной декой // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 4. – С. 12–13.

9. Саитов В.Е. Регулирование скорости воздуха в пневмосистеме зерноочистительных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 3. – С. 38 – 39.

10. Сычугов Н.П., Иньков А.А. К расчету пневмосистемы зерно- и семяочистительных машин с диаметральным вентилятором / Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение», посвященной 60-летию инженерного факультета (г. Киров 06 февраля 2012 г.). – Киров. – 2012. – С. 167 – 171.

11. Butovchenko A., Doroshenko A., Kol'Cov A., Serdyuk V. Comparative analysis ofthe functioning of sieve modulesforgrain cleaning machines / E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE. – 2019. – Vol. 135. – № 01081.

12. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., Dick E., Arslanbekova S. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine // Journal of Applied Engineering Science. – 2019. – Vol. 17 (4). – Pp. 529 – 534.

13. Saitov V.E., Farafonov V.G., Saitov A.V. Experimental substantiation of the effective height of a grain falling by a stream of liquid in an ergot release device // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Kurgan. – 2019. – Vol. 341. – № 012123.

14. Бурков А.И. Особенности функционирования диаметрального вентилятора-аспиратора в пневмосистемах зерноочистительных машин с двумя сепарирующими каналами // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1993. – № 4. – С. 57.

15. Бурков А.И., Рощин О.П., Исупов В.И. Эффективный диаметральный вентилятор для зерно-и семяочистительных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 11. – С. 32.

16. Gievskiy A.M., Orobinsky V.I., Tarasenko A.P., Chernyshov A.V., Kurilov D.O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Tomsk. – 2018. – Vol. 327 (4). – № 042035.

References

1. Burkov A.I. Diametral'nye ventiljatory zerno- i semjaochistitel'nyh mashin: monografija. – Kirov. – 2008. – 161 s.

2. Sychugov N.P. Ajerodinamicheskie shemy, harakteristiki i primenenie diametral'nyh ventiljatorov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 3. – S. 27-33.

3. Sychugov N.P., Burkov A.I. Primenenie diametral'nyh ventiljatorov v zamknutyh pnevmosistemah zernoochistitel'nyh mashin. // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. – 1981. – № 2. – S. 23.

4. Burkov A.I., Lazykin V.A. Frakcionnyj pnevmaticheskij separator semjan SP-2F // Sel'skij mehanizator. – 2016. – №3. – S.4–7.

5. Gievskij A.M. Issledovanie raboty diametral'nogo ventiljatora v pnevmosistemah mashin serii OZF // Mehanizacija i jelektrifikacija. – 2008. – № 6. – S. 35-36.

6. Zholobov N.V., Blinov B.Ju., Maishev K.V. Resursosberegajushhij pnevmoseparator // Sel'skij mehanizator. – 2013. – № 6. – S. 12–15.

7. Sychugov Ju.V., Glushkov A.L. Rezul'taty ajerodinamicheskih issledovanij pnevmoseparirujushhih kanalov mashiny predvaritel'noj ochistki zerna MPO-30R «Veles» // Jenergosberegajushhie agrotehnologii i tehnika dlja severnogo zemledelija i zhivotnovodstva: materialy mezhdunar. nauch. konf., seminar dlja molodyh uchenyh «Metodika nauchnyh issledovanij v mehanizacii sel'skogo hozjajstva» (g. Kirov, 12-14 dekabrja 2018 g). – Kirov. – 2018. – S. 104 – 109.

8. Galkin V.D., Grubov K.A. Vibropnevmoseparator semjan s usovershenstvovannoj dekoj // Traktory i sel'hozmashiny. – 2011. – № 4. – S. 12–13.

9. Saitov V.E. Regulirovanie skorosti vozduha v pnevmosisteme zernoochistitel'nyh mashin // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. – 2008. – № 3. – S. 38 – 39.

10. Sychugov N.P., In'kov A.A. K raschetu pnevmosistemy zerno- i semjaochistitel'nyh mashin s diametral'nym ventiljatorom / Uluchshenie jekspluatacionnyh pokazatelej sel'skohozjajstvennoj jenergetiki: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Nauka-Tehnologija-Resursosberezhenie», posvjashhennoj 60-letiju inzhenernogo fakul'teta (g. Kirov 06 fevralja 2012 g.). – Kirov. – 2012. – S. 167 – 171.

11. Butovchenko A., Doroshenko A., Kol'Cov A., Serdyuk V. Comparative analysis ofthe functioning of sieve modulesforgrain cleaning machines / E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE. – 2019. – Vol. 135. – № 01081.

12. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., Dick E., Arslanbekova S. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine // Journal of Applied Engineering Science. – 2019. – Vol. 17 (4). – Pr. 529 – 534.

13. Saitov V.E., Farafonov V.G., Saitov A.V. Experimental substantiation of the effective height of a grain falling by a stream of liquid in an ergot release device // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Kurgan. – 2019. – Vol. 341. – № 012123.

14. Burkov A.I. Osobennosti funkcionirovanija diametral'nogo ventiljatora-aspiratora v pnevmosistemah zernoochistitel'nyh mashin s dvumja separirujushhimi kanalami // Sibirskij vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki. – 1993. – № 4. – S. 57.

15. Burkov A.I., Roshhin O.P., Isupov V.I. Jeffektivnyj diametral'nyj ventiljator dlja zerno-i semjaochistitel'nyh mashin // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. – 2002. – № 11. – S. 32.

16. Gievskiy A.M., Orobinsky V.I., Tarasenko A.P., Chernyshov A.V., Kurilov D.O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Tomsk. – 2018. – Vol. 327 (4). – № 042035.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Оробинский Владимир Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Гиевский Алексей Михайлович – доктор технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Чернышов Алексей Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Баскаков Иван Васильевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Orobinsky Vladimir – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Gievsky Aleksey – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Chernyshov Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Baskakov Ivan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 19.10.2020 Принята к публикации (Accepted): 09.12.2020

УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-45-51

КАЧЕСТВО ТРИЕРНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ ПРИМЕСИ ИЗ ЯЧМЕНЯ

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

Реферат. *Представлены результаты выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси. Качество процесса выделения зерновой примеси оценивали показателями: технологических потерь (П); степени выделения на стандартной длине ячеистой поверхности (*$С_{в_{ст}}$*); остаточной засоренности ячменя (*$З_о$*). Установлено, что при исходной засоренности* $З_и$*=1 %, скоростном режиме работы n = 40 об/мин и подъеме верхней кромки передней стенки выводного лотка на угол* γ_n *= 35 – 55° технологические потери не превышают 0,046 %. Увеличение продолжительности опыта до эквивалентной длины ячеистой поверхности в 12 м приводит к росту технологических потерь до 0,364 %. С ростом* γ_n *от 35° до 55° технологические потери снижаются в 7 раз, но* $З_о$ *увеличивается в 1,8 раз. Выявлено, что степень выделения (*$С_{в_{ст}}$*) примесных частиц с ростом скоростного режима возрастает с убывающей интенсивностью. Подтверждена необходимость выбора скоростного режима работы по компромиссному критерию – с учетом весомостей показателей технологических потерь и остаточной засоренности. Установлено, что максимальная степень выделения зерновой примеси обеспечивается при* $n = n_{max} = 55$ *об/мин и* $\gamma_n = \gamma_{n\,min} = 35° - С_{в_{ст}}$ *составляет 84,7 %. Эти условия работы триера обеспечивают приемлемый уровень остаточной засоренности (*$З_о$ *= 0,305 %) лишь при двукратном пропуске зерносмеси с исходной засоренностью* $З_и$ *= 2 % через стандартный кукольный цилиндр. Взаимосвязи совокупности показателей качества выделения примеси с режимами работы и настроечными параметрами показывают, что колотые зерновки ячменя являются трудноотделимым компонентом. Для его выделения из зерносмеси необходимы триерные блоки с несколькими кукольными цилиндрами, включенными в технологический процесс последовательно.*

Ключевые слова: *зерновая примесь, очистка зерносмеси, потери, степень выделения, остаточная засоренность.*

QUALITY OF TRIER SEPARATION OF GRAIN ADMIXTURE FROM BARLEY

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

Abstract. *The results of isolation of crushed barley grains from the grain mixture are presented. The quality of the grain impurity isolation process was evaluated by indicators: technological losses (P); the degree of isolation on the standard length of the cellular surface (*$С_{в_{ст}}$*); residual contamination of barley (*Z_o*). It was found that when the initial blockage Zi=1 %, the speed mode n = 40 rpm and the rise of the upper edge of the front wall of the output tray at an angle* y_n*=35 – 55° technological losses do not exceed 0.046 %. Increasing the duration of the experiment to the equivalent length of the cellular surface of 12 m leads to an increase in technological losses up to 0.364 %. With an increase in yn from 35° to 55°, technological losses are reduced by 7 times, but the Zo increases by 1.8 times. It was found that the degree of isolation (*$С_{в_{ст}}$*) impurity particles with increasing speed increases with decreasing intensity. The necessity of selecting a high – speed mode of operation according to a compromise criterion is*

confirmed, taking into account the weight of indicators of technological losses and residual clogging. It was found that the maximum degree of grain impurity release is provided at n = n_{max} = 55 rpm and y_n= $y_{n\,min}$ = 35° − $С_{вст}$ is 84.7 %. These operating conditions of the Trier provide an acceptable level of residual contamination (Z_o = 0.305%) only when the grain mixture with the initial Z_i = 2 % contamination is passed twice through a standard doll cylinder. The relationship of a set of indicators of the quality of impurity release with operating modes and tuning parameters shows that crushed barley grains are a difficult component to separate. To separate it from the grain mixture, you need Trier blocks with several puppet cylinders included in the technological process sequentially.

Keywords: *grain impurity, cleaning of grain mixture, losses, degree of separation, residual contamination.*

Введение. Триерные блоки в составе зерноочистительных технологий используются на крайне низком уровне по качественным показателям процесса. Для повышения качества процесса триерной очистки зерна необходимы средства управления массовыми потоками [1 – 3] и обоснованные рекомендации по выбору режимов работы и настроечных параметров в условиях реальной эксплуатации. В основополагающих работах [4 – 6] рассмотрены вопросы теории цилиндрических триеров, определены направления совершенствования рабочего процесса, установлены в общем виде взаимосвязи расходных характеристик с режимами работы. В последующем в работах [7 – 11] нами экспериментально установлены закономерности протекания триерных процессов, включая оценки их качества, когда основной культурой в зерносмеси была пшеница. Кроме того и в работах [7 – 11] не решалась задача качества выделения зерновой примеси из зерносмеси. Поэтому исследования качества процесса выделения зерновой примеси из ячменя, объем производства которого в России составляет 8-10 млн. тонн в год, представляют собой актуальную задачу.

Материалы и методы. В работе использован стенд для исследований ячеистых поверхностей, представляющий собой временную физическую модель процесса, обеспечивающую инвариантность оценок относительно длины рабочей поверхности. В качестве зерновой примеси использовались колотые зерновки ячменя. Интервально-временные навески выделенных частиц контролировались электронными весами.

Результаты и обсуждение. В опытах с навеской $m_н$ = 1000 г, n = 40 об/мин и исходной засоренностью $З_и$ = 1% технологические потери убывали с ростом подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка в диапазоне – $\gamma_п$ = 35 – 55° от 9-ти зерновок основной культуры до 2-х, что не превышает 0,046 %. Результаты экспериментальной оценки технологических потерь ($П$) в процессе выделения из зерносмеси колотых зерновок ячменя при $З_и$ = 2 % представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь технологических потерь ($П$) с n и $\gamma_п$ при $З_и$ = 2% и $m_н$ = 1000 г

№ п/п	Угол подъема лотка ($\gamma_п$), град	Скорость вращения ячеистого цилиндра (n), об/мин	Потери зерновок на $l_{ст}$, шт	Потери за 20 интервалов времени,шт	Величина интервала времени замеров, с	Продолжи-тельность опыта, с
1	2	3	4	5	6	7
1	35	40	15	26	5	100
2	45	40	13	25	10	200
3	55	40	8	71	15	300
4	35	45	14	27	5	100
5	45	45	7	41	10	200
6	55	45	16	56	15	300
7	35	50	30	44	5	100
8	45	50	33	86	10	200
9	55	50	9	91	15	300
10	35	55	75	122	5	100
11	45	55	24	80	10	200
12	55	55	11	49	15	300

Из таблицы 1 видно, что с увеличением исходной засоренности до $З_и$ = 2 % при $\gamma_п$ = 35° и n = 40 об/мин технологические потери возросли на 67 %. С ростом $\gamma_п$ до 55° они снижаются на стандартной длине ячеистой поверхности $l_{ст}$ = 2,2 м до 8 зерновок основной культуры. С увеличением продолжительности опыта до t = 300 с, что эквивалентно длине ячеистой поверхности $l_{экв}$ = 12 м, технологические потери нелинейно возросли до 71 зерновки основной культуры. В долевом соотношении они составляют:

$$П = (m_{1000} \cdot n_{зя}/1000)\,/m_н \cdot 100\% = (51{,}3 \cdot 71/1000)/1000 \cdot 100 = 0{,}364\%, \quad (1)$$

где $П$ – технологические потери, %; m_{1000} – масса 1000 зерновок ячменя (51,3 г), г; $n_{зя}$ – число выделенных зерновок ячменя, шт.; $m_н$ –масса навески зерносмеси в ячеистом цилиндре стенда.

Полученный результат ($П$) нужно соотносить с основным показателем технологического процесса – остаточной засоренностью ($З_о$). Не смотря на продолжительность процесса t = 300 с и величину $l_{экв}$ = 12 м, требования по остаточной засоренности зерна при n = 40 об/мин и $\gamma_п$ = 55° не обеспечены – выделено $С_в$ = 24,6% (4,91 г), а осталось 15,09 г → $З_о$ = 1,509 % при $З_и$ = 2 %. Откуда следует: технологические потери при обеспечении требований к [$З_о$] с заданными выше n и $\gamma_п$ и продолжительность процесса будут еще большими; для обеспечения [$З_о$] необходимо уменьшить $\gamma_п$ до 35°, а скоростной режим работы выбирать по компромиссному значению интегрального показателя качества ($К$):

$$К = В_п П + В_{з_о} З_о \rightarrow min, \quad (2)$$

где $В_п$ – весомость показателя технологических потерь; $В_{з_о}$– весомость показателя остаточной засоренности зерна.

Скоростной режим работы триера существенно влияет на технологические потери. Так с ростом n от 40 до 55 об/мин технологические потери при $\gamma_п$ = 35° увеличились в 5 раз – $n_{зя}$ = 75 шт. вместо 15 шт. Возможности сокращения $П$ на высоких скоростных режимах работы (n) связаны с увеличением $\gamma_п$.

Например, с увеличением $\gamma_п$ с 35 до 45° при n = 55 об/мин технологические потери на стандартной длине ячеистого цилиндра падают в 3 раза, а с увеличением $\gamma_п$ до 55° – в 7 раз. Однако при этом резко снижается степень выделения колотых зерновок ячменя из-за их неустойчивого размещения в ячеях кукольного цилиндра. Именно по этой причине необходим интегральный критерий для выбора режимов работы и настроечных параметров.

Из рисунка 1 видно, что характер изменения $С_{в_{ст}}$ при $\gamma_п$ = 35° и 45° является идентичным. Величина $С_{в_{ст}}$ с ростом скоростного режима (n) возрастает с убывающей интенсивностью. При увеличении $\gamma_п$ от 35° до 55° величина $С_{в_{ст}}$колотых зерновок ячменя с $З_и$ = 2 % резко снижается: при n = 40 об/мин – в 4,9 раз; n = 50 об/мин – в 3,8 раз.

Относительно небольшая разница $С_{в_{ст}}$ (28%) в верхней части диапазона скоростного режима работы триера объясняется ростом влияния на процесс эффекта инерционного удержания примесных частиц в ячеях. Этот физический эффект в большей степени себя проявляет, когда примесные частицы имеют сопоставимые или большие габариты в сравнении с размерами ячей – средняя длина колотых зерновок ячменя ($\bar{l}$ = 5,1 мм) превышает их.

Скоростной режим n = 40 об/мин ($К_1$ = 0,268) недостаточен для обеспечения уровня требований к остаточной засоренности зерна при $\gamma_п$ = 35° и невысокой исходной засоренности зерносмеси колотыми зерновками ячменя $З_и$ = 1 % − она составляет 0,5 %. Увеличение длины ячеистой поверхности до 4 м также не позволит обеспечить приемлемый уровень остаточной засоренности − $З_о$ = 0,416 %.

С увеличением $\gamma_п$ степень выделения колотых зерновок ячменя резко падает, рисунок 1. При $\gamma_п$ = 65° и n = 40 об/мин величина $С_{в_{ст}}$ не превышает 3,1 %. Даже увеличение рабочей длины ячеистого цилиндра до 16 м не обеспечит требуемый уровень качества процесса −$З_о$ = 0,774 %. С увеличением скоростного режима работы до n = 45 об/мин ($К_2$ = 0,34) можно обеспечить качество процесса по остаточной засоренности только при $\gamma_п$ = 35° и длине ячеистого цилиндра в 4 м ($З_о$ = 0,343%), таблица 2 и рисунок 2.

Увеличение исходной засоренности зерносмеси до 2% снижает степень выделения примесных частиц и увеличивает остаточную засоренность зерносмеси в сравнении с исходной засоренностью в 1% при сопоставимых режимах работы и настроечных параметрах. Причем степень выделения примеси из зерносмеси ячеистой поверхностью стандартной длины снижается незначительно – 3 – 14 %, а остаточная засоренность возрастает – в 2 раза и более.

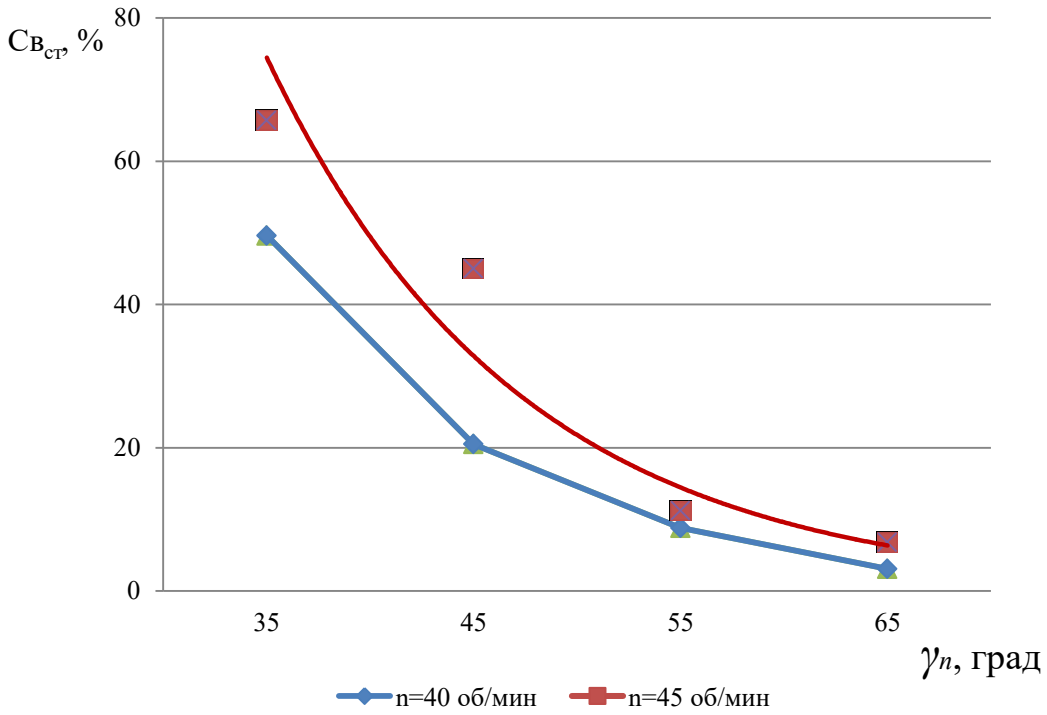


Рисунок 1 – Взаимосвязь степени выделения ($С_{в_{ст}}$) колотых зерновок ячменя из основной культуры с углом подъема кромки выводного лотка ($\gamma_п$) при различных n и $З_и$ = 1 %

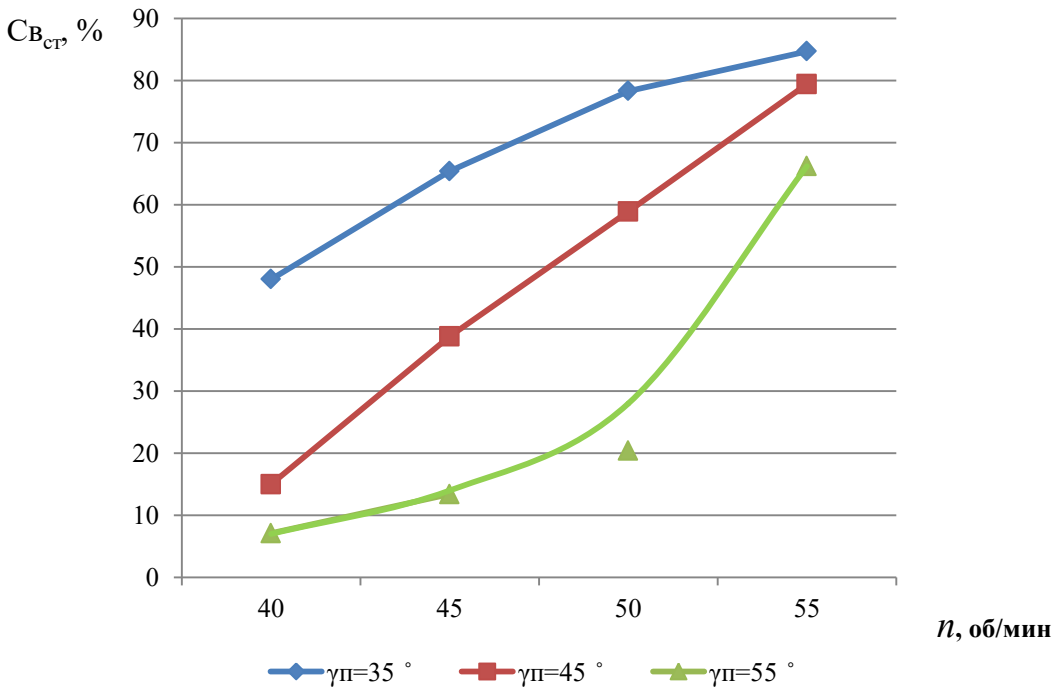


Рисунок 2 – Взаимосвязь степени выделения ($С_{в_{ст}}$) колотых зерновок ячменя из основной культуры со скоростью вращения ячеистого цилиндрапри различных $\gamma_п$ и $З_и$ = 2 %

Таблица 2 – Взаимосвязь степени выделения колотых частиц ячменя из основной культуры (ячменя) с n и γ_n

№ п/п	Скорость вращения ячеистого цилиндра, об/мин, (n)	Угол подъема кромки, град, (γ_n)	Степень выделения на l=2,2 м, %,($C_{в_{ст}}$)	Степень выделения на $l_{экв}$, ($C_{экв}$)	Степень выделения на длине $l_{экв}$-$l_{ост}$, % ($C_{(-)}$)	$l_{экв}$	Остаточная засоренность после $l_{ст}$, %, ($З_{о_{ст}}$)
1	2	3	4	5	6	7	8
при $m_н$=1000 г и$З_и$=1%							
1	40 (28,3)* K_1=0,268**	35	49,6	58,4	8,8	4	0,5
		45	20,5	39,8	19,3	8	0,785
		55	8,8	23,6	14,8	12	0,912
		65	3,1	18,5	15,4	16	0,97
2	45 (31,8)* K_2=0,34	35	65,7	73,9	8,2	4	0,343
		45	45,0	64,2	19,2	8	0,55
		55	11,2	28,3	17,1	12	0,888
		65	6,8	22,6	15,8	16	0,932
при $m_н$=1000 г и$З_и$=2%							
3	40 (28,3)* K_1=0,268	35	48,0	57,9	9,9	4	1,04
		45	15,0	34,4	19,4	8	1,69
		55	7,1	24,6	17,5	12	1,858
4	45 (31,8)* K_2=0,34	35	65,4	73,5	8,1	4	0,692
		45	38,8	61,5	22,7	8	1,225
		55	13,4	41,6	28,2	12	1,733
5	50 (35,4)* K_3=0,419	35	78,3	84,3	6,0	4	0,434
		45	58,9	79,8	19,9	8	0,812
		55	20,4	65,6	45,2	2	1,593
6	55 (38,9)* K_4=0,508	35	84,7	89,0	4,3	4	0,305
		45	79,4	90,0	10,6	8	0,413
		55	66,2	84,0	17,8	12	0,676

* скорость цилиндра с R=0,3 м; ** K_i – коэффициент кинематического режима

Приемлемый уровень остаточной засоренности может быть обеспечен при $n = n_{max} = 55$ об/мин и $\gamma_n = \gamma_{n\ min} = 35°$. Эти условия работы стенда обеспечивают $C_{в_{ст}} = 84,7$ % и $З_о = 0,305$ % при $З_и = 2$ %, что не соответствует высокому уровню качества триерной очистки зерносмесей из-за завышенной длины примесных частиц относительно размеров ячей.

Выводы. Зерновая примесь в виде колотых зерновок основной культуры является трудноотделимой. С ростом скоростного режима работы триера увеличивается степень выделения примесных частиц, но при этом резко возрастают технологические потери. Для обеспечения требований по остаточной засоренности при выделении зерновой примеси в виде колотых зерновок необходимо кратное увеличение длины ячеистой поверхности. Основная причина трудноотделимости колотых зерновок состоит в их неустойчивом размещении в ячеях кукольного цилиндра, что повышает вероятность динамического «выедания» контактирующим слоем, а неустойчивость размещения колотых зерновок в ячеях объясняется превышением их средней длины относительно диаметра ячей.

Список литературы

1. Патент РФ № 2520341, МПК A 01F 12/44. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2012145368/13; заявл. 24.10.2012; опубл. 20.06.2014. – Бюл. № 17.

2. Патент РФ № 2540352, МПК A 01 F 12/60. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2013120622/13; заяв. 06.05.2013; опубл. 10.02.2015. – Бюл. № 4.

3. Патент РФ № 2549284, МПК A 01 F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2013114867/13; заявл. 02.04.2013; опубл. 27.04.2015. – Бюл. № 12.

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

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

6. Павловский Г.Т. Исследование технологического процесса в цилиндрических триерах // Сборник научных трудов ВИМ. – 1952. – Т. 17.

7. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Результаты поисковых исследований прибора для разделения зерносмесей // Наука в центральной России. – 2016. – № 5 (23). – С. 37 – 44.

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

9. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Исследование динамической сегрегации примеси при выделении проса из пшеницы // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26).– С. 69 – 77.

10. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Качество выделения семян горчицы и сорго из пшеницы ячеистыми поверхностями // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27).– С. 42 – 48.

11. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Обоснование метода идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 20 – 27.

References

1. Patent RF № 2520341, MPK A 01F 12/44. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. – № 2012145368/13; zajavl. 24.10.2012; opubl. 20.06.2014. – Bjul. № 17.

2. Patent RF № 2540352, MPK A 01 F 12/60. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / Tishaninov N.P., Anashkin A.V. – № 2013120622/13; zajav. 06.05.2013; opubl. 10.02.2015. – Bjul. № 4.

3. Patent RF № 2549284, MPK A 01 F 12/46. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. – № 2013114867/13; zajavl. 02.04.2013; opubl. 27.04.2015. – Bjul. № 12.

4. Letoshnev M.N. Teorija triera // Sbornik nauchno-tehnicheskih rabot Leningradskogo instituta mehanizacii sel'skogo hozjajstva. – L. – 1948. – Vyp. IV. – S. 3 – 58.

5. Letoshnev M.N. Sel'skohozjajstvennye mashiny // Teorija, raschet, proektirovanie i ispytanie. – M.: L.: Sel'hozgiz. – 1955. – 856 s.

6. Pavlovskij G.T. Issledovanie tehnologicheskogo processa v cilindricheskih trierah // Sbornik nauchnyh trudov VIM. – 1952. – T. 17.

7. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Rezul'taty poiskovyh issledovanij pribora dlja razdelenija zernosmesej // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. – № 5 (23). – S. 37 – 44.

8. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Al'shinajiin H.D.D. Obosnovanie optimal'nyh parametrov i rezhimov raboty pribora dlja razdelenija zernosmesej po dline chastic // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 1 (25). – S. 10 – 19.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Issledovanie dinamicheskoj segregacii primesi pri vydelenii prosa iz pshenicy // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 2 (26).– S. 69 – 77.

10. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Kachestvo vydelenija semjan gorchicy i sorgo iz pshenicy jacheistymi poverhnostjami // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 3 (27).– S. 42 – 48.

11. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Obosnovanie metoda identifikacii proizvoditel'nosti trierov po rezul'tatam stendovyh issledovanij // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 1 (31). – S. 20 – 27.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

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

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

Author credentials

Affiliations

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

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

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

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

Поступила в редакцию (Received): 07.10.2020 Принята к публикации (Accepted): 23.11.2020

УДК 665.7.038
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-51-59

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛУНЖЕРНОЙ ПАРЫ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

[1]Канищев Александр Сергеевич
[1]Ломовских Александр Егорович
[1]Агафонов Андрей Константинович
[1]Рябчук Алексей Сергеевич
[1]Борисов Сергей Владимирович
[1]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Реферат. *В статье приводится анализ эксплуатации автотракторной техники, раскрывается способ безразборного ремонта топливной аппаратуры дизельных двигателей внутреннего сгорания. В процессе теоретического анализа и определения стойкого защитного металлокерамического покрытия на трущихся поверхностях прецизионных плунжерных пар топливного насоса высокого давления использовались положения триботехники и теоретической физики, связанные с процессами дополнительного введения в зону трения между поверхностями смеси природных минералов. Разрабатывается методика обработки пар трения топливного насоса новой антифрикционной композиции. Проводятся стендовые испытания дизельного двигателя ЯМЗ-236 при работе плунжерных пар со смазочной композицией, добавляемой в моторное дизельное топливо. Проведенные в рамках данной работы эксперименты показали, что при применение данного состава для топливных насосов высокого давления позволяет обеспечить продление ресурса восстанавливаемой плунжерной пары в 1,5 – 2 раза; в 2 – 3 раза снизить сроки*

и затраты на ремонт ДВС, что особенно важно в интересах поддержания парка автотракторной техники; снижение стоимости ее жизненного цикла при эксплуатации в отдаленных районах, куда поставка оборудования и запчастей затруднительна и высокозатратна. На основе результатов изучения поставленного вопроса разрабатываются предложения и рекомендации по применению нового антифрикционного смазочного материала в качестве плакирующего компонента для плунжерных пар топливного насоса высокого давления автотракторной техники.

Ключевые слова: *дизельные двигатели внутреннего сгорания, агрегаты системы питания, устройство для восстановления, безразборный ремонт, ремонтно-восстановительный состав, реновационная жидкость, продление ресурса.*

METHOD AND DEVICE FOR RESTORING THE PLUNGER PAIR OF A HIGH-PRESSURE FUEL PUMP

[1]Kanishchev Alexandr
[1]Lomovskih Alexander
[1]Agafonov Andrey
[1]Ryabchuk Alexey
[1]Borisov Sergey
[1]MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"

Abstract. *The article provides an analysis of the operation of automotive equipment, reveals the method of non-disassembly repair of fuel equipment of diesel internal combustion engines. The provisions of tribo-technics and theoretical physics, associated with the processes of additional introduction of a mixture of natural minerals into the friction zone between the surfaces, were used in the process of theoretical analysis and determination of a stable protective cermet coating on rubbing surfaces of precision plunger pairs of a high-pressure fuel pump. A method for processing fuel pump friction pairs with a new antifriction composition is being developed. Bench tests of the YAMZ-236 diesel engine are carried out when plunger pairs work with a lubricant composition added to motor diesel fuel. The experiments carried out in the framework of this work showed that the use of this composition for high-pressure fuel pumps makes it possible to extend the life of the restored plunger pair by 1.5 – 2 times; to reduce the time and cost of repairing the internal combustion engine by 2 – 3 times, which is especially important in the interests of maintaining the fleet of automotive equipment; reducing the cost of its life cycle when operating in remote areas, where the supply of equipment and spare parts is difficult and high-cost. Proposals and recommendations for the use of a new antifriction lubricant as a cladding component for plunger pairs of a high-pressure fuel pump of automotive vehicles are being developed based on the results of studying the question posed.*

Keywords: *diesel internal combustion engines, power system units, recovery device, non-disassembly repair, repair and recovery composition, renovation fluid, life extension.*

Введение. На современном этапе развития агропромышленного комплекса (АПК) в качестве силовой установки сельскохозяйственных машин применяются дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Для таких двигателей в качестве рабочего тела применяется тяжелое дизельное топливо. На сегодняшний момент качество применяемого для автотракторной техники (АТТ) дизельного топлива пока еще остается на низком уровне. Также при транспортировки и хранении качество топливо также снижается, путем гигроскопичности и насыщения его влагой из атмосферы. В процессе хранения и перекачки из одной емкости в другую происходит испарение легких фракций и дополнительное утяжеление дизельного топлива. В первую очередь от этих всех проблем страдает топливная система АТТ. Избыточная, растворенная вода накапливается в фильтрующих элементах (фильтре грубой и тонкой очистки), а при эксплуатации в условиях низких температур это приводит к выходу из строя силовой установки. При попадании в плунжерную пару топливного насоса высокого давления (ТНВД) вода может вызывать коррозию плунжерной пары. Особенно это отрицательно сказывается после остановки двигателя и отслоении ее в плунжерных секциях насоса.

В связи с тем, что ТНВД является очень дорогим узлом топливной системы и его замена или ремонт экономически затратен, то с целью восстановления плунжерных пар и предотвращения их от коррозиионного изнашивания предлагается способ восстановления, основанный на использовании разработанного для этих целей триботехнического состава. Поэтому наряду с внедрением новых образцов автотракторной техники, важное значение имеет усовершенствование эксплуатируемых двигателей внутреннего сгорания существующей техники и непосредственно продления срока службы ТНВД.

Следует отметить, что около 70 % АТТ современного АПК имеют срок эксплуатации свыше 15 лет. Данная особенность сопровождается физическим старением техники, повышением износа деталей в ее механизмах и узлах, что ведет к значительным материальным затратам, связанными с проведением различных видов технических обслуживаний и ремонтов [1].

Более 60 % АТТ оснащены дизельными ДВС, как наиболее мощными и экономичными по сравнению с бензиновыми двигателями. Анализ «Концепции развития парка АТТ на период 2020 –2025 гг.» указывает на то, что процент укомплектованности АТТ с дизельными ДВС будет постоянно увеличиваться, в связи с чем в настоящее время в современном АПК происходит замена устаревших марок с бензиновыми ДВС (ЗИЛ-131, Урал-375, ГАЗ-66 и др.) на автомобили семейства «УРАЛ», «КАМАЗ» и др., оборудованными дизельными силовыми установками.

Анализ эксплуатации АТТ, по данным ГОСНИТИ [2], показывает, что свыше 50 % всех отказов ВАТ связана с отказом ДВС. При этом от 25 % до 50 % дизельных ДВС связана с отказом топливной аппаратуры двигателей, из которой до 70 % приходится на прецизионные детали, в число которых входят плунжерные пары ТНВД и насос-форсунок. Вследствие этого, решение проблем, связанных с повышением ресурса прецизионных пар ТНВД является актуальным.

Одним из приоритетных направлений в интересах поддержания парка АТТ в работоспособном состоянии является также продление ресурса АТТ и снижение стоимости жизненного цикла АТТ за счет сокращения расходов на их ремонт, особенно при эксплуатации в отдаленных районах, куда поставка оборудования и запчастей затруднительна, высокозатратна и отсутствует высококвалифицированный персонал.

Цель работы – заключается в разработке способа восстановления и увеличения ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления дизельных двигателей внутреннего сгорания путем добавки в топливную систему нового антифрикционного материала.

Материалы и методы. Одним из эффективных методов восстановления прецизионных пар ТНВД при капитальном ремонте является нанесение различных износостойких покрытий на рабочие поверхности плунжерных пар [3].

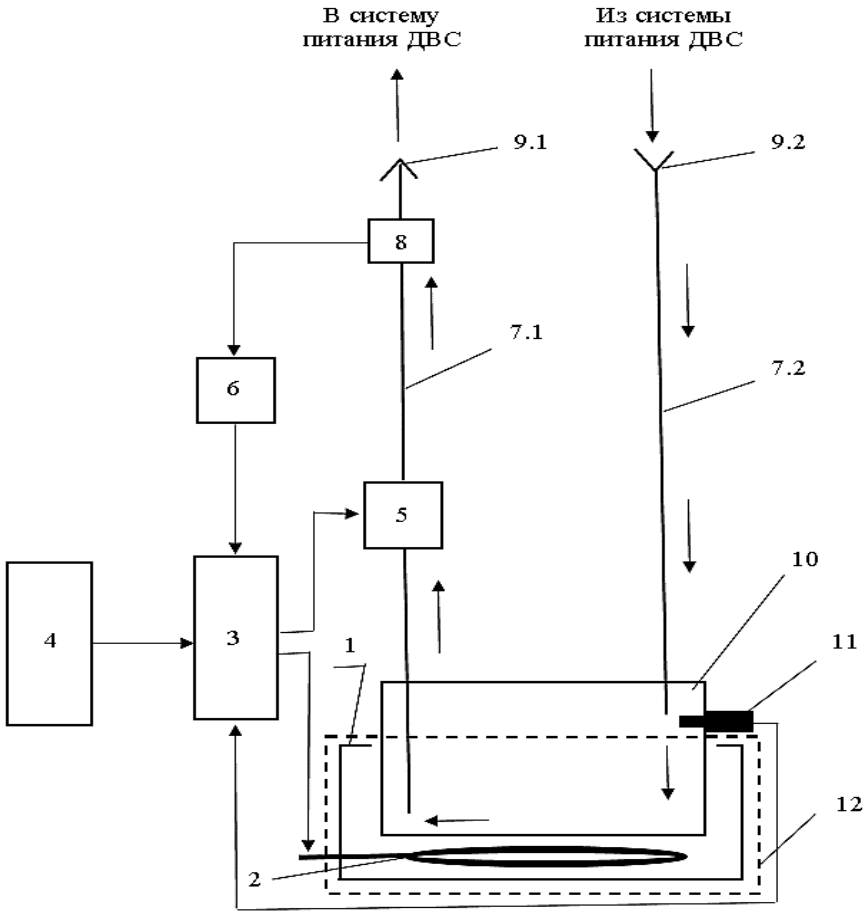
Следует отметить, что самыми популярным относятся методы:

- электролитического хромирования периодическим током с обратным импульсом;
- сульфохромирования и сульфоборирования;
- диффузионной металлизации;
- газофазного борохромирования и другие технологии.

При всех преимуществах нанесение износостойких покрытий вышеуказанными методами обладают значительной энергоемкостью и трудоемкостью, достаточно сложны в реализации в полевых условиях. Данными положениями создается «барьер» для успешного использования особенно в полевых условий.

В связи с этим, предлагается способ безразборного ремонта [4, 5] агрегатов системы питания дизельных двигателей, основанный на введении в систему питания ДВС с помощью разработанного устройства [6] ремонтно-восстановительного состава на основе топлива и высодисперсного плакирующего компонента ВПК-АЗ, запатентованного в ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж) [7], которые обеспечивают качественное восстановление поверхностей прецизионных пар трения. В результате происходит восстановление показателей и технических характеристик агрегатов системы питания дизельных ДВС до нормативных. Полученные значения соответствуют показателям, характерным после проведения капитального ремонта агрегатов, хотя разборка, дефектация и замена изношенных деталей не осуществлялись, а сам ремонт проводился в режиме технического обслуживания. В итоге материальные, финансовые и временные затраты на ремонт и восстановление топливной аппаратуры дизельных ДВС значительно сокращаются.

Структурная схема разработанного устройства для восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных ДВС представлена на рисунке 1 [6].



1 – емкость для теплоносителя; 2 – электронагреватель; 3 – блок управления;
4 – пульт ввода; 5 – насос; 6 – счетчик времени; 7.1, 7.2 – подводящий и сливной трубопровод;
8 – перепускной клапан; 9.1, 9.2 – подводящий и отводящий штуцеры, соответственно;
10 – бак; 11 – датчик температуры; 12 – блок нагрева

Рисунок 1 – Структурная схема устройства для восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных двигателей внутреннего сгорания

Устройство работает следующим образом. Подключают устройство к системе питания ДВС посредством подводящего 9.1 и отводящего 9.2 штуцеров (рисунок 1). Вводят с помощью пульта ввода 4 в блок управления 3 исходные данные о температуре нагрева ВПК-АЗ в баке 10 и на счётчике времени 6 задают время восстановления. Включают устройство, например, при помощи тумблера (не показан) на блоке управления 3. Блок управления 3 анализирует информацию, поступающую с пульта вода 4, датчика температуры 11 и счетчика времени 6.

Если температура ВПК-АЗ меньше нижней границы заданного температурного диапазона нагрева ($T_{ВПК-АЗ} < T_{зад1}$), то блок управления 3 выдает команду на включение электронагревателя 2.

При достижении температуры ВПК-АЗ нижней границы заданного температурного диапазона нагрева ($T_{ВПК-АЗ} = T_{зад1}$), подается сигнал о включении насоса 5 с блока управления 3, который производит забор ВПК-АЗ из бака 10 и передает ее по подводящему трубопроводу 7.1 далее к перепускному клапану 8, при срабатывании которого, включается счетчик времени 6 и ВПК-АЗ поступает в систему питания ДВС.

Запускают двигатель и в процессе его работы под действием разогретого до необходимой температуры ВПК-АЗ, осуществляется процесс восстановления изношенных рабочих

поверхностей прецизионных пар трения за счет образования на них металлокерамического защитного покрытия.

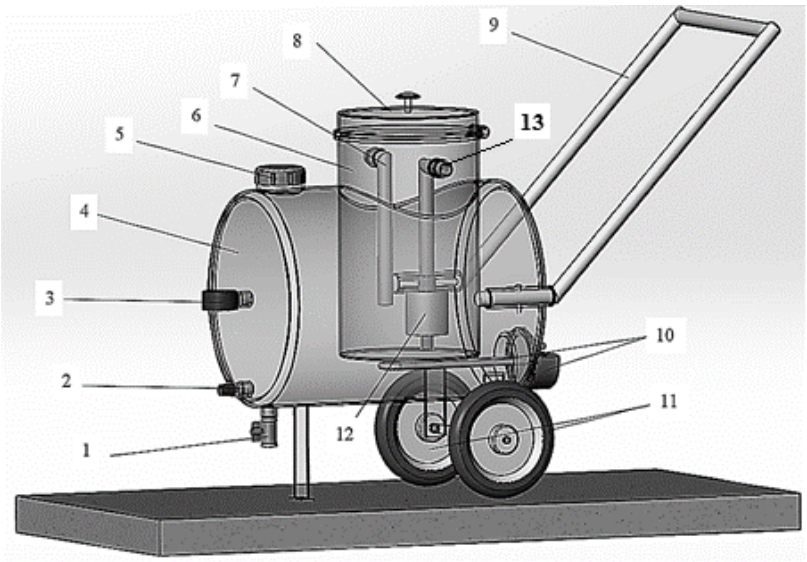
В процессе работы ДВС, если температура ВПК-АЗ достигает верхней границы заданного температурного диапазона нагрева ($T_{ВПК-АЗ} = T_{зад2}$), блок управления 3 выдает команду на выключение электронагревателя 2. При достижении температуры ВПК-АЗ нижней границы заданного температурного диапазона нагрева ($T_{ВПК-АЗ} = T_{зад1}$) блок управления 3 выдает команду на повторное включение электронагревателя 2. Таким образом, температура ВПК-АЗ в баке 10 поддерживается автоматически в пределах $T_{зад1} \leq T_{ВПК-АЗ} \leq T_{зад2}$.

По достижении времени восстановления, контролируемым счетчиком 6, блок управления 3 подает команду на отключение насоса 5, который прекращает всасывание ВПК-АЗ из бака 10. Срабатывает перепускной клапан 8 и выключается счетчик времени 6. Завершен процесс восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания ДВС.

Таким образом, восстановление прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных двигателей обеспечивается без их разборки при работающем ДВС, что повышает технологичность восстановления [5].

Предлагаемое устройство практически применимо, так как он реализуется благодаря применению стандартных и типовых устройств, а также электронных узлов.

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks разработана электронная геометрическая модель устройства для восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных ДВС, которая показана на рисунке 2.



1 – кран сливной; 2 – клапан предохранительный; 3 – термометр; 4 – емкость для нагрева; 5 – крышка заливной горловины; 6 - емкость для топлива; 7 – труба сливная; 8 – крышка; 9 – ручка; 10 – электронагреватель; 11 – колеса; 12 – топливный насос; 13 – подводящий трубопровод

Рисунок 2 – Электронная геометрическая модель устройства для безразборного восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных ДВС

Устройство подключается: в разрыв системы питания ДВС с помощью подводящего 13 и сливного 7 трубопровода, снабженных штуцерами; к электрической сети 220 В, 50 Гц с помощью электропровода и к аккумуляторной батарее 12 В с помощью электропровода.

На основе электронной геометрическая модели устройства создан опытный образец устройства для восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных ДВС (рисунок 3).

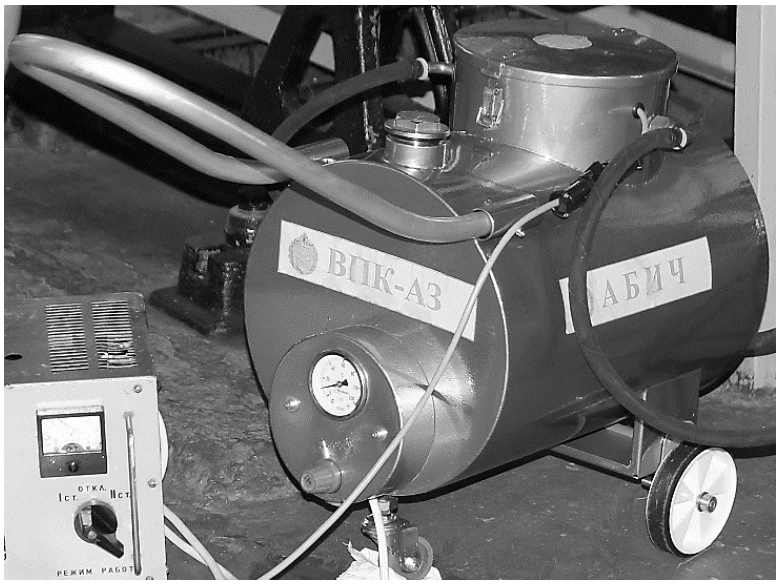


Рисунок 3 – Опытный образец устройства для безразборного восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных ДВС

Результаты и их обсуждение. Макетный образец устройства был испытан на работоспособность на дизельном двигателе внутреннего сгорания ЯМЗ-236, установленном на лабораторном стенде.

Макетный образец подключался к системе питания двигателя, после чего ДВС запускался и работал от топливного бака устройства необходимое время. Проведенные предварительные эксперименты показали, что двигатель работает от макетного образца устойчиво, без перебоев, что подтверждает работоспособность предложенной конструкции [8, 9].

После этого были проведены испытания макетного образца устройства по восстановлению плунжерных пар секций топливного насоса и основных параметров ТНВД, вырабатывавшего свой ресурс, на стенде КИ 22205-01 УХЛ 4.2, показанном на рисунке 4.

Методика стендовых испытаний натурного топливного насоса, обработанного реновационной жидкостью, предусматривала контроль двух основных параметра насоса: давление подачи топлива и плотность прилегания запирающего конуса нагнетательного клапана секций ТНВД через 10 секунд после выключения стенда. Преднамеренная регулировка перед испытанием не производилась. Используемые на стенде для испытаний форсунки соответствовали техническим нормам, указанных в требованиях.

Испытания проводились на насосе двигателя внутреннего сгорания 1Д6. Топливный насос предварительно был продиагностирован. Затем проводилась трехкратная обработка ТНВД в течение 40 минут, каждая. Замер давления подачи и плотность прилегания запирающего конуса нагнетательного клапана каждой секции насоса производились трижды в течении 10 секунд после каждой обработки.

Пусковой режим составлял n= 100 об/мин, номинальное числе оборотов n= 1000 об/мин. Испытания насоса производились в течение 3 часов при непрерывной работе стенда. Применяемым препаратом для восстановления ТНВД являлся состав ВПК-АЗ, разработанный в ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж).

В ходе испытаний выявлено, что проверяемый ТНВД был полностью изношен, так как минимальное давление подачи до обработки у него составляло 25 кгс/см^2, в то время как у исправного насоса оно должно быть не менее 300 кгс/см^2.

В результате трёхкратной обработки препаратом ВПК-АЗ с помощью макетного образца получено существенное (более чем в 2 раза) увеличение давления подачи топлива секциями насоса и полностью восстановлена плотность прилегания запирающего конуса нагнетательных клапанов секций ТНВД.

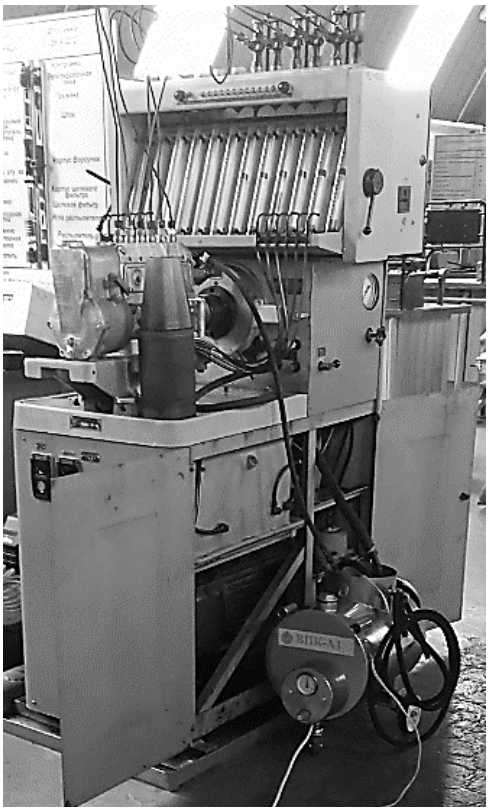


Рисунок 4 – Испытания макетного образца устройства на стенде КИ 22205-01 УХЛ 4.2

Это говорит о том, что на рабочих поверхностях плунжерных пар секций ТНВД получен защитный слой металлокерамического покрытия, компенсирующего зазоры и повышающего герметичность сопряжения плунжер-гильза.

Увеличение давления подачи топлива секциями насоса положительно влияет, в первую очередь, на запуск не прогретого двигателя, при котором происходит наибольший износ ДВС и когда от качества распыливаемого форсунками топлива зависит легкость его воспламенения в цилиндрах ДВС. Макетный образец разработанного устройства обеспечивает восстановление прецизионных пар трения агрегатов системы питания без их снятия с двигателя, замены прецизионных пар и проведения разборно-сборочных работ при работающем ДВС.

Таким образом, разработана конструкция установки, отличающаяся простотой, компактностью, мобильностью и универсальностью, позволяющая восстанавливать прецизионные пары трения агрегатов системы питания дизелей без снятия их с двигателя, замены прецизионных пар и проведения разборно-сборочных работ при работающем ДВС в режиме технического обслуживания в широком температурном диапазоне применения ($\pm 50^0$C).

Заключение. Предлагаемое устройство позволяет:

- в 1,5-2 раза продлить ресурс топливной аппаратуры дизелей;
- в 2-3 раза снизить сроки и затраты на ремонт ДВС, что особенно важно в интересах поддержания парка ВАТ в боевой готовности, продления ресурса ВАТ и снижение стоимости ее жизненного цикла при эксплуатации ВАТ в отдаленных районах, в условиях низких температур, куда поставка оборудования и запчастей затруднительна и высокозатратна;
- обеспечить нормативное значение давления подачи топлива, что способствует улучшению запуска и повышению мощности ДВС;
- обеспечить снижение расхода топлива на 3-5%;
- снизить шумовые и вибрационные характеристики ДВС;
- уменьшить количество вредных выбросов по саже до 30%.

Список литературы

1. Болгов В.Ю., Балабанов В.И. Автомобильные присадки и добавки. М.: Транспорт. – 2009. – 154 с.
2. Халфин М.Л. Качество и надежность новой и отремонтированной сельскохозяйственной техники. М: ГОСНИТИ. – МТС № 5. – 1998. – С.37 – 41.
3. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. Производственно-практ. издание М.: Издательство «За рулем». – 2005. – 154 с.
4. Ладиков В.В., Маркелов Г.А., Чечет В.А., Дунаев А.В., Хмелевой Н.М., Суслов Д.А. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники. М.: VICCO. – 2004. – 52 с.
5. Балабанов В.И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля. Методы и средства. М.: ООО «Издательство АСТ». – 2003. – 61 с.
6. Патент РФ № 2579308, МПК F02M F02B. Устройство для восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных двигателей внутреннего сгорания / Агафонов А.К., Берестевич Г.В., Илларионов В.В., Чернухо И.И. –. № 2019102293; заявл. 28.01.2019; опубл. 10.02.2020. – Бюл. № 10.
7. Агафонов А.К., Колтаков А.А., Ломовских А.Е. Илларионов В.В. Антифрикционный смазочный материал ВПК-АЗ. Приоритетные направления и актуальные проблемы развития средств технического обслуживания летательных аппаратов: сб. ст. по материалам II Всероссийская НТК (15 – 16 марта 2016 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». – 2016. – 304 с. С. 6–9.
8. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Сафонов В.В., Рощин А.В., Хохлов С.С., Куткин А.В., Балабанов В.И. Исследование механизма трансформации и переноса контактных слоев в системе смазочная среда - поверхность трибопары. // Российский журнал физической химии Б. – 2018. – Вып. 12. – № 2. – с. 336 – 342.
9. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н. Определение антиоксидантной присадки и продуктов ее разложения в рабочих моторных топливах. // Химия и технология топлив и масел. – 2019. – Т. 55. – № 2. – с. 145 – 150.

References

1. Bolgov V.Ju., Balabanov V.I. Avtomobil'nye prisadki i dobavki. M.: Transport. – 2009. – 154 s.
2. Halfin M.L. Kachestvo i nadezhnost' novoj i otremontirovannoj sel'skohozjajstvennoj tehniki. M: GOSNITI. – MTS № 5. – 1998. – S.37 – 41.
3. Hrulev A.Je. Remont dvigatelej zarubezhnyh avtomobilej. Proizvodstvenno-prakt. izdanie M.: Izdatel'stvo «Za rulem». – 2005. – 154 s.
4. Ladikov V.V., Markelov G.A., Chechet V.A., Dunaev A.V., Hmelevoj N.M., Suslov D.A. Bezrazbornye tehnologii uvelichenija jekspluatacionnogo resursa avtotransportnoj tehniki. M.: VICCO. – 2004. – 52 s.
5. Balabanov V.I. Bezrazbornoe vosstanovlenie trushhihsja soedinenij avtomobilja. Metody i sredstva. M.: OOO «Izdatel'stvo AST». – 2003. – 61 s.
6. Patent RF № 2579308, MPK F02M F02V. Ustrojstvo dlja vosstanovlenija precizionnyh par trenija agregatov sistemy pitanija dizel'nyh dvigatelej vnutrennego sgoranija / Agafonov A.K., Berestevich G.V., Illarionov V.V., Chernuho I.I. –. № 2019102293; zajavl. 28.01.2019; opubl. 10.02.2020. – Bjul. № 10.
7. Agafonov A.K., Koltakov A.A., Lomovskih A.E. Illarionov V.V. Antifrikcionnyj smazochnyj material VPK-AZ. Prioritetnye napravlenija i aktual'nye problemy razvitija sredstv tehnicheskogo obsluzhivanija letatel'nyh apparatov: sb. st. po materialam II Vserossijskaja NTK (15 – 16 marta 2016 g.). Voronezh: VUNC VVS «VVA». – 2016. – 304 s. S. 6–9.
8. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Safonov V.V., Roshhin A.V., Hohlov S.S., Kutkin A.V., Balabanov V.I. Issledovanie mehanizma transformacii i perenosa kontaktnyh sloev v sisteme smazochnaja sreda - poverhnost' tribopary. // Rossijskij zhurnal fizicheskoj himii B. – 2018. – Vyp. 12. – № 2. – s. 336 – 342.
9. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Orobinskij V.I., Afonichev D.N. Opredelenie antioksidantnoj prisadki i produktov ee razlozhenija v rabochih motornyh toplivah. // Himija i tehnologija topliv i masel. – 2019. – T. 55. – № 2. – s. 145 – 150.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Канищев Александр Сергеевич – кандидат технических наук, начальник факультета Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Агафонов Андрей Константинович – доктор технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: agafonov111@list.ru.

Рябчук Алексей Сергеевич – слушатель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Борисов Сергей Владимирович – начальник учебной лаборатории Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: sergeevich2105219@yandex.ru.

Author credentials
Affiliations

Kanishchev Alexandr – Candidate of Technical Sciences, Head of the faculty of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Agafonov Andrey – Full Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: agafonov111@list.ru.

Ryabchuk Alexey – student of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Borisov Sergey – head of the training laboratory of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2020

УДК 66.0
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-60-69

ПРОНИКАЮЩАЯ СМАЗКА ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

[1]Ломовских Александр Егорович
[2]Сазонов Сергей Николаевич
[1]Щепелев Андрей Юрьевич
[1]Армянинов Иван Сергеевич
[1]Маматказин Тимур Рифатович
[1]Прилепин Олег Евгеньевич
[1]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *В статье рассматривается основная проблема, возникающая при ремонте техники сельскохозяйственного назначения – «прикипание» резьбовых соединений. Проведен краткий анализ существующих типов проникающих смазок, используемых против «прикипания» резьбовых соединений. Предложен состав проникающей смазки. Изучали процесс откручиванию резьбовых соединений болт-гайка диаметром 10 мм и 12 мм после искусственного коррозионного изнашивания путем опускания в ванну с концентрированным раствором из технической соли хлорида натрия. Резьбовые соединения были зафиксированы между собой затягиванием гайки моментом силы равной 4,2 кгс/м. Для ускорения реакции коррозионного изнашивания раствор в ванне периодически барботировался и нагревался до температуры 60 °С. Измеряли разницу между моментом откручивания резьбовых соединений, обработанных и необработанных исследуемыми проникающими жидкостями. Определили, что средний момент силы откручивания необработанных проникающими жидкостями резьбовых соединений диаметром 10 мм составлял – 6,6 кгс/м, а диаметром 12 мм – 11 кгс/м соответственно. Момент откручивания необработанных проникающими смазками резьбовых соединений измерялся для 20 соединений диаметром 10 мм и 20 соединений диаметром 12 мм. Установлено, что проникающие смазки с большим содержанием растворителей пагубно влияют на резиновые и пластиковые детали, пыльники, кольца и др. Определено, что проникающая способность таких смазок обратно пропорциональна процентному содержанию смазывающих веществ. Показано, что разработанный состав может использоваться как средство борьбы против «прикипевших» резьбовых соединений. Достаточно низкая стоимость по сравнению с конкурентами решает вопрос экономической целесообразности его использования. Из-за достаточного содержания летучих веществ и растворителей его не рекомендуется использовать в качестве защитного покрытия для резьбовых соединений после ремонта какого-либо узла или агрегата СиАТ.*

Ключевые слова: *проникающая смазка, коррозионная защита, ремонт автомобильной техники, смазка резьбовых соединений.*

HIGHLY ACTIVE LUBRICANT FOR THREADED CONNECTIONS

[1]Lomovskih Alexandr
[2]Sazonov Sergey
[1]Shepelev Andrey
[1]Armyaninov Ivan
[1]Mamatkazin Timur
[1]Prilepin Oleg
[1]MERC “Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin”
[2]FSBSI “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”

Abstract: *The main problem arising in the repair of agricultural equipment - "sticking" of threaded connections is considered in the article. A brief analysis of the existing types of penetrating lubricants used against "sticking" of threaded connections was carried out. The composition of the penetrating*

lubricant is proposed. The process of unscrewing threaded connections of a bolt-nut with a diameter of 10 mm and 12 mm after artificial corrosion wear by lowering it into a bath with a concentrated solution of technical sodium chloride salt was studied. Threaded connections were fixed to each other by tightening the nut with a torque equal to 4.2 kgf / m. The solution in the bath was periodically bubbled and heated to a temperature of 60 ° C to accelerate the corrosion reaction. The difference between the moment of loosening of threaded connections treated and untreated with the investigated penetrating liquids was measured. It was determined that the average torque of unscrewing threaded connections untreated with penetrating liquids with a diameter of 10 mm was 6.6 kgf / m, and with a diameter of 12 mm - 11 kgf / m, respectively. The loosening torque of untreated threaded connections was measured for 20 connections with a diameter of 10 mm and 20 connections with a diameter of 12 mm. It has been found that penetrating lubricants with a high solvent content have a detrimental effect on rubber and plastic parts, anthers, rings, etc. It has been determined that the penetrating power of such lubricants is inversely proportional to the percentage of lubricants. It is shown that the developed composition can be used as a means of combating "sticky" threaded connections. Quite low cost in comparison with competitors solves the issue of economic feasibility of its use. Due to the sufficient content of volatile substances and solvents, it is not recommended to use it as a protective coating for threaded connections after the repair of any SiAT unit or unit.

Keywords: *penetrating lubricant, corrosion protection, automotive repair, thread lubrication.*

Введение. В настоящее время резьбовые соединения являются одним из самых распространенных и надежных видов разъемных соединений [1]. Резьбовые соединения применяются в любой отрасли промышленности, практически в любом оборудовании. Техника сельскохозяйственного назначения (ТСН) в этой области не является исключением. Так как данная техника эксплуатируется в различных условиях окружающей среды и воздействия широкого диапазона нагрузок могут возникать различные проблемы при попытках разбора агрегатов и деталей ТСН связанных с резьбовыми соединениям [2].

При ремонте и замене комплектующих любого автотранспортного средства частой проблемой является «закипевшие» резьбовые соединения. Основной причиной данной проблемы является коррозия металлов деталей резьбового соединения. Как известно, коррозия металлов происходит из-за их термической неустойчивости под действием окислительных компонентов окружающей среды, среди которых наиболее распространенными являются молекулы кислорода. Во влажной среде окисление происходит с большим образованием оксидов окисляемых металлов кислородом, так как влага является главным катализатором разрушения поверхности основной структуры металла.

Цель работы заключается в разработке нового недорогого и доступного состава для проникновения в резьбовое соединение механизма и узла с целью его беспроблемного разбора особенно в полевых условиях.

Материалы и методы. Следует отметить, что при окислении какой-либо детали поверхностный слой металлов, разрушаясь, покрывается оксидами данных металлов. Для некоторых металлов, например, алюминия данный эффект играет положительную роль при его хранении и использовании. При нормальных условиях алюминий покрыт тонкой и прочной оксидной плёнкой. Эта пленка защищает алюминий от последующего окисления кислородом, а также влияния других пагубных факторов окружающей среды. Здесь сравнение с углеродистыми сплавами железа, из которых изготавливается конструкционная сталь, провести нельзя, так как их окислительные процессы в атмосфере происходят другим образом. В отличии от алюминия конструкционные стали, из которых в основном изготавливают детали крепежа (болты, гайки и др.), окисляются намного медленнее. При этом окисная пленка, покрывающая конструкционные стали является неоднородной, неплотной и химически неустойчивой. Благодаря этой особенности нелегированные конструкционные стали при долговременном нахождении в атмосфере (при действии окружающей среды) могут окисляться (ржаветь) даже насквозь. Для наглядности на рисунке 1 и рисунке 2, соответственно, показаны окисные пленки сплава алюминия и сплава железа-углерод.

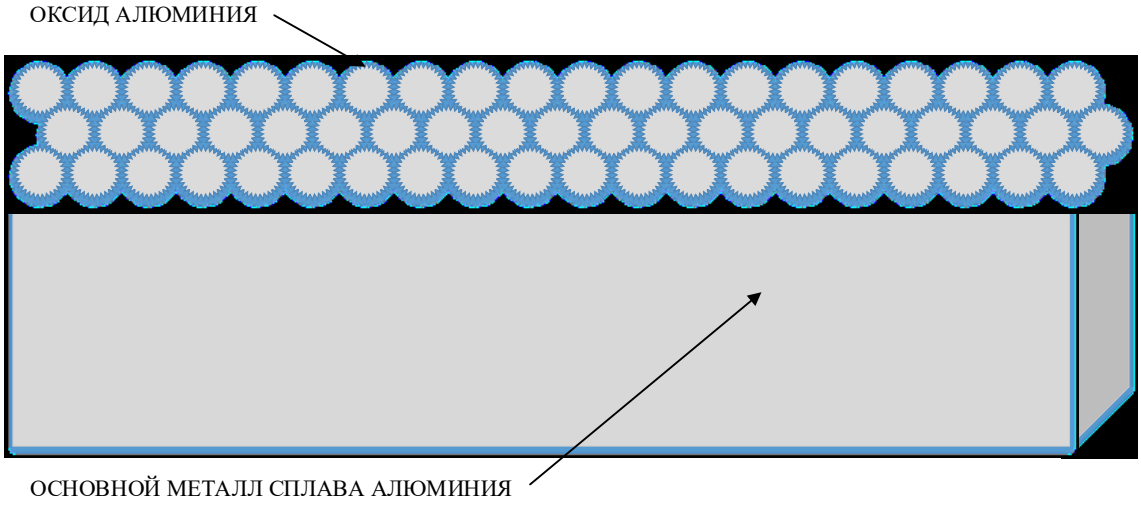


Рисунок 1 – Вид окисной пленки на сплаве алюминия

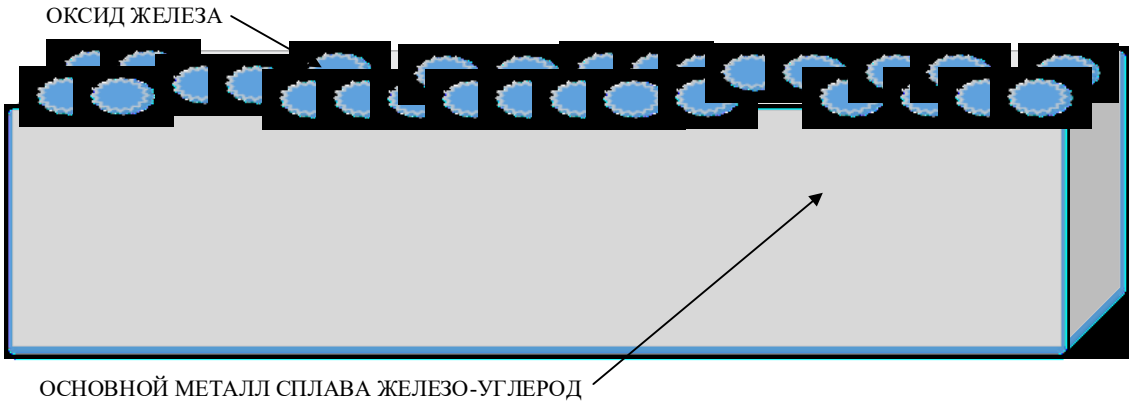


Рисунок 2 – Вид окисной пленки на сплаве железа

Стоит отметить, что в действительности окисная пленка покрывается по всей поверхности сплава. Толщина оксидной пленки алюминия составляет около 1 нм (до температуры 300 °С).

Окисная пленка на нелегированных сплавах железо-углерод образуется на порядок медленнее в отличие от алюминиевых сплавов. Благодаря этому свойству происходит неравномерное окисление деталей, изготовленных из конструкционных сталей нелегированных сплавов железо-углерод [3].

Так как железо является основным компонентом конструкционных сталей, то процесс коррозии данных сталей можно описать следующими реакциями:

$$Fe - 2\bar{e} \rightarrow Fe^{2+} \text{ (анодный процесс – растворение железа)} \quad (1)$$

$$H_2O + ½O_2 + 2\bar{e} \rightarrow 2OH^- \text{ (катодный процесс – восстановление кислорода)} \quad (2)$$

$$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \text{ (образование продуктов коррозии)} \quad (3)$$

При ремонте сельскохозяйственной и автомобильной техники (СиАТ), которая эксплуатировалась в течении большого количества времени, а также в суровых погодных условиях именно из-за окисления (в последующем ржавчины) конструкционных сталей велика вероятность «прикипания» крепежных деталей с резьбовыми соединениями. Известным фактом является то, что в процессе ремонта СиАТ основное время расходуется на разборку и очистку

ремонтируемых агрегатов АТ. При этом следует отметить, как правило, чем дольше эксплуатировалась техника после предыдущего ремонта, тем больше времени затрачивается на разборку агрегатов СиАТ.

Процесс окисления болтов в резьбовых соединениях различных агрегатов СиАТ, например, двигателя внутреннего сгорания (ДВС) или коробки передач (КП) создает сложность при разборе данных агрегатов. Так как окисление нелегированных конструкционных сталей в атмосфере не прекращается с течением времени, то при долговременной эксплуатации СиАТ, а также эксплуатации в суровых погодных условиях рост ржавчины в резьбовом соединение может привести к серьезной проблеме во время разборки агрегатов СиАТ. При этом не редкостью является ситуация, когда при попытке открутить прикипевший болт, из-за образовавшейся большой коррозионной корки, сила взаимодействия между кристаллической решеткой болта оказывается меньше силы, которую необходимо приложить для откручивания данного болта. Вследствие чего происходит разрушение болта в месте сосредоточения нагрузки – чаще всего у шляпки болта. На рисунке 3 показан эффект такого разрушения на примере резьбового болта.

Рисунок 3 – Внешний вид разрушения болта

Ввиду таких разрушений ремонт СиАТ может затянуться на значительно большее время, чем планировалось. А при поломках в пути (на дороге) или при выполнении различных работ такая ситуация может привести к ситуации, когда своими силами исправить положение уже невозможно [4].

Во избежание серьезных поломок в резьбовом соединение агрегатов, узлов и деталей старой сельскохозяйственной техники специалисты в области автомобильного ремонта советуют заранее обрабатывать специальными жидкостями данные резьбовые соединения, в частности, перед плановым ремонтом или техническом обслуживании данной техники. Для таких случаев, чаще всего, используют различные проникающие смазки [5, 6].

Проникающая смазка – это универсальное средство, предназначенное для работы с различными деталями, механизмами и соединениями. Проникающие смазки обладают различными свойствами и имеют достаточно широкую область применения.

Функции проникающих смазок определяют противоречивые требования к их свойствам. С одной стороны, для эффективного проникновения они должны быть не вязкими (густыми). С другой стороны, вязкость должна быть достаточной для образования эффективной смазочной пленки, устойчивой к нагрузкам, защищающей от коррозии и способной удерживаться на поверхностях деталей достаточно длительное время. Также некоторые проникающие смазки обладают такими дополнительными функциями как:

- разрушать ржавчину в резьбовых соединениях и на металлических поверхностях;
- способствовать вытеснению влаги;
- предохранять детали от «схватывания» на морозе;
- увеличивать срок службы металлических, резиновых и пластиковых деталей, путем создания на поверхности стойкого консервирующего покрытия и смазочной пленки;

- создание антикоррозионного покрытия [7].

Для анализа основных свойств ниже приведем сравнительный анализ самых популярных и эффективных составов (проникающих смазок).

WD-40 – технический аэрозоль, разработанный более 50 лет назад. Он до сих пор пользуется популярностью – в основном, благодаря агрессивному маркетингу. Состав его официально держится в секрете, но на самом деле уже давно раскрыт: смесь нефтяных растворителей и парафинового дистиллята. За все время своего существования данная смазка практически не изменилась, только в состав были введены ароматизаторы для приглушения нефтяного запаха, и появились различные варианты упаковки. Основное назначение WD-40 очевидно из ее названия, которое расшифровывается как «Water Displacement», или «Вытеснитель воды».

Нефтяные дистилляты в составе WD-40 способствуют образованию очень тонкой и быстро испаряющейся смазочной пленки. Поэтому защита от коррозии является кратковременной, а смазочные свойства у этого технического аэрозоля практически отсутствуют. После применения WD-40, рекомендуется смазывать механизмы подходящим смазочным материалом. Поэтому после ее применения требуются различные консистентные смазки, которых в полевых условиях может и не быть.

Кроме того, опыт применения WD-40 показал еще один недостаток данной смазки. WD-40 удаляет влагу, но затем способствует очень быстрой ее адсорбции из воздуха, что приводит к ускоренному развитию коррозии на обработанных деталях.

Унисма-1 – универсальная смазка, разработанная отечественными химиками в советское время в качестве конкурента WD-40. По своим свойствам она не уступает WD, а по некоторым из них даже превосходит последний. Однако Унисма-1 унаследовала и большинство рассмотренных выше недостатков WD-40.

Назвать смазочные материалы WD-40 и Унисма-1 полностью многофункциональными нельзя. Их применение сводится, в основном, к облегчению демонтажа заржавевших деталей. Применять их для постоянной смазки узлов и защиты их от коррозии не рекомендуется, так как в этом отношении они приобретают лишь кратковременный эффект.

В настоящее время на рынке представлено множество вариаций на тему WD-40 и Унисмы-1. И это неудивительно, так как технология производства подобных продуктов достаточно проста. Однако уже сегодня доступны смазочные материалы с более высокой проникающей способностью, имеющие принципиально иную формулу.

Molykote Multigliss – универсальный смазочный материал нового поколения с высокой проникающей способностью. Разработчикам Molykote Multigliss удалось совместить в своем составе продукта высокую проникающую способность, антикоррозионные и смазочные свойства. Такой результат достигнут благодаря включению в состав данной дисперсии качественных масел со сложной структурой и специальных твердые смазок.

Еще одним высокоэффективным и универсальным смазочным средством является продукт от компании «Эффективный Элемент» – EFELE UNI-M Spray. Данная проникающая смазка по заявленным характеристикам устойчива к нагрузкам и достаточно продолжительное время защищает от коррозии. Несущая способность и противоизносные свойства EFELE UNI-M Spray усилены за счет введения в его состав твердых антифрикционных наполнителей, а присутствие ингибиторов коррозии обеспечивают средству отличные антикоррозионные свойства.

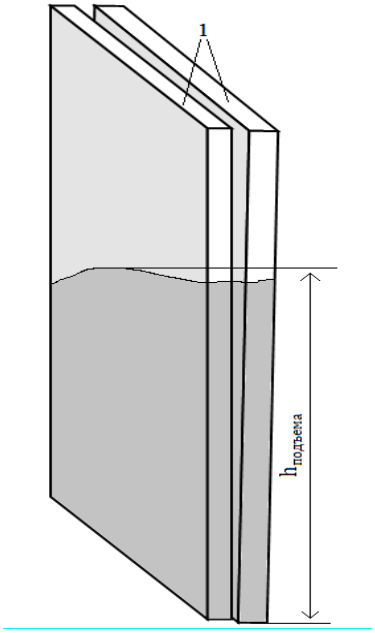
По заявленным характеристикам схожими свойствами также обладают многоцелевая проникающая смазка ABRO AB-8, многофункциональный спрей LM 40, гибридная многоцелевая жидкая смазка Multi-Oil Hybrid, проникающая синтетическая мастер-смазка «Валера», автомобильная смазка RUSEFF RF-40 и смазочный материал CRC 5-56 PRO.

Достижения современной химии за последние 10…15 лет позволили разработчикам смазок включать в их состав специальные присадки, наполнители и модификаторы, тем самым создавать композицию составов, значительно превосходящие в проникающей способности прошлые аналоги. Такой подход позволил управлять различными свойствами смазок, обеспечивая высокую точность соответствия диапазону условий работы.

Результаты и их обсуждение. Для проверки и сравнения основных характеристик вышеописанных проникающих смазок с разработанным авторами новым составом были проведены следующие эксперименты.

Проникающая способность смазок была исследована методом измерения высоты подъема данной смазки на плоском капилляре. Плоский капилляр был изготовлен из двух экземпляров стекол размером 100 х 30 х 3 мм, соединенных друг с другом в верхней и нижней точках. Стекла перед соединением были очищены на установке ультразвуковой очистки и обезжирены техническим спиртом. Далее поочередно опускали соединенные стекла в ванну с каждым из вышерассмотренных проникающих жидкостей высотой 1 мм на 3 минуты, затем замеряли высоту подъема жидкостей в плоском капилляре [8, 9, 10].

Принцип измерения высоты подъема проникающей жидкости в плоском капилляре продемонстрирован на рисунке 4.



1 – стеклянные пластины, $h_{подъема}$ – максимальная высота подъема проникающей жидкости

Рисунок 4 – Принцип измерения высоты подъема проникающей жидкости в плоском капилляре

Результаты эксперимента показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента по измерению высоты подъема проникающих смазок в плоском капилляре

Название проникающих смазок, страна изготовления	Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5-56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigliss, Германия	Унисма-1, Россия
Высота подъема на плоском капилляре, мм	72	11	60	80	21	71	50	66	48	47	38

Далее следовало измерение и расчет процентного содержания сухого остатка проникающих смазок. Эксперимент проводился следующим образом. Каждый из тестируемых образцов

заливался в тигли в количестве 100 мг. Далее данные тигли устанавливались в сушильный шкаф при температуре 180 °С. Время температурного воздействия составляло 2 часа. Измерение разницы массы перед началом и после сушки производили на весах 2 класса точности. Результаты эксперимента по измерению сухого остатка в процентном отношении к исследуемому объему показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения и расчета процентного содержания сухого остатка (активного вещества) проникающих смазок

Название проникающих смазок, страна изготовления	Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5—56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigliss, Германия	Унисма-1, Россия
Сухой остаток, %	48	43	38	60	77	34	54	80	47	88	46

Эксперимент по откручиванию резьбовых соединений проводился на образцах, которые заранее были подготовлены следующим образом. Комплекты не использованных ранее резьбовых соединений болт-гайка диаметром 10 мм и 12 мм перед искусственным коррозионным изнашиванием предварительно были очищены от возможных твердых загрязнений, защитных покрытий и различных консервационных смазок на установке ультразвуковой очистки, далее данные резьбовые соединения были обезжирены барботированием в ванне с применением обезжиривающей жидкости. После процедуры сушки в сушильном шкафу резьбовые соединения были зафиксированы между собой затягиванием гайки моментом силы равной 4,2 кгс/м. Активное коррозионное изнашивание резьбового соединения производилась опусканием данных резьбовых соединений в ванну с концентрированным раствором из технической соли (хлорида натрия). Для ускорения реакции коррозионного изнашивания раствор в ванне периодически барботировался и нагревался до температуры 60 °С. Активизация поверхности методом ультразвуковой очистки и обезжиривания способствовала ускоренной реакции металла испытуемых деталей, в основном изготавливаемых из нелегированных конструкционных сталей, с соляным раствором. После 24 воздействия соляного раствора образцы для тестирования были просушены в шкафу для сушки при температуре 30 °С в течении 1 часа. Основная часть эксперимента заключалось в измерении разницы между моментом откручивания резьбовых соединений, обработанных и необработанных исследуемыми проникающими жидкостями [11].

Средний момент силы откручивания необработанных проникающими жидкостями резьбовых соединений диаметром 10 мм составлял – 6,6 кгс/м, а диаметром 12 мм – 11 кгс/м соответственно. Момент откручивания необработанных проникающими смазками резьбовых соединений измерялся для 20 соединений диаметром 10 мм и 20 соединений диаметром 12 мм.

Результаты измерения момента силы откручивания резьбовых соединений болт-гайка, опушенных в ванны с исследуемыми проникающими смазками, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты измерения момента силы откручивания резьбовых соединений

Название проникающих смазок, страна изготовления			Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5-56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigliss, Германия	Унисма-1, Россия
Момент силы, кгс/м	Диаметр соединения, мм	10	3,7	4,9	4,5	4,5	4,4	4,4	5	5	5,2	4,3	4,3
		12	7,8	9	8,7	8,9	8,5	8,4	8,9	9,1	9,3	8,5	8,4

Следующим показателем эффективности проникающих смазок является антикоррозионная стойкость. Антикоррозионная стойкость является временной характеристикой, показывающей время защиты от различных коррозионно активных веществ. Данный показатель определялся в результате следующего эксперимента. На предварительно зашлифованную и обезжиренную поверхность листа металла, выполненной из идентичной резьбовым соединениям нелегированной конструкционной стали, нанесли 0,5 мг каждого из проникающих жидкостей. После распределения проникающей жидкости по поверхности металлического листа на данные проникающие жидкости нанесли концентрированный раствор хлорида натрия и фиксировали время образования первых участков поверхности с очагами коррозии [12]. Результаты эксперимента предоставлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования антикоррозионной стойкости проникающих смазок

Название проникающих смазок, страна изготовления	Разработанный состав, Россия	WD-40, США	ABRO AB-8, США	LM-40, Германия	Multi-Oil Hybrid 72221, Германия	«Валера», Россия	RF-40, Россия	CRC 5—56 PRO, Бельгия	EFELE UNI-M Spray, Россия	Molykote Multigliss, Германия	Унисма-1, Россия
Антикоррозионная стойкость, ч	2	2,5	2,3	2,9	3,4	2,3	2,6	3	2,7	3,5	2,4

Заключение. Таким образом, следует иметь ввиду, что проникающие смазки с большим содержанием растворителей пагубно влияют на резиновые и пластмассовые детали, пыльники, кольца и другие детали, с которыми вступают в активную химическую реакцию. Следовательно, необходимо либо создать барьер, который не позволит попасть проникающим смазкам в данные участки с пластиковыми и резиновыми запчастями, либо иметь в наличии запас данных запчастей. Также существует обратный эффект, когда проникающую смазку с большим содержанием активного смазывающего вещества нецелесообразно использовать для разбора деталей с «прикипевшими» резьбовыми соединениями, так как в результате экспериментов было доказано, что проникающая способность данных составов обратно пропорциональна процентному содержанию смазывающих веществ.

На разработанный авторами состав проникающей смазки подана заявка на изобретение, поэтому компоненты данного состава в статье не раскрываются. По проведенным экспериментам разработанный состав может использоваться как средство борьбы против «прикипевших» резьбовых соединений. Достаточно низкая стоимость по сравнению с конкурентами решает вопрос экономической целесообразности использования нашей проникающей смазки. При этом стоит отметить, что достаточное содержание летучих веществ и растворителей способствуют тому, что данную проникающую смазку не рекомендуется использовать в качестве защитного покрытия для резьбовых соединений после ремонта какого-либо узла или агрегата СиАТ.

После ремонта агрегата СиАТ нанесение смазочной пленки или другого вещества, защищающей от коррозии и коррозионно-механического изнашивания позволит резьбовым соединениям не потерять свои основные крепежные свойства и упростить следующий технический осмотр и различные виды ремонта.

Список литературы

1. Беляков Н.В. Основы технологии машиностроения. Лабораторный практикум: Учебное пособие. Гриф МО РФ. – М.: ИНФРА-М. – 2016. – 529 с.

2. Романов В.А., Сафронов В.П., Полежаев В.П. Механическое оборудование карьеров: Учеб. пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2007. – 450 с.

3. Авдеенко А.П., Поляков А.Е. Коррозия и защита металлов: Краткий курс лекций. – Краматорск: ДГМА. – 2003. – 104 с.

4. Савосин С.А. Советы автомеханика: техобслуживание, диагностика, ремонт. – СПб.: BHV. – 2011. – 192 с.

5. Курчаткин В.В., Тараторкин В.М., Батищев А.Н. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: Учебник для начального профессионального образования. – М.: ИЦ Академия. – 2012. – 464 с.

6. Виноградов В.М., Черепахин А.А., Бухтеева И.В.. Техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей. Механизмы и приспособления: Учебное пособие. – М.: Форум. – 2019. – 312 с.

7. Кузнецов А.В. Топливо и смазочные материалы: учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. 311300 «Механизация сельского хоз-ва». – М.: Колос С. – 2004. – 199 с.

8. Глинка Н.Л. Общая химия: Учебник для академического бакалавриата. – Люберцы: Юрайт. – 2016. – 729 с.

9. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ. – 2007. – 243 с.

10. Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. / Под ред. академика РАН В.В. Клюева. – М.: Машиностроение. – 2006. – 656 с.

11. Горицкий В.М. Диагностика металлов. – М.: Металлургиздат. – 2004. – 402 с.

12. Хрущева И.В., Щербаков В.И., Леванова Д.С. Общая и неорганическая химия: Учебник. – СПб.: Лань П. – 2016. – 496 с.

References

1. Beljakov N.V. Osnovy tehnologii mashinostroenija. Laboratornyj praktikum: Uchebnoe posobie. Grif MO RF. – M.: INFRA-M. – 2016. – 529 c.

2. Romanov V.A., Safronov V.P., Polezhaev V.P. Mehanicheskoe oborudovanie kar'erov: Ucheb. posobie. – Tula: Izd-vo TulGU. – 2007. – 450 s.

3. Avdeenko A.P., Poljakov A.E. Korrozija i zashhita metallov: Kratkij kurs lekcij. – Kramatorsk: DGMA. – 2003. – 104 s.

4. Savosin S.A. Sovety avtomehanika: tehobsluzhivanie, diagnostika, remont. – SPb.: BHV. – 2011. – 192 c.

5. Kurchatkin V.V., Taratorkin V.M., Batishhev A.N. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom hozjajstve: Uchebnik dlja nachal'nogo professional'nogo obrazovanija. – M.: IC Akademija. – 2012. – 464 c.

6. Vinogradov V.M., Cherepahin A.A., Buhteeva I.V.. Tehnicheskoe obsluzhivanie i tekushhij remont avtomobilej. Mehanizmy i prisposoblenija: Uchebnoe posobie. – M.: Forum. – 2019. – 312 c.

7. Kuznecov A.V. Toplivo i smazochnye materialy: ucheb. dlja stud. vuzov, obuchajushhihsja po spec. 311300 «Mehanizacija sel'skogo hoz-va». – M.: Kolos S. – 2004. – 199 s.

8. Glinka N.L. Obshhaja himija: Uchebnik dlja akademicheskogo bakalavriata. – Ljubercy: Jurajt. – 2016. – 729 c.

9. Kanevskij I.N., Sal'nikova E.N. Nerazrushajushhie metody kontrolja: uchebnoe posobie. – Vladivostok: Izd-vo DVGTU. – 2007. – 243 s.

10. Nerazrushajushhij kontrol': spravochnik. V 8 t. / Pod red. akademika RAN V.V. Kljueva. – M.: Mashinostroenie. – 2006. – 656 s.

11. Gorickij V.M. Diagnostika metallov. – M.: Metallurgizdat. – 2004. – 402 s.

12. Hrushheva I.V., Shherbakov V.I., Levanova D.S. Obshhaja i neorganicheskaja himija: Uchebnik. –SPb.: Lan' P. – 2016. – 496 c.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Сазонов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственнго бюджетного научного учреждения «Всероссийский

научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snsazon@mail.ru.

Щепелев Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Армянинов Иван Сергеевич – оператор научной роты Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: ivan.armyaninov1995@gmail.com.

Маматказин Тимур Рифатович – оператор научной роты Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: mtrt@mail.ru.

Прилепин Олег Евгеньевич – оператор научной роты Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Author credentials

Affiliations

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

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

Shepelev Andrey – Candidate of Technical Sciences, deputy head of faculty of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Armyaninov Ivan – scientific company operator of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: ivan.armyaninov1995@gmail.com.

Mamatkazin Timur – scientific company operator of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: mtrt@mail.ru.

Prilepin Oleg – scientific company operator of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2020

УДК 621.43-545.2:303.447.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-70-80

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЛИЯНИЮ СОСТАВА И КАЧЕСТВА ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

[1]Канищев Александр Сергеевич
[2]Сазонов Сергей Николаевич
[1]Томилов Александр Анатольевич
[1]Ломовских Александр Егорович
[1]Борисов Сергей Владимирович
[1]Рябчук Алексей Сергеевич

[1]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат: *В статье описывается методика проведения экспериментальных исследований по влиянию состава и качества водно-дизельной смеси на эксплуатационные показатели дизельного двигателя внутреннего сгорания марки ЯМЗ-236. Исследуются и моделируются процессы влияния состава и качества водно-дизельной смеси без применения эмульгатора на эксплуатационные показатели дизельного двигателя ЯМЗ-236, а также процесс получения «грубых» и «тонких» дизельных смесей на аппаратах статического и динамического принципа действия. Проводятся экспериментальные исследования по определению диаметра капель водной фазы в водно-дизельной смеси. Разрабатываются способ и устройства (роторно-пульсационный аппарат для приготовления «тонкой» смеси и струйно-кавитационный эжектор) для приготовления «грубой» водно-дизельной смеси, которые входят в основу модернизированной системы питания двигателя ЯМЗ-236. Проводятся стендовые испытания двигателя ЯМЗ-236 с применением разработанных устройств по определению эксплуатационных показателей данного двигателя.*

Проведенные в рамках данной работы эксперименты показали, что при введении водной фазы до 17 – 20 % по отношению к объёму топлива и при диаметрах капель воды в данной водно-дизельной смеси до 2 мкм, происходит снижение удельного расхода топлива на 10 – 28 %, содержания сажи в ОГ ДВС по значению К на 20 – 22%, по значению N на 30 – 35%.

Ключевые слова: *дизельные двигатели внутреннего сгорания, система питания, водно-дизельная смесь, эксплуатационные показатели двигателя, автотракторная техника, состава и дисперсность дизельной смеси, содержание сажи.*

EXPERIMENTAL RESEARCH PROCEDURE BY THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION AND QUALITY OF THE WATER-DIESEL MIXTURE ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE

[1]Kanishchev Alexandr
[2]Sazonov Sergey
[1]Tomilov Alexander
[1]Lomovskih Alexandr
[1]Borisov Sergey
[1]Ryabchuk Alexey

[1]MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"
[2]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract: *The method of conducting experimental studies on the influence of the composition and quality of a water-diesel mixture on the performance indicators of a diesel internal combustion engine of the YaMZ-236 brand is described in the article. The processes of the influence of the composition and quality of a water-diesel mixture without the use of an emulsifier on the performance of the YAMZ-236 diesel engine, as well as the process of obtaining "rough" and "thin" diesel mixtures on static and dynamic devices are studied and modeled. Experimental studies are conducted to determine the diameter of water phase droplets*

in a water-diesel mixture. A method and devices are being developed (a rotary-pulsating apparatus for preparing a "thin" mixture and a jet-cavitation ejector) for preparing a "rough" water-diesel mixture, which are the basis of the upgraded power supply system for the YAMZ-236 engine. Bench tests of the YAMZ-236 engine are carried out using developed devices for determining the performance indicators of this engine. Experiments carried out in the framework of this work have shown that when the water phase is introduced up to 17 – 20 % relative to the fuel volume and with the diameter of water droplets in this water-diesel mixture up to 2 microns, the specific fuel consumption decreases by 10 – 28 %, the soot content in the exhaust gas of the internal combustion engine by the K value by 20 – 22 %, and by the N value by 30 – 35 %.

Keywords: *diesel internal combustion engines, power system, water-diesel mixture, engine performance indicators, automotive equipment, composition and dispersion of diesel mixture, soot content.*

Введение. В настоящее время постоянная модернизация используемых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является существенной частью научных и технико-технологических работ, направленных на повышение эффективности использования энергетических ресурсов страны. Совершенствование ДВС – это увеличение их технико-экономических показателей, улучшение их экологических показателей прежде всего за счет уменьшения токсичности отработавших газов (ОГ).

В агропромышленном комплексе безусловное лидерство принадлежит дизельным ДВС. В силу компактности, экономичности и малой удельной массе (кг/кВт) именно они преобладают среди силовых установок тракторов, грузовых автомобилей и различных сельскохозяйственных комбайнов

В интересах улучшения эксплуатационных характеристик автотракторной техники (АТТ) целесообразно модернизировать систему питания дизельных ДВС с целью возможности использования альтернативного топлива – различных дизельных смесей (ДС). Приоритетным направлением в этой области являются ДС с добавлением компонента на основе воды и без использования дорогостоящего эмульгатора. Топливные смеси с применением эмульгаторов уже долгое время используются по всему миру. Однако до настоящего времени должным образом не исследованы методы использования указанного компонента без привлечения дорогих эмульгаторов. Остается открытым вопрос о том, какое влияние оказывают подобного рода смеси, в зависимости от своего состава и дисперсности, на топливно-экономические и экологические показатели ДВС [1].

Цель работы – заключается в разработке методики проведения экспериментальных исследований по влиянию состава и качества водно-дизельной смеси (приготавливаемой без эмульгатора) на эксплуатационные показатели ДВС.

Материалы и методы. Для проведения экспериментальных исследований по влиянию состава и качества водно-дизельной смеси на эксплуатационные показатели двигателя внутреннего сгорания (ДВС), необходимо разработать методику по их проведению.

Разработанная методика проведения экспериментальных исследований представляет собой совокупность последовательных этапов заключающихся:

- в определении рациональной конструкции аппарата динамического принципа действия для приготовления водно-дизельной смеси (ВДС) и режима его работы, который позволит получать ВДС необходимого состава и дисперсности, обеспечивающую работу ДВС в соответствии с техническим паспортом завода-изготовителя;

- в разработке способа приготовления ВДС и устройств для его реализации, позволяющих получать на борту автотракторной техники (АТТ) высокодисперсную ВДС необходимого состава, дисперсности и подавать её в штатную систему питания дизельного ДВС без существенного изменения ее конструкции;

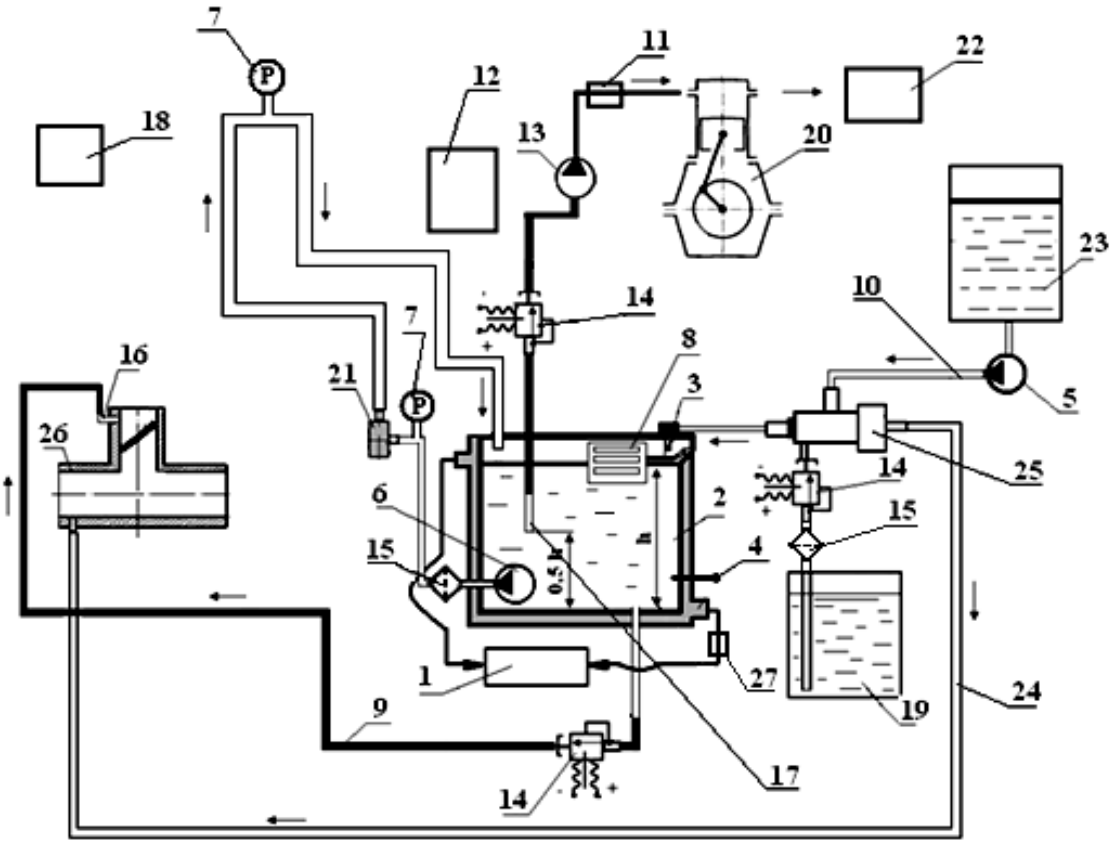
- в определении эксплуатационных показателей дизельного ДВС в зависимости от состава и дисперсности ВДС с водным компонентом без применения эмульгатора при проведении минимального числа опытов с максимально возможным сочетанием исследуемых характеристик на основе полного факторного эксперимента.

Экспериментальные исследования на первом этапе заключаются в выборе рациональной конструкции аппаратов, которые позволят получать ВДС необходимого состава и дисперсности, пригодную для использования в ДВС, а также режимов их работы. На основе предварительно

проведенных экспериментальных исследований был разработан и сконструирован динамический роторно-пульсационный аппарат (РПА). Затем разрабатывается система приготовления и подачи ВДС в ДВС на основе ранее проведенных экспериментальных исследований, которая позволяет получать высокодисперсную ВДС необходимого состава и дисперсности. При этом ее использование в традиционной системе питания ДВС происходит без существенного изменения ее конструкции.

Далее определяется зависимость эксплуатационных показателей дизельного ДВС ЯМЗ-236 от состава и дисперсности ВДС с водным компонентом без применения эмульгатора. Сущность данных экспериментальных исследований заключаются в проведении минимального числа экспериментов с максимально возможным сочетанием значений исследуемых факторов.

Экспериментальные исследования проводились на разработанной экспериментальной установке №1, которая была сконструирована и изготовлена в научно-исследовательской лаборатории ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Внешний вид данной установки представлен на рисунке 1.



1 – система охлаждения ДВС; 2 – смесительная ёмкость для ВДС; 3 – запорная игла;
4 – термометр; 5 – насос; 6 – электрический насос; 7 – манометр; 8 – поплавок; 9 – трубка сброса;
10 – соединительные трубопроводы; 11 – расходомер; 12 – микроскоп;
13 – штатный топливный насос ДВС; 14 – электромагнитные клапаны;
15 – фильтрующий элемент; 16 – жиклер; 17 – трубка забора ВДС с глубины 0,85h;
18 – секундомер;19 – ёмкость с водой; 20 – ДВС; 21 – РПА; 22 – газоанализатор;
23 – ёмкость для топлива; 24 – вакуумная трубка; 25 – дозатор-смеситель;
26 – впускной коллектор ДВС; 27 – кран подачи жидкости

Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки № 1

В процессе приготовления ВДС на экспериментальной установке № 1 смешиваемые компоненты (дизельное топливо и вода) дозируются в нужной пропорции дозатором смесителем 25 и полученная грубая ВДС сливается в смесительную емкость 2. Температура ВДС задается в ранее обоснованных пределах 50 – 60 °С на основании работы [2, 3] путем нагрева воды в ёмкости 19 и ВДС в емкости 2 с последующим её поддержанием в указанных пределах. Изменение входного давления в РПА осуществляется переключением насосов, развивающих в исследуемом диапазоне рабочее давление. Процесс смешивания организовывается по цикличному, замкнутому принципу с целью получения однородной и стабильной ВДС, заданной дисперсности при установленной дозировки воды в дизельном топливе.

Экспериментальные исследования на установке № 1 при определении эксплуатационных (расхода топлива, содержание сажи) показателей ДВС проходили по положениям, изложенным в ГОСТ 14846-81, ГОСТ Р 52408-2005, ГОСТ Р 52033-2003 [4 – 6]. Испытания проходили при температуре воздуха -10 – +25, его относительной влажности $36\ \% \le \varphi \le 50\ \%$; атмосферном давлении $750 \le P_a \le 760$ мм. рт. ст. При этом само топливо на входе имело температуру (Т) от 20 °С до 25 °С. Температурные параметры смазочно-охлаждающих компонентов находились в интервалах, оговоренных техническими условиям ДВС.

Во время экспериментов двигатели АТТ были технически исправными, укомплектованными, заправлены горючими и смазочными материалами в соответствии с нормативно-технической документацией.

Контроль технологических режимов приготовления ВДС и режимов работы экспериментальной установки № 1 осуществлялся с помощью обоснованно выбранных средств измерений (таблица 1) на основании требований, изложенных в ГОСТ 14846-81, ГОСТ Р 52408-2005, ГОСТ Р 52033-2003, ГОСТ 20306-1990, ГОСТ 22576-1990 ГОСТ Р 51249-99 [7 – 12].

Таблица 1 – Перечень применяемых при исследовании средств измерений

№ п/п	Наименование прибора	Фиксируемый параметр	Единица измерения	Диапазон измерения	Погрешность измерения, %
1	Термометр стеклянный (ГОСТ 2405-80)	температура	°С	0 ÷ 200	± 1
2	Преобразователь электрический (ГОСТ 5072-79)	напряжение	В	0 ÷ 300	± 1
3	Тахометр контактный типа МЕГЕОН-18002 (ГОСТ 18303-72)	частота вращения	об/мин	0 ÷ 10000	± 5
4	Вольтметр универсальный В7-47 (ГОСТ 17.2.205-86)	напряжение	В	0 ÷ 250	± 1
5	Механический манометр «Джилекс» (ГОСТ 2405-80)	давление	МПа	0 ÷ 0,1	± 1
6	Секундомер ПВ-53А (ГОСТ 5072-79)	время	сек.	0÷□	± 1
7	Расходомер VZO 4-RE (ГОСТ 11988-81)	расход топлива	л/ч	5÷100	± 1,5
8	Газоанализатор АВТОТЕСТ-01.04М (ГОСТ 17.2.205-86)	частота вращения	об/мин	0÷8000	± 2,5
		СО	%	0÷7	± 0,2
		дымность	%	0÷100	± 2

В ходе испытаний на установке №1 выявлялось влияние состава и дисперсности ВДС на эксплуатационные показателей ДВС в зависимости от варьирования указанных ниже входных (управляемых) факторов, определяющих рецептуру и технологические режимы приготовления ВДС: содержание водной фазы в топливной среде $C_в$, %; диаметр капель водной фазы в ВДС $d_к$, мкм; угол опережения впрыска топлива $\theta_{в.т.}$, 1^0. На установке №1 фиксировались указанные параметры: удельный расход топлива ДВС $g_е$, г/кВт ч; N – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления, %; K – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения, $м^{-1}$.

Установка №1 может работать в двух режимах: приготовление ВДС, подача обычного дизельного топлива. В ходе эксперимента приготавливается последовательно в установленной

пропорции (воды от 5 до 50 % в дизельном топливе) с интервалом испытания 5 %, которая подается автоматически с помощью насоса 5 в дозатор 25 из ёмкости под воду 19 и из ёмкости под топливо 23. Затем включается электрический насос 6, который подает этот состав в РПА 21. При этом приготовленная смесь проходит через РПА, после чего в ёмкость 2 поступает уже готовая ВДС.

Частота вращения ротора задается с учетом получения рациональной дисперсности ВДС. Давление на входе и выходе в РПА контролируется механическим манометром 7. Температура в ёмкости 2 регулируется в диапазоне 50 – 60 °С за счет изменения подачи краном 27 жидкости из системы питания ДВС. Полученная ВДС подавалась штатным топливным насосом 13 через трубку забора ВДС 17 в систему питания ДВС. Отработавшие газы ДВС 20 проходят через газоанализатор 22, по которому определяется содержание сажи.

Испытания на экспериментальной установке №1 на первом этапе последовательно включали: цикл режима работы двигателя при частоте вращения холостого хода; цикл режима работы двигателя при максимальном крутящем моменте.

Оценка эффективности применения ВДС в ДВС осуществлялась по следующим параметрам: величине часового расхода топлива; изменению содержания сажи в отработавших газов при эксплуатации двигателя на ВДС и без неё. Время работы двигателя контролировалось секундомером ПВ-53А, тепловой режим ДВС и ВДС – стандартными термометрами. Проведенные измерения по определению содержания сажи осуществлялись согласно требованиям ГОСТ 17.2.2.06-99. Проведение эксплуатационных испытаний осуществлялось согласно требованиям. Подготовка и условия проведения испытаний АТТ по определению расхода топлива при эксплуатационных испытаниях производилось согласно [13].

Расчет предельной относительной погрешности часового расхода топлива при обработке экспериментальных исследований выполнялся с использованием следующих формул:

$$G_{т} = \frac{3{,}6 \times m_{т}}{t} \text{ (кг/ч)} \quad , \tag{1}$$

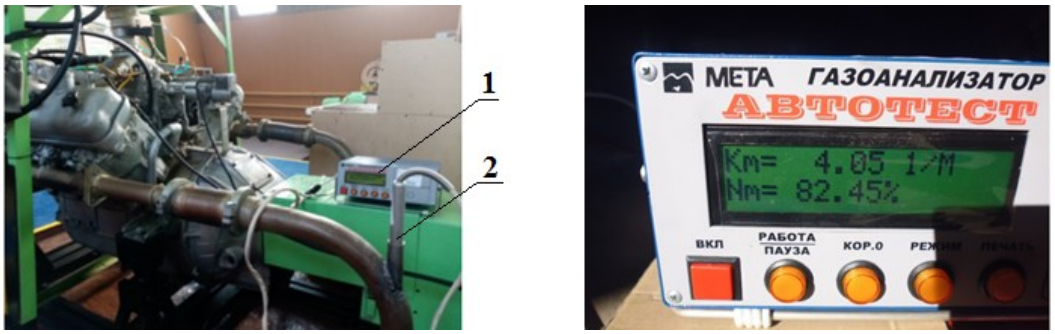
$$\delta(G_{т}) = \sqrt{\delta(m_{т})^2 + \delta(t)^2} = \sqrt{0{,}67^2 + 0{,}17^2} = 0{,}69\% \, . \tag{2}$$

где $m_{т}$ – масса израсходованного топлива, кг; t – время работы ДВС, с.

Следовательно, погрешность полученных экспериментальных данных не выходила за рамки параметров, обоснованных в работах [14], а совокупная погрешность по всем производимым измерениям не превышает ± 5 – 10 %.

Результаты и их обсуждение. Целью проведенных исследований является сравнительный анализ эксплуатационных показателей базового дизельного ДВС ЯМЗ-236 и его усовершенствованного образца с модернизированной системой питания на основе ВДС с добавлением воды. В качестве эксплуатационного показателя ДВС (в соответствии с требованиями ГОСТ 14846-81) устанавливается удельный расход топлива, который является показателем топливной экономичности ДВС. В качестве экологических показателей ДВС (согласно требованиям ГОСТ 51249-99, ГОСТ Р 52033-2003, ГОСТ 52408-2005) устанавливаются предельно допустимые значения содержания сажи в ОГ ДВС.

Замеры производились с использованием двухкомпонентного газоанализатора «АВТОТЕСТ», представленного на рисунке 2, с помощью на которого определялась дымность отработавших газов на режиме свободных ускорений и максимальных оборотов.



1 – газоанализатор «АВТОТЕСТ»; 2 – зонд газоанализатора в выпускном коллекторе

Рисунок 2 – Результаты замера дымности двигателя ДВС

При проведении стендовых испытаний на ДВС ЯМЗ-236 [15] все указанные показатели фиксировались при работе двигателя под нагрузкой при различных частотах вращения коленчатого вала. В процессе испытаний двигатель ЯМЗ-236 находился в исправном состоянии и в комплектности соответствующей инструкции по эксплуатации завода-изготовителя. Испытания двигателя при использовании модернизированной системы питания производились в диапазоне частот вращения от минимально устойчивой частоты вращения холостого хода до равной 60 % от $n_{ном}$.

Для оценки влияния ВДС в соответствии с планом ПФЭ, изложенным в работах [16, 17], проведены соответствующие исследования. Всего было проведено двадцать экспериментов, каждый в трехкратной повторности. Смысл этих экспериментальных исследований состоял в установлении влияния трех факторов (содержания водной фазы в топливе $C_в$ (%), диаметра капель водной фазы в ВДС $d_к$ (мкм), угла опережения впрыска топлива $\theta_{в.т.}$ 1^0 на удельный расход топлива и содержания сажи в ОГ ДВС.

В итоге удалось установить зависимость удельного расхода топлива (g_e, г/кВт ч), диапазона измерения дымности в единицах коэффициента поглощения K (, м$^{-1}$), диапазона измерения дымности в единицах коэффициента ослабления *(N*, %), от рассматриваемых факторов: x_1 – содержания водной фазы в топливе ($C_в$), x_2 – диаметра капель водной фазы в ВДС ($d_к$), x_3 – угла опережения впрыска топлива в ДВС ($\theta_{о.з.}$).

После аналитической обработки полученных данных построены следующие регрессионные зависимости второго порядка, где факторы представлены в кодированном виде:

$$Yg_e = 6{,}99 - 0{,}15\,x_1 + 0{,}8\,x_2 + 0{,}39\,x_3 - 0{,}02\,x_1x_2 - 0{,}08\,x_1x_3 + 0{,}02\,x_2x_3 + 0{,}07\,x_1^2 + 0{,}03\,x_2^2 + 0{,}02\,x_3^2; \quad (3)$$

$$Y_K = 3{,}4 - 0{,}23\,x_1 + 0{,}12\,x_2 - 0{,}11\,x_3 - 0{,}06\,x_1x_2 - 0{,}44\,x_1x_3 - 0{,}03\,x_2x_3 - 0{,}01\,x_1^2 + 0{,}04\,x_2^2 + 0{,}01\,x_3^2; \quad (4)$$

$$Y_N = 69{,}02 - 8{,}16\,x_1 + 2{,}21\,x_2 - 2{,}1\,x_3 - 0{,}35\,x_1x_2 - 0{,}98\,x_1x_3 + 1{,}46\,x_2x_3 - 0{,}89\,x_1^2 + 1{,}05\,x_2^2 + 0{,}93\,x_3^2. \quad (5)$$

При анализе уравнений (3…5) следует учитывать, что знак «+», «–» и значение коэффициента, предопределяет соответственно увеличение или уменьшение значения фактора (Yg_e, Y_K , Y_N).

Отрицательные значения коэффициентов уравнений (3 – 5) при факторе x_1 позволяют утверждать, что рост процентного содержания водного компонента в дизельном топливе ведет и к снижению удельного расхода топлива, и к снижению содержания сажи в ОГ ДВС

При факторе x_3 в уравнениях (3, 4) – что с увеличением угла опережения впрыска топлива в ДВС в изучаемом диапазоне происходит снижение количества сажи в ОГ ДВС.

Положительные значения коэффициентов уравнений регрессии (3 – 5) при факторе x_2 свидетельствуют о том, что с увеличением диаметра капли воды в ВДС увеличивается удельный расход топлива, содержание сажи в ОГ ДВС. При факторе x_3 в уравнение (3) – что с увеличением угла опережения впрыска топлива в ДВС в изучаемом диапазоне происходит увеличение удельного расхода дизельного топлива двигателем.

Существенное влияние на значения g_e оказывает фактор x_2, то есть дисперсность ВДС или размеры капель воды. Существенное влияние на значения N и K оказывает фактор x_1, то есть количество водной фазы, содержащейся в ВДС.

Значимость коэффициентов в полученных уравнениях оценена по критерию Стьюдента, а адекватность зависимости в целом – по критерию Фишера. Анализ результатов проверки свидетельствует, что полученные зависимости адекватно отражают влияние на эксплуатационно-экологические показатели ДВС состава и дисперстности ДВС.

Для оценки адекватности теоретических моделей с данными, полученными в результате проведенных испытаний, проведен расчет по полученным формулам с использованием зафиксированных экспериментальных данных x_1, x_2, x_3 в условном масштабе для каждого испытания.

Сравнительный анализ результатов позволил установить, что расхождение теоретических и экспериментальных данных по удельному расходу топлива – g_e и содержанию сажи в ОГ ДВС не превышает 10 %.

На рисунке 3 представлены совместно графики, отражающие зависимость удельного расхода топлива и содержание сажи от процентного содержания водной фазы в топливе – $C_в$, от размера (диаметр) капель водной фазы – $d_к$, угла опережения впрыска топлива – $\theta_{в.т}$.

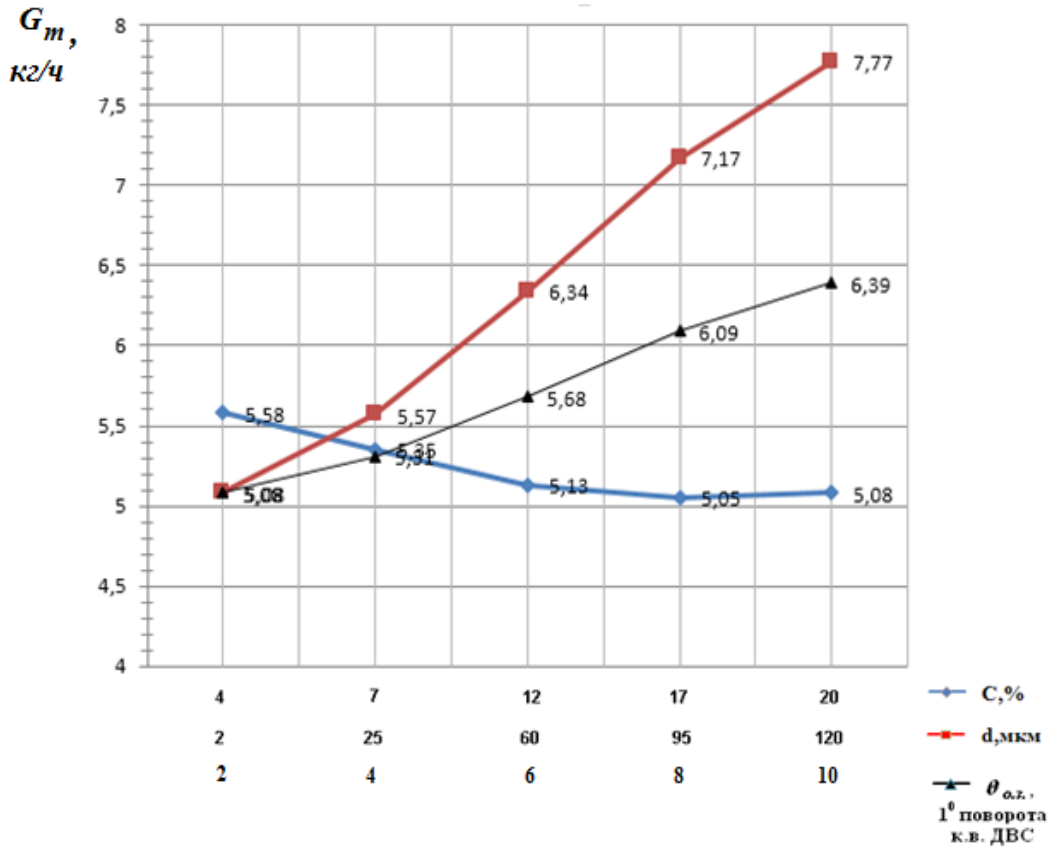


Рисунок 3 – Зависимости часового расхода топлива (G_m) от содержания водной фазы в дизельном топливе ($C_в$), диаметра капель водной фазы ($d_к$), угла опережения впрыска топлива ($\theta_{в.т.}$, 1^0)

Анализ полученных графических интерпретаций позволяет утверждать следующее. Значение часового расхода топлива:

- снижается до 5,05 кг/ч, если удельный вес водной фазы достигает 17 %, в диапазоне удельного веса водной фазы от 17 % до 20 % существенного изменения часовой расход топлива не зафиксировано;
- повышается до 7,77 кг/ч, если растет размер (диаметр) капель водной фазы в ВДС от 2 до 120 мкм;
- возрастает до 6,39 кг/ч при увеличении угла опережения впрыска топлива до 10 градусов поворота коленчатого вала ДВС.

Следовательно, результаты экспериментальных исследований подтвердили целесообразность применения ВДС для ДВС АТТ, что, в свою очередь, подтверждается следующими факторами.

Полученные в данном разделе результаты обусловлены преимуществом от применения ВДС предопределяемом следующими факторами:

1. Положительным влиянием на полноту сгорания рабочей смеси паров воды, образующихся из ВДС в камере сгорания двигателя при такте «сжатие». Образующийся пар повышает равномерность распределения рабочей смеси в камере сгорания. Приготавливаемая ВДС, состоит из капель воды, покрытых топливом, при высокой температуре в камере сгорания вскипает и разрушает наружную оболочку капли смесей, состоящей из жидкого топлива.
2. В химической активности воды, что способствует в камере сгорания ДВС под воздействием высоких температур, образованию водорода. В результате при такте «рабочий ход» он сгорает. Именно поэтому несмотря на замену до 20 % топлива водой, не происходит существенного снижения мощности ДВС.

3. При горении капли ВДС образуется значительно меньшее сажи, чем при горении капли неэмульгированного топлива. Снижение содержания сажи в ОГ ДВС объясняется тем, что ввод водного компонента в топливо интенсифицирует процесс горения за счет добавочного количества гидроксильного радикала (*OH*).

Результаты проведенных расчетов показали, что при введении водной фазы до 17 – 20 % по отношению к объёму топлива и при диаметрах капель воды в ВДС 2 мкм, происходит снижение: удельного расхода топлива на 10 – 18 %; содержания сажи в ОГ ДВС по значению *K* на 20 – 22 %, по значению *N* на 30 – 35 %.

С получения скоростных (внешних) характеристик ДВС ЯМЗ-236 при испытаниях на ВДС на основе дизельного топлива соответствующему требованиям ГОСТ 32511-2013 с содержанием дистиллированной водой по ГОСТ 6709 (от 4 до 20 %) на контрольных режимах работы ДВС по ГОСТ 18509 (таблица 2) были проведены стендовые испытания разработанных устройств [15] на двигателе ЯМЗ-236.

Таблица 2 – Результаты испытаний разработанных устройств

Частота вращения ДВС $n_{дв,}$, (мин$^{-1}$)	Часовой расход топлива/ВДС $G_{т,}$, (кг/ч)	Крутящий момент ДВС $M_{кр,}$, (Н м)	Эффективная мощность ДВС $N_{е}$, (кВт)	Угол опережения впрыска топлива $\theta_{в.т.}$, 1^0	Удельный расход топлива $g_{е}$, (г/кВт ч)
1. Дизельное топливо					
$n_{дв(min)}$=500	5,66 / -	655	121,2	4°	299,6
1250	7,08 / -	665	128,98	4°	317,9
1750	8,03 / -	650	130,58	4°	366,7
$n_{дв(max)}$=2100	8,11 / -	640	115,59	4°	456,4
2. ВДС (17 % воды)					
$n_{дв(min)}$=500	4,86 / 5,68	661	122,44	8°	235,7
1200	5,98 / 7,02	665	127,98	8°	251,7
1750	6,87 /8,05	654	131,85	8°	285,5
$n_{дв(max)}$=2100	6,62 / 7,74	642	116,59	8°	324,5

Эффективная мощность ДВС, представленная в таблице 2, определяется по формуле:

$$N_{\text{е}} = \frac{\text{М}_{\text{кр}} n_{\text{дв}}}{9554} \text{ (кВт).} \quad (6)$$

Удельный расход топлива определялся по формуле:

$$\text{g}_{\text{е}} = \frac{G_{\text{т}}}{N_{\text{е}}} 10^3 \text{ (г/кВт ч).} \quad (7)$$

Сравнение данных, получен в результате эксперимента (таблица 2), полученных при работе ДВС ЯМЗ-236 на дизельном топливе и на ВДС с содержанием водной фазы 17 % позволил установить следующее. Не зафиксировано значимого изменения эффективной мощности ДВС и крутящего момента, а вот снижение удельного расхода топлива довольно существенно - до 28 %.

Полученные результаты указывают на то, что наличие водного компонента в ВДС приводит к ее диффузному сгоранию. Пары воды, образующиеся из ВДС в камере сгорания двигателя при такте «сжатие», воздействуют на рабочую смесь, что повышает полноту сгорания рабочей смеси. Образующийся пар повышает равномерность распределения рабочей смеси в камере сгорания.

Приготавливаемая ВДС, состоит из капель воды, покрытых топливом, при высокой температуре (T = 200 – 500 °С) в камере сгорания вскипает и разрушает наружную оболочку капли ВДС, состоящей из жидкого топлива. Физический смысл этого явления состоит в том, что температуры кипения воды и топлива существенно отличаются. Получается своего рода микровзрыв, который расчленяет наружную оболочку ВДС, которая состоит из тяжелых топливных фракций, находящихся пока еще в жидком виде. Это ведет к вторичному распылению топлива, которое и гомонизирует ВВС, и улучшает процесс смешивания воздуха и топлива. В конечном итоге повышается полнота сгорания ВДС [18].

Заключение. Таким образом, имея достоверные полученные результаты экспериментального исследования и сравнивая их с теоретическими результатами можно сделать вывод об

адекватности разработанной математической модели влияния состава и дисперсности водно-дизельной смеси на эксплуатационные и экологические показатели ДВС АТТ. Максимально улучшить характеристики дизельного ДВС представляется возможным используя «обратную» ВДС, то есть смесь, где основная часть капель водной фазы имеет размер не более 2 мкм, а содержание воды соответствует 17 – 20 % к объёму топлива. Такая рецептура ВДС способствует гомогенизации заряда, интенсификации смешивания воздуха и топлива, повышению полноты сгорания горючей смеси.

Список литературы

1. Ложкин В.Н., Пименов Ю.А., Сафиуллин Р.Н., Акодес А.А. Улучшение экологических показателей автомобильных дизелей путем применения водно-топливных эмульсий / Материалы научно-практической конференции. – 2005. – 67–76 с.

2. Акулов Н.И. Разработка процессов получения эмульсий водно-спиртовых растворов в бензине в роторных аппаратах с модуляцией потока и их коагуляция. – М.: Наука. – 2005. – 202 с.

3. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Принципы разработки новых энергосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии. // Пром. Теплотехника. – Т.19. – № 4-5. – 1997. – С. 13 – 25.

4. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов. – 1981. – 11 с.

5. ГОСТ Р 52408–2005. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с ОГ. – М.: Изд-во стандартов. – 2005. – Часть 2. – 14 с.

6. ГОСТ Р 52033–2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. – М.: Изд-во стандартов. – 2003. – 19 с.

7. ГОСТ 20306–1990. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. – М.: Изд-во стандартов. – 1990. – 46 с.

8. ГОСТ 22576–1990. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. – М.: Изд-во стандартов. – 1990. – 20 с.

9. ГОСТ Р 51249–99. ДВС поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. – М.: Изд-во стандартов. – 1999. – 21 с.

10. ГОСТ 17.2.2.01–84. Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. – М.: Изд-во стандартов. – 1984. – 14 с.

11. ГОСТ 17.2.2.03–87. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерений. Содержание окиси углерода в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. – М.: Изд-во стандартов. – 1987. – 19 с.

12. ГОСТ 17.2.1.03–84. Охрана природы. Атмосфера. Термины определения контроля загрязнения. – М.: Изд-во стандартов. – 1984. – 11 с.

13. Балабудкин М.А., Борисов Г.Н. О путях повышения эффективности акустических и гидродинамических явлений в РПА. В кн.: Новые физические методы интенсификации технологических процессов. – М.: Металлургия. – 1977. – С. 98 – 102.

14. Рабинарсон А.И. Проблемы коллоидной химии. – Л.: ОНТИ – Химтеорет. – 1937. – 380 с.

15. Ломовских А.Е., Илларионов В.В., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. Испытания ДВС с системой приготовления и подачи БС с дисперсной фазой на основе воды. / Сборник материалов докладов по итогам Всероссийской НПК (29-30 ноября 2011 года), ч.3. – Воронеж: ВАИУ. – 2011. – С. 133–134.

16. Иванова В.М., Калинина В.Н., Нешумова Л.А., Решетникова И.О. Математическая статистика. – М.: Высшая школа. – 1981. – 371 с.

17. Борисов С.В., Ломовских А.Е., Великанова Л.В., Фоменко Л.Н., Шаповалов А.А. Математическое моделирование течения водно-дизельной смеси через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата и определение диаметра капель воды в смеси. Депон. 46 ЦНИИ МО РФ 16.01.14 г. Инв. № В 7530 СРДР, серия Б, вып. № 106. – М.: ЦВНИ МО РФ. – 2014. – 13 с.

18. Патент РФ № 2498094, МПК F02B 47/02, F02M 43/00, F02M 25/025. Способ обработки углеводородного топлива для двигателей внутреннего сгорания. / Борисов С.В., Иванов В.П., Ломовских А.Е., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. – Опубл. 10.11.2013.

References

1. Lozhkin V.N., Pimenov Ju.A., Safiullin R.N., Akodes A.A. Uluchshenie jekologicheskih pokazatelej avtomobil'nyh dizelej putem primenenija vodno-toplivnyh jemul'sij / Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii. – 2005. – 67–76 s.
2. Akulov N.I. Razrabotka processov poluchenija jemul'sij vodno-spirtovyh rastvorov v benzine v rotornyh apparatah s moduljaciej potoka i ih koaguljacija. – M.: Nauka. – 2005. – 202 s.
3. Dolinskij A.A., Ivanickij G.K. Principy razrabotki novyh jenergosberegajushhih tehnologij i oborudovanija na osnove metodov diskretno-impul'snogo vvoda jenergii. // Prom. Teplotehnika. – T.19. – № 4-5. – 1997. – S. 13 – 25.
4. GOST 14846–81. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovyh ispytanij. – M.: Izd-vo standartov. – 1981. – 11 s.
5. GOST R 52408–2005. Dvigateli vnutrennego sgoranija porshnevye. Vybrosy vrednyh veshhestv s OG. – M.: Izd-vo standartov. – 2005. – Chast' 2. – 14 s.
6. GOST R 52033–2003. Avtomobili s benzinovymi dvigateljami. Vybrosy zagrjaznjajushhih veshhestv s otrabotavshimi gazami. – M.: Izd-vo standartov. – 2003. – 19 s.
7. GOST 20306–1990. Avtotransportnye sredstva. Toplivnaja jekonomichnost'. – M.: Izd-vo standartov. – 1990. – 46 s.
8. GOST 22576–1990. Avtotransportnye sredstva. Skorostnye svojstva. – M.: Izd-vo standartov. – 1990. – 20 s.
9. GOST R 51249–99. DVS porshnevye. Vybrosy vrednyh veshhestv s otrabotavshimi gazami. – M.: Izd-vo standartov. – 1999. – 21 s.
10. GOST 17.2.2.01–84. Ohrana prirody. Atmosfera. Dizeli avtomobil'nye. Dymnost' otrabotavshih gazov. Normy i metody opredelenija. – M.: Izd-vo standartov. – 1984. – 14 s.
11. GOST 17.2.2.03–87. Ohrana prirody. Atmosfera. Normy i metody izmerenij. Soderzhanie okisi ugleroda v otrabotavshih gazah avtomobilej s benzinovymi dvigateljami. – M.: Izd-vo standartov. – 1987. – 19 s.
12. GOST 17.2.1.03–84. Ohrana prirody. Atmosfera. Terminy opredelenija kontrolja zagrjaznenija. – M.: Izd-vo standartov. – 1984. – 11 s.
13. Balabudkin M.A., Borisov G.N. O putjah povyshenija jeffektivnosti akusticheskih i gidrodinamicheskih javlenij v RPA. V kn.: Novye fizicheskie metody intensifikacii tehnologicheskih processov. – M.: Metallurgija. – 1977. – S. 98 – 102.
14. Rabinarson A.I. Problemy kolloidnoj himii. – L.: ONTI – Himteoret. – 1937. – 380 s.
15. Lomovskih A.E., Illarionov V.V., Kapustin D.E., Sysoev I.P. Ispytanija DVS s sistemoj prigotovlenija i podachi BS s dispersnoj fazoj na osnove vody. / Sbornik materialov dokladov po itogam Vserossijskoj NPK (29-30 nojabrja 2011 goda), ch.3. – Voronezh: VAIU. – 2011. – S. 133–134.
16. Ivanova V.M., Kalinina V.N., Neshumova L.A., Reshetnikova I.O. Matematicheskaja statistika. – M.: Vysshaja shkola. – 1981. – 371 s.
17. Borisov S.V., Lomovskih A.E., Velikanova L.V., Fomenko L.N., Shapovalov A.A. Matematicheskoe modelirovanie techenija vodno-dizel'noj smesi cherez rabochie organy rotorno-pul'sacionnogo apparata i opredelenie diametra kapel' vody v smesi. Depon. 46 CNII MO RF 16.01.14 g. Inv. № V 7530 SRDR, serija B, vyp. № 106. – M.: CVNI MO RF. – 2014. – 13 s.
18. Patent RF № 2498094, MPK F02B 47/02, F02M 43/00, F02M 25/025. Sposob obrabotki uglevodorodnogo topliva dlja dvigatelej vnutrennego sgoranija. / Borisov S.V., Ivanov V.P., Lomovskih A.E., Kapustin D.E., Sysoev I.P. – Opubl. 10.11.2013.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Канищев Александр Сергеевич – кандидат технических наук, начальник факультета Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Сазонов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственнго бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snsazon@mail.ru.

Томилов Александр Анатольевич – кандидат технических наук, профессор Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Борисов Сергей Владимирович – начальник учебной лаборатории Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: sergeevich2105219@yandex.ru.

Рябчук Алексей Сергеевич – слушатель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Author credentials

Affiliations

Kanishchev Alexandr – Candidate of Technical Sciences, Head of the faculty of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

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

Tomilov Alexander – – Candidate of Technical Sciences, Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Borisov Sergey – head of the training laboratory of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Ryabchuk Alexey – student of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2020

УДК 629.113.52; 62-1/-9; 53.09
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-81-90

АПРОБИРОВАННОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕРВИСА АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

[1]Дунаев Анатолий Васильевич
[2]Родионов Юрий Викторович
[3]Ломовских Александр Егорович
[3]Свиридов Алексей Алексеевич
[3]Рябчук Алексей Сергеевич
[1]Макаркин Игорь Михайлович

[1]ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[3]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Реферат. *В статье описывается актуальная проблема, связанная с необходимость в повышении ресурса, экономичности и экологичности автотракторных двигателей, что постоянно обусловливает инновации в их обслуживании и ремонте. Для этого в некоторых странах проводят магнитную, электромагнитную, электростатическую модификацию топлив, ввод в моторные масла большого разнообразия триботехнических составов, электрических зарядов и ионов мягких металлов, а сегодня апробируют модификацию топлив механо-химией, кавитацией, трибоэлектризацией и ими совместно. Но наиболее эффективно модификацию топлив и заметное уменьшение их расхода обеспечивают активаторы профессора Воробьева Ю.В. по патенту РФ № 2411074. Целью приведенных в статье исследований является обобщение результатов испытаний этого активатора, выяснение особенности модификации им топлив, а также наметить меры для обеспечения стабильной его работы на разных двигателях. Из анализа конструкции активаторов и эффективности их работы предположено, что модификация моторных топлив, рапсового масла, алкогольных напитков и природных вод происходит вначале механо-химией, далее – кавитацией, а окончательно – снова механо-химией. Эффективность активаторов подтверждена стендовыми и эксплуатационными испытаниями по снижению расхода топлив на 20 – 30 %, 80 парами хроматограмм и химмотологией модифицированных десятков разных жидкостей, испытаниями в Рочестер Центр, необратимостью и усилением модификации топлив в хранении и другими необычными свойствами активированных топлив, алкогольных жидкостей и вод. Эффективность активатора по повышению им калорийности жидких топлив на 26 – 30 % и снижение до 31 % расхода моторных топлив обеспечивается оптимизацией его конструкции для разных расходов жидкостей в нем и антиэрозионными материалами.*

Ключевые слова: *двигатель, технический сервис, активация топлив, электрообработка масел, трибосостав, изнашивание, ресурс, расход топлива, дымность.*

TESTED SERVICE IMPROVEMENT OF AUTO TRACTOR ENGINES

[1]Dunaev Anatoly
[2]Rodionov Yuri
[3]Lomovskih Alexandr
[3]Sviridov Alexey
[3]Ryabchuk Alexey
[1]Makarcin Igor

[1]FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
[2]FSBEI HE "Tambov state technical university"
[3]MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"

Abstract. *The urgent problem associated with the need to increase the resource, efficiency and environmental friendliness of automotive engines, which constantly determines innovations in their maintenance and repair, is described in the article. Magnetic, electromagnetic, electrostatic modification*

of fuels, the introduction of a wide variety of tribotechnical compositions, electric charges and ions of soft metals into engine oils, and today they are testing the modification of fuels by mechanochemistry, cavitation, triboelectrization, and they are jointly carried out for this in some countries. Today, fuel modification is being tested by mechanical chemistry, cavitation, triboelectrization, and so on. But the most effective modification of fuels and a noticeable reduction in their consumption are provided by activators of Professor Vorobyov Yu.V. under the RF patent № 2411074. The purpose of the research presented in the article is to summarize the test results of this activator, to clarify the features of its fuel modification, and to outline measures to ensure its stable operation on different engines. From the analysis of the design of activators and the efficiency of their operation it is assumed. that the modification of motor fuels, rapeseed oil, alcoholic beverages, and natural waters occurs first by mechanical chemistry, then by cavitation, and finally again by mechanical chemistry. The effectiveness of activators is confirmed by bench and operational tests to reduce fuel consumption by 20 – 30 %, 80 pairs of chromatograms and chemical analysis of modified dozens of different liquids, tests at the Rochester Center, the irreversibility and enhancement of fuel modification in storage, and other unusual properties of activated fuels, alcoholic liquids and waters. The efficiency of the activator in increasing the calorific value of liquid fuels by 26 – 30 % and reducing the consumption of motor fuels before 31 % is provided by optimizing its design for different liquid consumption in it and anti-erosion materials.

Keywords: *engine, technical service, activation, electrical treatment of oils. tribotecnical additiv, wear, resource, fuel consumption, smoke.*

Введение. Для совершенствования технического сервиса двигателей внутреннего сгорания (ДВС) применяют различные инновационные приемы. Наиболее ранним из них является активация моторных топлив магнитными [1, 2] и подобными им устройствами, известными еще с довоенных времен. А с 1998 г. в Российской Федерации (РФ), а далее в мире, стало расширяться применение триботехнических составов для уменьшения и компенсации изнашивания сопряжений и тем самым увеличения ресурса, надежности, экономичности и экологичности автотракторных двигателей [3 – 5]. В наше время возникла электростатическая обработка картерных масел [6], эмиссия в них электрических зарядов и ионов мягких металлов [7], что проще, но по эффективности сопоставимо с применением трибосоставов. А последняя инновация – совместная кавитационная [8 – 10] и механо-химическая [11 – 13] активация моторных топлив.

По первой инновации. Так как взаимодействие веществ имеет электромагнитную природу, то на них и влияют внешние воздействия. Поэтому магнитные, электромагнитные, электрические поля модифицируют нефтепродукты и их свойства особенно при наличии полярных молекул. Но доля их различна и эффект модификации разный. Предположено, что магнитные, электромагнитные поля диспергируют кластеры углеводородов разрядкой или наоборот – их поляризацией.

Известно множество отечественных и зарубежных методов и устройств для магнитной [1], электромагнитной [2] обработки моторных топлив и впускного в ДВС воздуха. Магнитные модификаторы защищены патентами РФ № 2268388, 2304231, 2306448, 2307258, 2310769, 2319834, 2324838, 2327895, электростатические – патентами № 2011881, 2032107, 2215172, 2293871, электромагнитые – патентами РФ № 2038506, 2093699, комплексные – патентами № 2377434, 2296238, а в патенте ВИЭСХ № 2554195 совмещены магниты и электромагниты Гельмгольца с компенсаторами реактивной мощности и со спиральным проточным каналом.

Магнитные и электромагнитные активаторы вошли в гражданскую сферу многих стран. По к.т.н. Шабанову А.Ю. (СПбГПУ) они «снижают расход топлив ДВС на холостом ходу не менее чем на 15 %, а по рабочему циклу – на 3 – 6 %. Улучшается смесеобразование, очищается камера сгорания ДВС, а основной эффект – уменьшение на 40 – 50 % дымности отработавших газов ДВС».

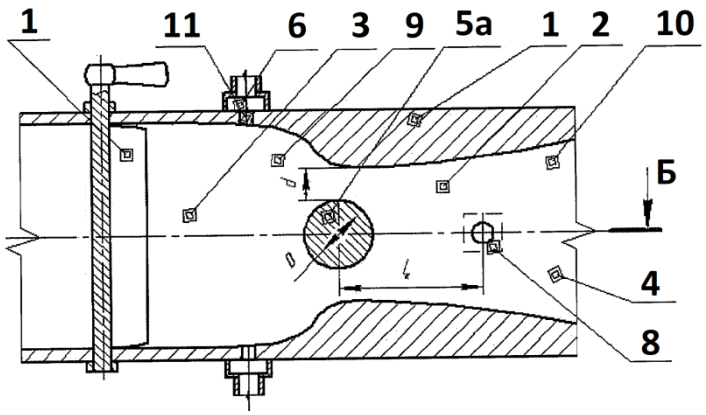
По второй инновации в РФ, Европе, Японии, Китае, в других странах с прошлого века известно разнообразие минеральных модификаторов поверхностей трения (ММПТ) на основе гидросиликатов магния, никеля, алюминия, железа, их смесей, вводимых в смазки [5]. В РФ более чем 65 марок ММПТ производят 7 организаций Петербурга, 4 – в Москве и в Подмосковье, в Н.-Новгороде, Красноярске, Екатеринбурге, Омске. Высокая эффективность ММПТ давно подтверждена десятками ведущих промышленных НИИ и университетов РФ, а за рубежом, широкой их апробацией фактически во всех сферах экономики, в оборонке, в ВМФ, а особенно на транспорте: продление ресурса изношенных сопряжений трения до 3 раз, уменьшение расхода топлив на 3–17 %, уменьшение токсичности отработавших газов ДВС. Рентабельность ММПТ 300 – 1200 %. ММПТ подлежат самому широкому внедрению во многих отраслях РФ, а особенно в АПК.

Следующая инновация – электрообработка моторных, гидравлических масел: электростатическая высоковольтными устройствами Харьковской акад. ж.-д. транспорта [6]; эмиссией зарядов и ионов металлов в разные масла с помощью частных [7] и серийных преобразователей батарейного напряжения до + 50 В и выше. Последний прием проще и для профилактики изнашивания аналогичен применению ММПТ. При этом износ уменьшается до 3,5 раз, расход топлив на 3 – 17 %, заметно уменьшается токсичность газов ДВС, масла осветляются. Эта инновация подлежит более широкому применению везде, а особенно в АПК.

Свежая инновация – кавитационная [8 – 10], а позже – механо-химическая и комплексная [11 – 13] активация моторных топлив, более эффективная, необратимая и продолжающаяся в их хранении. Еще в XX веке появились гомогенизаторы и кавитаторы нефтепродуктов (в городах Полтава, Одесса, Черкассы, Череповец, Шахты, Новосибирск и др.), а обработка ими мазута, водо-мазутных эмульсий главных судовых дизелей вышла из Одессы на океанские просторы.

Кавитационные гомогенизаторы, активаторы топлив известны по патентам СССР и РФ № 1650227, 2011881, 2077939, 2155633, 2159684, 2285558, 2305589, 2430773. Из промышленных их аналогов интуитивно и на научной основе наиболее распространены гидродинамические, известные по Рэлею с 1917 г. [14], актуальные и ныне. Обработанные топлива сгорают полнее, с меньшим расходом, уменьшаются вредные газы недогорания. Уменьшается вязкость топлив, требуемый нагрев, улучшается распыливание, создаются водо-топливные эмульсии (белое топливо) для эффективного сжигания обычного и обводнённого судового топлива.

Интересен регулируемый кавитатор из Научного Центра Нелинейной Волновой Механики и Техники (НЦ НВМТ) при ИМАШ РАН по патенту РФ № 2306972 (рисунок 1), но для активации топлив он не проверен.

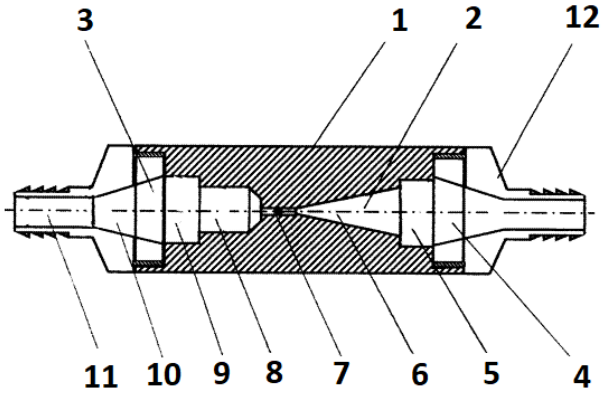


1 – корпус; 2 – выходной патрубок; 4, 8, 10 – особые зоны выходного патрубка;
3 – входной патрубок с зоной сужения 9; 5а – один из трех кавитаторов;
6 – предвключенная камера; 7 – регулятор смеси; 11 – сопло для подачи смеси

Рисунок 1 – Кавитатор по патенту РФ № 2306972

Особо прост топливный кавитатор по патенту РФ № 2435649 (рисунок 2) для разного применения. Считается, что он облегчает фракционный состав и повышает калорийность топлив, а свободные радикалы из-за кавитации в нем улучшают сгорание, расход топлива уменьшается до 30 %, в 2 – 3 раза уменьшается выход вредных газов. Облегчается зимний пуск ДВС, перепускаемое топливо со свободными радикалами поглощает конденсат в баке, насыщается им и далее очищает камеры сгорания ДВС.

Однако к дизелям нужен дополнительный регулируемый насос. Конструкция кавитатора и режимы его работы авторы оптимизировали испытаниями. Получены ими такие значения коэффициента кавитации «X»: для бензинов – 1,07; для ДТ без дополнительного насоса – 1,34, а с ним (5 бар) – 0,47. В докавитационном сплошном однофазном потоке $X > 1$; в кавитационном двухфазном граничное значение $X \approx 1$; в пленочной кавитации со стабильной кавитационной полостью $X < 1$; а в суперкавитации $X << 1$.



1 – корпус, 2 – вход топлива, 3 – зона кавитации, 4, 10 – полый усеченный конус;
5, 8, 9 – цилиндрическая часть; 6 – коническая часть; 7 – сопло;
12 – штуцер подвода топлива; 11 – штуцер отвода топлива

Рисунок 2 – Топливный кавитатор по патенту РФ № 2435649

Известен Украинский малогабаритный активатор (рисунок 3) весом 180 г. По его создателю «кавитатор на основе нескольких приемов и точнейшей внутренней геометрии без ограничения ресурса пригоден на пропуск до 220 л/ч, не засоряется, не нагружает топливную систему ДВС» [7]. С 2007 г. активатор на промышленных выставках Украины получил несколько почетных Дипломов.

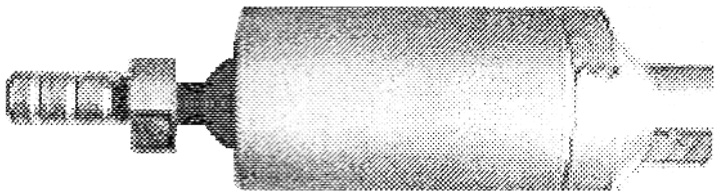


Рисунок 3 – Миниатюрный Украинский гомогенизатор моторных топлив

Следует учитывать и известную [11 – 13] эффективную механо-химическую деструкцию веществ. Поэтому разнообразнее и глубже, чем в НЦ НВМТ, модифицируют жидкости активаторами проф. Воробьева Ю.В., не предназначавшимися для активации топлив, по патентам РФ № 2411074 и 2550203.

Цель исследования – обобщение результатов испытаний активаторов профессора Воробьева Ю.В., выяснение особенности модификации ими моторных топлив и наметить меры для обеспечения стабильной их работы в разных ДВС.

Материалы и методы. Использованы описания и результаты испытаний [12 – 17] активаторов по патентам РФ № 2411074, 2550203, 2592801.

Результаты и их обсуждение. По данным многих исследований [11 – 13] и результатов пяти стендовых испытаний всех модификаций активатора проф. Воробьева Ю.В. на двигателях КамАЗ-740, ЗМЗ-406, ЯМЗ-236, УМЗ-417 с дизельным топливом (ДТ), бензином, с водо-топливной эмульсией [15], проведенных в ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) формула научного открытия модификации им топлив такова: «Экспериментально установлены новые особенности модификации моторных топлив в активаторе по патенту РФ № 2411074 в том, что механо-химическая турбулизация их в первой камере, разрушающая кластеры молекул, кавитация во второй, диспергирующая сами молекулы, и механо-химическое истирание в третьей облегчают фракционный состав, благодаря активным радикалам в механо-

химии продолжают их модификацию в хранении, обеспечивают необратимость улучшенных свойств топлив до их сгорания, повышение калорийности и сокращение их расхода на 20 – 27 % без уменьшения мощности ДВС, уменьшение на 8,7 % дымности дизелей, резкое уменьшение токсичности отработавших газов бензиновых ДВС, снижение с -30 °С до -45 °С замерзания дизельных топлив, многократную их очистку от смол и соединений серы». Повышение калорийности топлив активацией следует из [16] и из таблицы 1.

Таблица 1 – Калорийность и энергия связей атомов углерода в углеводородах

№ п/п	Вещество	Стандартная калорийность		Энергия связи атомов углерода, кДж/моль [17]	Возможная калорийность, кДж/моль	Повышение калорийности, %
		кДж/моль	кДж/г			
1	Графит	393,68	394,1	-	-	
2	Водород	286,020	143,01	-	-	
3	Метан	890,930	55,73	-	890,930	
4	Этан	1560,88	51,92	220,98 (Q_x)	1781,86	14
5	Пропан	2220,30	50,37	452,49	2672,79	20,3
6	Бутан	2880,26	49,61	683,46	3563,72	23,7
7	Пентан	3511,50	48,73	943,15	4454,65	26,8
8	Гексан	4165,82	48,40	1179,76	5345,58	28,3
9	Гептан	4820,39	48,19	1416,12	6236,51	29,4
10	Октан	5474,41	47,97	1653,03	7127,44	30,2
11	Декан	6783,16	47,72	2126,14	8909,30	31,3
12	н-Додекан	8091,95	47,56	-	-	-
13	н-Гексадекан	10708,08	47,31	-	-	-

Из таблицы 1 следует, что с удлинением молекул углеводородов их массовая калорийность растет не пропорционально числу в них метильных групп (CH_2) из-за расходования части тепла сгорания на разрыв связей в цепях молекул. Это и объясняет повышение калорийности активированных, облегченных топлив.

Но модификация топлив активатором [11 – 13] идёт и в хранении, по-видимому, благодаря образующимся в кавитации активным радикалам [18], а доли активированного дизельного топлива, вводимые профессором Воробьевым Ю.В. в неактивированное, поэтапно повышали в смеси долю активированного до 35 %.

Известно, что теплота сгорания тратится и на испарение веществ до молекул и на диссоциацию молекул кислорода. Но если все это проводить до сжигания, то на неё теплоты сгорания тратиться меньше и калорийность топлив становится больше (таблица 1). Это подтверждается и повышенной калорийностью нефтяных газов, как бы диспергированных жидких топлив. Но по Канареву Ф.М. [19] есть и иные, неожиданные причины повышения калорийности активированных топлив: это обратное действие валентных электронов в осколках молекул углеводородов, возвращающее затраты энергии в механо-химии, а также создание давления сгорания в ДВС не газами, сгорания, а фотонами валентных электронов в осколках диспергированных молекул.

Для оценки влияния различных вариантов активаторов Воробьева Ю.В. на мощностные показатели ДВС в учебной лаборатории ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) были проведены стендовые испытания ДВС УМЗ-417 под полной нагрузкой. Комплект некоторых активаторов профессора Воробьева Ю.В. представлен на рисунке 4.

На рисунке 5 представлены различные варианты активаторов и места их установки в системе питания ДВС УМЗ-417.

Цель испытаний: определение часового расхода топлива и крутящего момента бензинового ДВС с активатором производства АО «ТЗ «Ревтруд» по патенту РФ № 2411074 на холостом ходу и под нагрузкой.

Испытания проведены на стенде КИ-568-ГОСНИТИ. При этом использовали бензин марки АИ-92 и стандартные средства контроля температуры, времени испытаний и частоты вращения коленчатого вала ДВС с приведенной погрешностью ±1 %.

Рисунок 4 – Комплект некоторых активаторов профессора Воробьева Ю.В., ранее испытанных на стенде и в эксплуатации на десятках бензиновых автомобилей

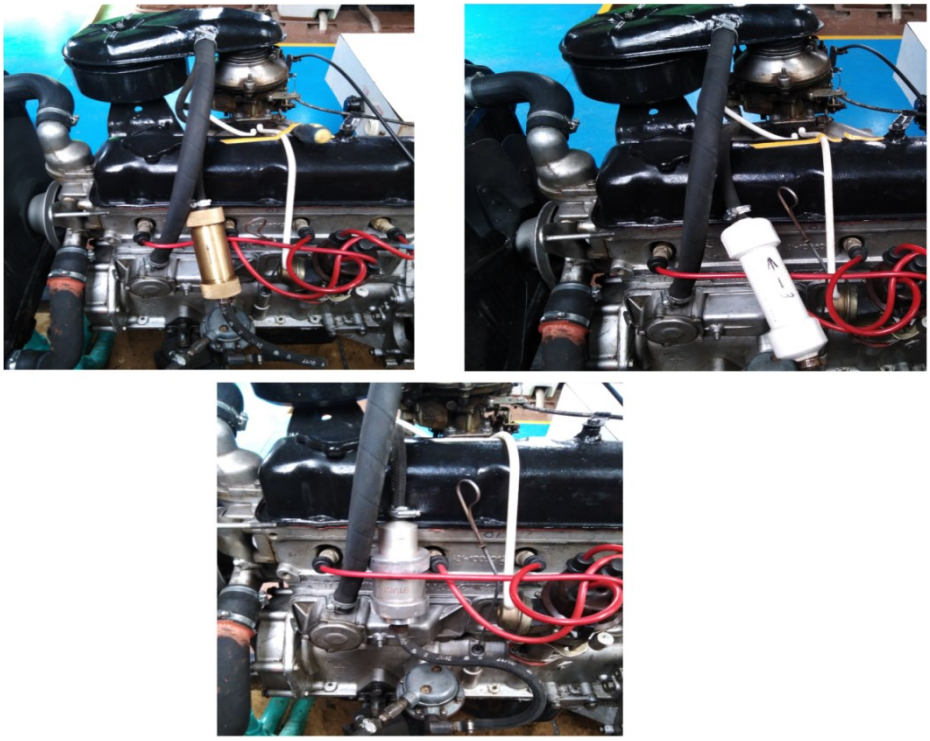


Рисунок 5 – Места установки активаторов в системе питания ДВС УМЗ-417

Определение показателей работы ДВС проводили согласно требованиям ГОСТ 14846-81, ГОСТ 52408-2005, ГОСТ 51249-99:

- при температуре окружающего воздуха + 20°С;
- относительной влажности воздуха 36% ≤ φ ≤ 50%;
- атмосферном давлении 750 мм. рт. ст. ≤ P_a ≤ 760 мм. рт. ст.;
- температура бензина на входе в ДВС составляла 20°С ≤ Т ≤ 25°С;
- температура охлаждающей жидкости ДВС составляла 75…90°С.

Испытания проводились в три этапа:

I-й – без активатора: определение часового расхода топлива и крутящего момента;

II-й – запуск двигателя с активатором и определение устойчивости его работы;

III-й – определение часового расхода топлива и крутящего момента ДВС с активатором.

Все испытания повторяли трехкратно. Время каждого (кроме нагрузочных испытаний) – 10 мин. Средние значения результатов испытаний приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты стендовых испытаний двигателя УМЗ-417 в режиме холостого хода

Наличие активатора	Частота вращения коленвала, $мин^{-1}$	Расход топлива за 10 мин, мл	Экономия топлива, %
Без активатора	2200	420	-
С активатором	2200	305	27,4
С образцовым активатором ТГТУ	2200	290	31,1

Часовой расход бензина составлял: без активатора – 2520 мл, с активатором от АО «ТЗ «Ревтруд» – 1830 мл, а с контрольным активатором проф. Воробьева Ю.В. (ТГТУ) – 1740 мл.

Таблица 3 – Результаты стендовых испытаний двигателя УМЗ-417 под нагрузкой (определение крутящего момента)

Наличие активатора	Частота вращения коленвала, $мин^{-1}$	Крутящий момент, кгс·м
Без активатора	3400	7,8
С активатором	3600	9,2
С образцовым активатором ТГТУ	3400	9,7

Из результатов испытаний сделан вывод о том, что активатор от АО «ТЗ «Ревтруд» также значительно уменьшает расход топлива. А для объяснения увеличения крутящего момента ДВС с активаторами проф. Воробьева Ю.В. требуются дальнейшие исследования.

Сравнение эффективности активаторов профессора Воробьева Ю.В. разного изготовления показало, что конструктивные изменения в пионерном активаторе ухудшают модификацию топлив. Так замена витых элементов резьбой в первой камере, отклонения от диаметра микроканалов с 1,5 мм на 1 и 2 мм, расширение щелей решетки в третьей камере, замена металлического корпуса на полипропиленовый, уменьшение внутренних диаметров входных штуцеров с 7 мм до 4 мм ухудшали эффективность модификации топлив. Поэтому для ДВС мощностью свыше 250 л.с. необходимо наращивать конструктивы активатора, по-видимому, пропорционально объему потока топлив.

Из изложенного, для обеспечения стабильной модификации топлив активатором на разных ДВС возможно учитывать такие предложения:

- длину первой камеры задавать пропорционально расходу топлива через активатор из соотношения $L = L_0(Q_{факт}/Q_0)$, где L_0 – длина камеры в пионерном активаторе;
- диаметр микроканалов в диске задавать из соотношения $d = 1{,}5(Q_{факт}/Q_0)$;
- число микроканалов задавать из соотношения $N = 6/(Q_{факт}/Q_0)$;
- решетки камеры III выполнять из листов тех же сталей, что и для корпуса активатора, толщиной 0,2–0,3 мм;
- число пластин решеток камеры III задавать по зависимости $N = 5/(Q_{факт}/Q_0)$;
- ширину щелей решеток III камеры задавать из соотношения $b = 0{,}05\sqrt{(Q_{факт}/Q_0)}$;
- пластины в камере III закреплять с зазором 1 мм;
- предусмотреть съемность пластин для их промывки после облитерации;

- для повышения ресурса активатора его корпус следует изготавливать из материалов, стойких к кавитационной эрозии, например, из кремнистой бронзы марки Бр.КМц 3–1, применяемой приизготовления труб, втулок, пружин в судостроении, авиации, химической промышленности или из сталей для труб марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т;

- шероховатость внутренних поверхностей активатора должна быть менее 0,032 мм;

- нужна теплоизоляция активатора для предотвращения его нагрева от ДВС.

Конечно, нужны эксплуатационные испытания активатора на ресурс, а также дополнительные стендовые под полной нагрузкой разных ДВС.

Следует также проверить влияние подогрева топлив, магнитного поля на входе, на выходе из активатора, его эрозионный ресурс. Желательно оптимизировать выбор металлов к деталям активатора, уменьшить себестоимость его производства.

Заключение. Из инноваций в техническом сервисе автотракторных ДВС, в т.ч. в АПК, особенно актуально модификаторы трения и электрическая обработка моторных масел. Менее актуальны магнитные и им подобные активаторы топлив. Перспективен активатор профессора Воробьева Ю.В. в уменьшении расхода моторных топлив, реализующий механо-химию и кавитацию. Необратимая и непрерывная модификация топлив этим активатором уменьшает их расход на 21,3 – 31,9 %. Но механизмы модификации топлив в активаторе требуют параметрического уточнения, широких нагрузочных испытаний, на эрозионную стойкость, в холодный период года, оптимальное масштабирование для разных установок. Полезны его наблюдения через прозрачный корпус в разных режимах работы с бензином, ДТ, водой, моторным маслом, с наложением магнитного, переменного электромагнитного поля. Апробация на маловязких нефтях позволит уточнить пределы эффективности активатора в дроблении молекул тяжелых углеводородов. Возможна его апробация на автозаправочных станциях и в производстве экологичных топлив.

Список литературы

1. Спиридонов Р.В., Демахин С.А., Кивокурцев А.Ю. Магнитная обработка жидкостей в нефтедобыче. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж». – 2003. – 73 с.

2. Микипорис Ю.А. Улучшение экологических показателей автомобильных двигателей электромагнитной и триботехнической обработкой топлива. Учебное пособие. – Ковров: КГТА. – 2008. – 168 с.

3. Патент РФ № 2679575 МПК F01M 9/02, F16N 15/00. Комплексный триботехнический и электрический способ повышения эффективности смазывания в агрегатах автотракторной техники. / Пустовой И.Ф., Дунаев А.В., Любимов Д.Н. . – Опубл. 2019.02.11.

4. НПИФ «ЭНИОН-БАЛТИКА». Сборник материалов по исследованию и примененению триботехнических составов НИОД за 1991-2003 г. / URL: http://niod-vol.ru. (дата обращения 03.11.2020).

5. Дунаев А.В. Нетрадиционная триботехника. Некоторые итоги развития в России. Монография. – Lambert Academic Publishing. – 2018. – 217 с.

6. Воронин С.В., Дунаев А.В. Влияние электрического и магнитного поля на механизм действия присадок к маслам. // Трение и износ. – 2015. – Т. 36. – № 1. – С. 41 – 49.

7. Любимов Д.Н., Долгополов К.Н., Вершинин Н.К., Дунаев А.В. Применение эффекта поля для снижения фрикционных потерь машин. // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 10. – С. 40 – 43.

8. ЦЭТ Гидротопливо. / URL: http://www.vortexfuel.com.ua. (дата обращения 03.11.2020).

9. Василевский А.В. Обработка дизельного топлива ультразвуковым кавитационным воздействием. / Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище. Труды. – Т. 1-2, – № 42 – 43. – 2012. – С. 18 – 20.

10. Грумондз В.Т., Мягков К.Г, Степанова В.В. Применение пузырьковой кавитации к обработке углеводородных жидкостей. // Вестник МАИ. – 2007. – Т. 14. – № 3. – С. 146 – 152.

11. Воробьёв Ю.В. Основы теории механоактивации жидких сред. // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19. – № 3. – С. 608 – 613.

12. Воробьев Ю.В., Фарахшина И.В. Анализ результатов механоактивации дизельного топлива по хроматографическим исследованиям. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2016. – № 3. – С. 38 – 41.

13. Воробьев Ю.В., Дунаев А.В., Малахов В.А. Механо-химическая обработка топлива – резерв повышения топливной экономичности автотранспорта в горной промышленности. // Горный журнал. – 2017. – № 10. – С. 92 – 94.

14. Юшков Н.Б., Шмырков О.В., Кормилицын В.И. Формирование тонкодисперсных эмульсий в проточном волновом генераторе с маслами различной вязкости. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2013. – № 4. – С. 83 – 87.

15. Dunaev A.V., A.A.H. Al-Maidi, Rodionov Y.V., Lomovskikh A.E. Unique in Composition and Stability Water-fuel Emulsion. // Journ. of Adv Research in Dynamical & Control Systems. – Vol. 12. – 04-Special Issue. – 2020. – Pp. 432 – 439.

16. Разработка научных основ технологии получения альтернативных видов топлив для технических средств железнодорожного транспорта: Отчет РФФИ 12-08-13106-офи_м_РЖД рег. № 01201276764. – М.: НЦ НВМТ РАН. – 2012-2013 гг.

17. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматгиз. – 1963. – 472 с.

18. Попова Н.И., Скубневская Г.И., Молин Ю.Н., Котляревский И.Л. Синтез и некоторые свойства свободных радикалов с тройными связями. // Известия Академии наук СССР. Серия – химия. – 1969. – № 11. – С. 2424 – 2430.

19. Канарев Ф.М. Начала физхимии микромира. Восьмое издание. – Краснодар: КубГАУ. – 2007. – 753 с.

References

1. Spiridonov R.V., Demahin S.A., Kivokurcev A.Ju. Magnitnaja obrabotka zhidkostej v neftedobyche. – Saratov: Izd-vo GosUNC «Kolledzh». – 2003. – 73 s.

2. Mikiporis Ju.A. Uluchshenie jekologicheskih pokazatelej avtomobil'nyh dvigatelej jelektromagnitnoj i tribotehnicheskoj obrabotkoj topliva. Uchebnoe posobie. – Kovrov: KGTA. – 2008. – 168 s.

3. Patent RF № 2679575 MPK F01M 9/02, F16N 15/00. Kompleksnyj tribotehnicheskij i jelektricheskij sposob povyshenija jeffektivnosti smazyvanija v agregatah avtotraktornoj tehniki. / Pustovoj I.F., Dunaev A.V., Ljubimov D.N. . – Opubl. 2019.02.11.

4. NPIF «JeNION-BALTIKA». Sbornik materialov po issledovaniju i primenenenju tribotehnicheskih sostavov NIOD za 1991-2003 g. / URL: http://niod-vol.ru. (data obrashhenija 03.11.2020).

5. Dunaev A.V. Netradicionnaja tribotehnika. Nekotorye itogi razvitija v Rossii. Monografija. – Lambert Academic Publishing. – 2018. – 217 s.

6. Voronin S.V., Dunaev A.V. Vlijanie jelektricheskogo i magnitnogo polja na mehanizm dejstvija prisadok k maslam. // Trenie i iznos. – 2015. – T. 36. – № 1. – S. 41 – 49.

7. Ljubimov D.N., Dolgopolov K.N., Vershinin N.K., Dunaev A.V. Primenenie jeffekta polja dlja snizhenija frikcionnyh poter' mashin. // Traktory i sel'hozmashiny. – 2014. – № 10. – S. 40 – 43.

8. CJeT Gidrotoplivo. / URL: http://www.vortexfuel.com.ua. (data obrashhenija 03.11.2020).

9. Vasilevskij A.V. Obrabotka dizel'nogo topliva ul'trazvukovym kavitacionnym vozdejstviem. / Rjazanskoe vysshee vozdushno-desantnoe komandnoe uchilishhe. Trudy. – T. 1-2 , – № 42 – 43. – 2012. – S. 18 – 20.

10. Grumondz V.T., Mjagkov K.G, Stepanova V.V. Primenenie puzyr'kovoj kavitacii k obrabotke uglevodorodnyh zhidkostej. // Vestnik MAI. – 2007. – T. 14. – № 3. – S. 146 – 152.

11. Vorob'jov Ju.V. Osnovy teorii mehanoaktivacii zhidkih sred. // Vestnik TGTU. – 2013. – T. 19. – № 3. – S. 608 – 613.

12. Vorob'ev Ju.V., Farahshina I.V. Analiz rezul'tatov mehanoaktivacii dizel'nogo topliva po hromatograficheskim issledovanijam. // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2016. – № 3. – S. 38 – 41.

13. Vorob'ev Ju.V., Dunaev A.V., Malahov V.A. Mehano-himicheskaja obrabotka topliva – rezerv povyshenija toplivnoj jekonomichnosti avtotransporta v gornoj promyshlennosti. // Gornyj zhurnal. – 2017. – № 10. – C. 92 – 94.

14. Jushkov N.B., Shmyrkov O.V., Kormilicyn V.I. Formirovanie tonkodispersnyh jemul'sij v protochnom volnovom generatore s maslami razlichnoj vjazkosti. // Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin. – 2013. – № 4. – S. 83 – 87.

15. Dunaev A.V., A.A.H. Al-Maidi, Rodionov Y.V., Lomovskikh A.E. Unique in Composition and Stability Water-fuel Emulsion. // Journ. of Adv Research in Dynamical & Control Systems. – Vol. 12. – 04-Special Issue. – 2020. – Pp. 432 – 439.

16. Razrabotka nauchnyh osnov tehnologii poluchenija al'ternativnyh vidov topliv dlja tehnicheskih sredstv zheleznodorozhnogo transporta: Otchet RFFI 12-08-13106-ofi_m_RZhD reg. № 01201276764. – M.: NC NVMT RAN. – 2012-2013 gg.

17. Ahmatov A.S. Molekuljarnaja fizika granichnogo trenija. – M.: Fizmatgiz. – 1963. – 472 s.

18. Popova N.I., Skubnevskaja G.I., Molin Ju.N., Kotljarevskij I.L. Sintez i nekotorye svojstva svobodnyh radikalov s trojnymi svjazjami. // Izvestija Akademii nauk SSSR. Serija –himija. – 1969. – № 11. – S. 2424 – 2430.

19. Kanarev F.M. Nachala fizhimii mikromira. Vos'moe izdanie. – Krasnodar: KubGAU. – 2007. – 753 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Дунаев Анатолий Васильевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: dunaev135@mail.ru.

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

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Свиридов Алексей Алексеевич – кандидат педагогических наук, старший преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Рябчук Алексей Сергеевич – слушатель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Макаркин Игорь Михайлович – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва.

Author credentials

Affiliations

Dunaev Anatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: dunaev135@mail.ru.

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

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Sviridov Alexey – Candidate of pedagogical Sciences, senior lecturer of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Ryabchuk Alexey – student of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Makarcin Igor – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: dunaev135@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2020

УДК 355.695
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-91-99

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВ И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АПК

[1]Остриков Валерий Васильевич
[1]Корнев Алексей Юрьевич
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Анализ актуальных проблем повышения эффективности использования топлив и смазочных материалов в АПК показал, что первоочередными и сложно регулируемыми являются вопросы управления их качеством. В работе предложены способы и экспресс-комплекты контроля качества моторных масел и светлых нефтепродуктов. Разработан состав промывочного масла со свойствами, приближёнными к товарным промывочным маслам, а также технологический процесс промывки системы смазки отработанным моторным маслом (ОММ) без его слива из картера двигателя и использования специального оборудования для очистки. Разработана ресурсосберегающая технология послеремонтной обкатки двигателей тракторов с многократным использованием приработочного масла с кристаллами карбамида, улучшающими процесс удаления микронеровностей с деталей и повышающими смазывающие свойства приработочного масла. Ее использование позволяет сократить затраты на приобретение приработочных масел на 50 – 60 %, решить задачи утилизации ОММ, увеличить межремонтный ресурс двигателя. Разработан технологический процесс получения пластичных смазок на основе глубокоочищенных ОММ по своим реологическим и физико-химическим характеристиками близких или превосходящих смазку Солидол Ж. Сравнительные испытания показали, что температура нагрева узла подшипника-скольжения при использовании экспериментальной смазки на 7 – 8 °С ниже, чем для товарного Солидола Ж. Предложена новая многофункциональная смазочная композиция, которая содержит наноразмерные элементы дисульфида молибдена и сплава порошков фосфора, латуни, смешанные с водным раствором аммиака и карбамида в минеральном масле, способная повышать эксплуатационный характеристики работающего моторного масла и обеспечивать снижение износа деталей за счёт формирования защитной плёнки на поверхностях трения. Ее производственные испытания показали возможность продления срока службы моторного масла на 15 – 20 % и увеличение межремонтного ресурса двигателя на 25 – 30 %. Разработаны технологии получения биодобавок к моторным топливам из различного сырья, которые повышают противоизносные свойства на 15 – 30 %, по сравнению с исходным топливом, и снижают эмиссию вредных веществ отработавших газов на 18 – 20 %.*

Ключевые слова*: моторное масло, дизельное топливо, качество, загрязненность, двигатель, ресурс, наработка, эксплуатация.*

ACTUAL PROBLEMS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF USE FUELS AND LUBRICANTS IN AIC

[1]Ostrikov Valery
[1]Kornev Alexey
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *Analysis of topical problems of increasing the efficiency of use of fuels and lubricants in the agro-industrial complex showed that the priority and difficult to regulate are the issues of their quality management. Methods and express kits for quality control of motor oils and light petroleum products are proposed in the work. The composition of the flushing oil with properties close to the commercial flushing oils, as well as the technological process of flushing the lubrication system with used engine oil (OMM) without draining it from the engine crankcase and using special cleaning equipment, were developed. A resource-saving technology of post-repair running-in of tractor engines with repeated use of running-in*

oil with urea crystals, which improve the process of removing microroughnesses from parts and increase the lubricating properties of the running-in oil, has been developed. Its use makes it possible to reduce the cost of purchasing running-in oils by 50 - 60%, to solve the problems of recycling OMM, and to increase the engine's overhaul life. The technological process for the production of greases based on deep-purified OMMs by their rheological and physicochemical characteristics, which are close to or superior to Solidol Zh grease, was developed. Comparative tests have shown that the heating temperature of the sliding bearing unit when using experimental grease is 7 - 8 ° C lower than for commercial Solidol Zh. A new multifunctional lubricant composition is proposed, which contains nanosized elements of molybdenum disulfide and an alloy of phosphorus powders, brass, mixed with an aqueous solution of ammonia and urea in mineral oil, capable of increasing the performance characteristics of a working engine oil and ensuring a decrease in wear of parts due to the formation of a protective film on friction surfaces. Its production tests showed the possibility of extending the service life of the engine oil by 15 - 20% and increasing the engine overhaul life by 25 - 30%. Technologies for obtaining bioadditives to motor fuels from various raw materials, which increase antiwear properties by 15 – 30 %, compared with the original fuel, and reduce the emission of harmful substances in exhaust gases by 18 - 20% was developed.

Keywords: *engine oil, diesel fuel, quality, pollution, engine, resource, operating time, operation*.

Введение. Современное сельскохозяйственное производство остается одним из основных потребителей нефтепродуктов в стране, несмотря на сокращение и изменение структуры парка машин. При производстве сельскохозяйственной продукции наибольшая доля затрат приходится на топливо и смазочные материалы [1 – 3].

Рассматривая проблемы использования в АПК нефтепродуктов первоочередными и сложно регулируемыми являются вопросы управления качеством топлив и масел. По заявлениям специалистов нефтеперерабатывающей отрасли состав и свойства дизельных топлив и моторных масел совершенствуются, а контроль качества продукции на предприятиях ежегодно улучшается. Однако по фактам проверки и мониторинга качества используемых нефтепродуктов более чем в 50 пробах из 100 дизельное топливо и моторное масло имеют значительные отклонения от требований стандартов [3 – 6]

Данные факты объясняются, прежде всего, финансовыми трудностями хозяйств, вынужденных приобретать топлива и масла у коммерческих структур по более низким ценам, а не у крупных дилеров и поставщиков.

Неудовлетворительное техническое состояние и оснащенность нефтескладов и нефтебаз хозяйств приводят к ухудшению состава и свойств даже высококачественных топлив и смазочных материалов [6 – 10]

Помимо всего прочего снизившейся технический уровень ремонтно-обслуживающей базы хозяйств и «стареющего» парка машин способствует увеличению расхода топлива и масел в процессе выполнения сельскохозяйственных работ.

У большинства сельхозпредприятий отсутствуют элементарные средства контроля качества нефтепродуктов из-за высокой цены приборов контроля и отсутствия профессиональных навыков у инженерных служб хозяйств для работы со сложным оборудованием.

Материалы и методы. Работы проводилась с использованием как стандартных, так и специальных частных методик исследований с применением современного исследовательского оборудования. Основные физико-химические и эксплуатационные характеристики, такие как вязкость, плотность, кислотное и щелочное число, содержание механических примесей, нерастворимого осадка и др., определялись с помощью методов, утвержденых ГОСТ. Производственные испытания приработочного масла и технологического процесса обкатки ДВС с использованием отработанного моторного масла проводились в условиях ремонтной мастерской хозяйства и участка обкатки двигателей тракторов ремонтно – технического предприятия.

Результаты и их обсуждение. Одним из наиболее простых и доступных методов борьбы с приобретением и использованием некачественных нефтепродуктов является их экспресс-анализ непосредственно у потребителя. Данная мера кардинально не решает всех проблем, но тем не

менее позволяет снизить риск приобретения некачественных нефтепродуктов и их использования в сельскохозяйственной технике.

ФГБНУ ВНИИТиН совместно с рядом ведущих НИИ и ВУЗов, таких как ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Саратовским ГАУ, Воронежским ГАУ, на протяжении ряда лет занимаются разработкой доступных и достаточно информативных экспресс-методов и оборудования для контроля качества топлив и масел. Однако широкого внедрения данные разработки не получили по ряду известных субъективных и объективных причин. В первую очередь это связано со сложностью аккредитации экспресс – методов на государственном уровне и отсутствием финансовых возможностей для реализации серийного производства средств экспресс-контроля качества топлив и масел.

Представляет интерес разработанный ФГБНУ ВНИИТиН способ и экспресс-комплект контроля качества моторных масел для оценки содержания присадок и замены работающих моторных масел по фактическому состоянию. Широкая апробация экспресс-комплекта показала состоятельность и достаточно высокую информативность при затратах на проведение анализа, стоимость проведение которого не превышает стоимости одного литра моторного масла.

Достаточно одной капли приобретаемого моторного масла, помещаемой в сосуд с реагентами, чтобы иметь информацию о соответствии его по содержанию антиокислительных и противоизносных присадок требованиям стандартов на качественное моторное масло.

Периодический контроль данным способом загрязненного, работающего в двигателе, моторного масла позволяет предотвратить интенсивный износ деталей двигателя и произвести замену масла не по наработке, а по фактическому состоянию. Данная операция может быть совмещена с поведением регламентных работ по диагностике и техническому обслуживанию трактора.

Использование экспресс-комплектов контроля качества масел особенно актуально при эксплуатации изношенной техники, работающей при высоких нагрузочных и температурных режимах, на топливах с отклонениями от требований ГОСТ, когда срабатывание присадок интенсифицируется, а срок службы до замены уменьшается по сравнению с установленным регламентом.

Еще одна разработка ФГБНУ ВНИИТиН – переносной комплект ЭЛТ-1, содержащий средства экспресс-анализа светлых нефтепродуктов. С его помощью можно определить основные физико-химические и эксплуатационные показатели автомобильных бензинов и дизельного топлива, а также некоторые характеристики биотоплив и смесевых топлив. ЭЛТ-1 содержит набор приборов, химической посуды и реактивов, позволяющих провести 200 анализов и может быть развернута и использована как в полевых условиях, так и в помещениях.

В процессе работы сельхозмашин на топливах и маслах с отклонениями от требований стандартов в системе смазки и на деталях цилиндро-поршневой группы образуется значительное количество отложений смол, шламов, твердых коксообразных загрязнений, ухудшающих эксплуатационных характеристики двигателей [11 – 14].

Снижение уровня оснащенности ремонтно-обслуживающей базы в хозяйствах свели практически на нет операцию промывки системы смазки при выполнении операции технического обслуживания при замене отработавших свой срок моторных масел. Использование специальных промывочных масел для очистки системы смазки от загрязнений не нашло широкого применения в сельскохозяйственном производстве из-за высоких цен на подобного рода технические жидкости и их не всегда высокой эффективности.

Проведенными ФГБНУ ВНИИТиН исследованиями установлено, что замена отработавших масел на свежие без проведения операции предварительной промывки системы смазки снижает срок службы свежезаправленного масла и увеличивает затраты на эксплуатацию и ремонт двигателей тракторов.

На рисунке 1 представлены усредненные данные и изменения физико-химических характеристик моторного масла от времени его работы (100 часов) в двигателе тракторов при условии замены масла без промывки системы смазки и с предварительной промывкой специальным промывочным маслом.

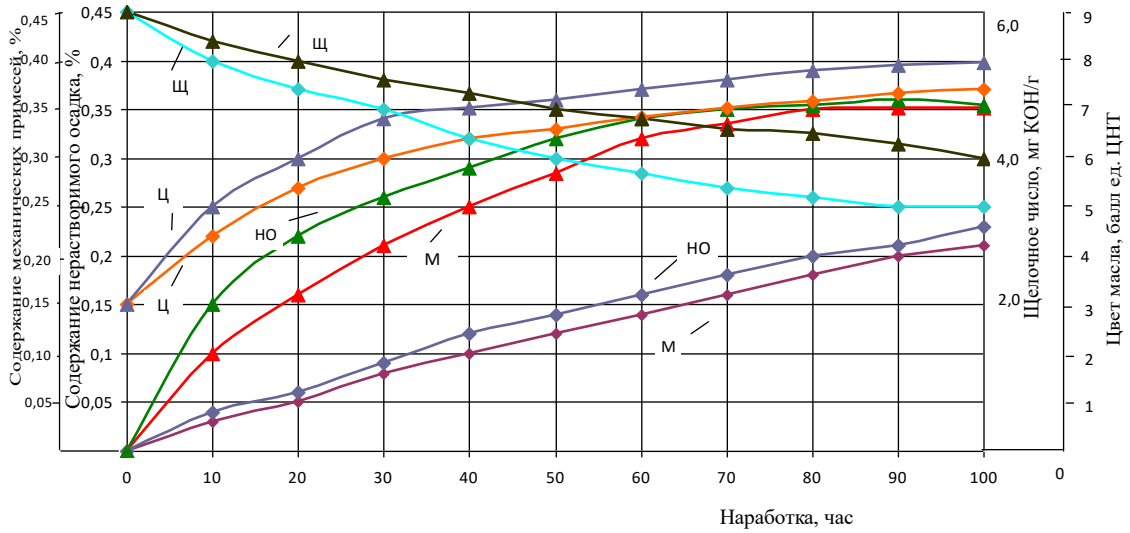


Рисунок 1 – Зависимость изменения физико – химических характеристик моторных масел от наработки после замены в условиях с промывкой (Δ) и без предварительной промывки двигателя (•)

Анализируя полученные зависимости в первом приближении можно утверждать, что в двигателях, где проводилась предварительная промывка системы смазки, моторные масла достигнут своих браковочных значений за более длительное время, соответственно срок их службы до замены будет более высоким. То есть эффект от промывки системы смазки бесспорен.

Остаётся нерешённой задача снижения затрат на процесс промывки, так как применение товарного промывочного масла значительно увеличивает затраты на проведение операции замены масла. В связи с чем была выдвинута гипотеза о возможности использования в качестве промывочных масел отработанных моторных масел. Многолетний опыт исследования и полученные положительные результаты по разработке способов очистки отработанных масел с их осветлением явились основаниями для разработки нового состава промывочного масла, когда в качестве основы промывочного масла используется очищенное с осветлением отработанное моторное масло, а в качестве моющих присадок доступные, недорогие реагенты. Состав по упрощённой технологии готовится в условиях ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий без использования сложного оборудования.

В таблице 1 представлены результаты сравнительных испытаний разработанного состава промывочного масла и товарного промывочного масла в двигателе тракторов МТЗ-1221.

Таблица 1 – Показатели изменения свойств промывочных масел и характеристик двигателей тракторов.

Показатели	Товарное масло		Разработанный состав	
	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
Вязкость кинематическая, при 100ºС, мм^2/с	8,0	8,2	9,8	10,2
Содержание нерастворимого осадка, %	Отс	0,18	0,01	0,22
Щелочное число, мг КОН/г	2,1	2,0	4,5	4,3
Цвет, балл, ед ЦНТ	3	5	4,5	7
Среднее значение компрессии, кгс/см^2	18	19	17	22
Расход топлива, л/час	12,9	12,1	13,6	11,4
Давление масла, кгс/см^2	1,6	2,0	1,7	2,3

В период наработки до замены масла трактора работали в аналогичных условиях на одном и том же топливе, а их техническое состояние оценивалось специалистами инженерных служб хозяйства как равноценное.

Оценивая полученные результаты следует отметить, что состав промывочного масла обладает свойствами и характеристиками, приближёнными к товарным промывочным маслам.

Аналогично изменились и характеристики двигателей после промывки системы смазки. Компрессия в цилиндрах увеличилась, расход топлива незначительно снизился.

В продолжение данного направления исследований в 2019 году разработали технологический процесс промывки системы смазки отработанным моторным маслом без его слива из картера двигателя и без использования специального оборудования для очистки загрязнённого масла.

Сущность процесса заключается в следующем: на первом этапе в разогретое в двигателе до 70 ^{o}C загрязнённое, отработавшее свой срок моторное масло вносятся разделяющие агенты через заливную горловину картера. Двигатель запускается и работает на оборотах 1200 – 1500 об/мин в течение 30 – 40 мин.

Через каждые 5 минут работ с помощью щупа извлекается капельная проба масла, и на фильтровальной бумаге оценивается загрязнённость масла и его цвет. По достижении цвета масла, близкого к товарному (жёлтое пятно), двигатель останавливается и проводится очистка центрифуги системы смазки от загрязнений.

Далее в очищенное масло через заливную горловину вносится смесь моющих реагентов. Двигатель запускается и работает 5 – 10 мин. На минимальных оборотах. После чего обороты увеличиваются циклично от 1000 до 1500 об/мин. Продолжительность и эффективность процесса промывки системы смазки определяется посредством анализа изменения физико-химических характеристик масла и показателей работы двигателя (давление в системе смазки, расход топлива). После завершения операции промывки системы смазки масло из картера двигателя сливается и заправляется товарное масло.

Как показали предварительные испытания, время изменения цвета свежезаправленного масла после промывки системы смазки с жёлтого (на щупе) до тёмного увеличивается в 3,5 раза.

Очистка отработавшего свой срок моторного масла по разработанным ФГБНУ ВНИИТиН технологиям не ограничивается его применением в качестве гидравлического масла, сырья для получения вторичных масел и смазок.

В 2017-2018 гг. ФГБНУ ВНИИТиН совместно с ремонтно-техническим предприятием «Некрасовское» Рассказовского района Тамбовской области разработало ресурсосберегающую технологию послеремонтной обкатки двигателей тракторов.

Особенностью данной технологии является многократное использование приработочного масла и включения в его состав кристаллов карбамида дисперсного размера 0,5 – 1 мкм.

На первом этапе в товарное приработочное масло с помощью перемешивающего устройства вносится измельчённый карбамид. Смесь перемешивается в течение 10 – 15 минут и заправляется в двигатель, установленный на обкаточном стенде.

Отличительной характеристикой данного подхода является способность кристаллов карбамида, в период холодной обкатки, выполнить роль «мягкого» абразивного материала, улучшающего процесс удаления микронеровностей с отработанных деталей (шеек коленчатого вала после расточки и шлифовки) и последующим переход карбамида в период «горячей» обкатки и его расплавление в добавку, повышающую смазывающие свойства приработочного масла.

После завершения операции обкатки масло с двигателя сливается и подвергается очистки от механических примесей, воды, продуктов окисления на установке УОМ-3М ФГБНУ ВНИИТиН.

По истечении 30 – 40 минут очистки масло по своим физико-химическим характеристикам соответствует требованиям, предъявляемым к товарным маслам.

Продолжительность обкатки 1,5 – 2 часа практически не влияет на изменение свойств масла, кроме его загрязнённости. Состав присадок, входящих в приработочное товарное масло, за одну обкатку двигателя изменяется на 5 – 8 %, что даёт возможность его многократного использования.

Использование разработанной технологии послеремонтной обкатки двигателей тракторов позволяет сократить затраты на приобретение приработочных масел на 50 – 60 %, снизить напряжённость решения задач скопления отработанных масел и их утилизации, увеличить межремонтный ресурс двигателя.

Как уже отмечалось, несмотря на повышение качества и ассортимента некоторых видов нефтепродуктов, выпускаемых крупными отечественными и зарубежными компаниями, в сельскохозяйственном производстве пока наиболее востребованными остаются масла и смазки, разработанные в 70 – 80-х годах прошлого столетия. Среди них особенно стоит выделить надёжность и «незаменимость» пластичных смазок Литол-24 и Солидол Ж.

В основе этих продуктов, как известно, присутствуют дисперсионная среда и дисперсная фаза. В качестве дисперсионной среды используют базовые масла, чаще всего индустриальные, а в качестве дисперсной фазы – кальциевые и литиевые мыла, добавки и присадки.

ФГБНУ ВНИИТиН проведены исследования и разработан технологический процесс получения пластичных смазок на основе глубокоочищенных отработанных моторных масел в качестве дисперсионной среды взамен индустриального масла. Отличительной положительной особенностью глубокоочищенного отработанного моторного масла по сравнению с индустриальным маслом является более высокие эксплуатационные свойства первого. В очищенном отработанном моторном масле содержится 15 – 20 % несработавших антиокислительных, противокоррозионных, противозадирных присадок, что делает его более предпочтительным при рассмотрении в качестве дисперсионной среды.

В таблице 2 представлены характеристики наиболее широко используемых в сельскохозяйственном производстве пластичных смазок и их аналога, приготовленного на основе очищенного отработанного моторного масла М-10$Г_2$ в качестве дисперсионной среды.

Таблица 2 – Реологические и физико-химические характеристики пластичных смазок Солидол Ж, Литол-24 и их аналога на основе очищенного отработанного моторного масла

Наименование пластичной смазки	Температура каплепадения, °С	Вязкость при 0 °С и 10 $с^{-1}$, Па-с	Пенетрация при 25 °С, х10^{-1} мм	Предел прочности при 20 °С, Па
Солидол Ж	75-87	250	230-290	300-600
Литол-24	≥185	280	220-250	500-1000
Экспериментальная смазка	140	240	230	500

Анализируя составы установлено, что экспериментальная пластичная смазка на основе отработанного моторного масла по своим реологическим и физико-химическим характеристиками близка к смазке Солидол Ж, а по некоторым показателям даже превосходит её. Сравнительные испытания смазок Солидол Ж и экспериментальной в подшипниках скольжения жатки показали, что температура нагрева узла подшипника при использовании экспериментальной смазки была на 7 – 8 °С ниже, чем при работе параллельно работающего узла трения на товарном Солидоле Ж.

Как известно, восстановление изношенных узлов трения требует значительных затрат или их замены на новые. В последнее десятилетие большее внимание привлекают новые технологии продления сроков службы машин за счёт использования добавок к маслам – трибопрепаратов. Их использование в сельскохозяйственной технике сопряжено с рядом проблем:

– высокая стоимость и затратность на приобретение при использовании в узлах и агрегатах тракторов;

– отсутствие чётких нормативных рекомендаций использования в зависимости от степени износе узлов трения, границ эффективности использования;

– отсутствие однозначных критериев определения эффекта снижения износа или восстановления поверхностей трения.

ФГБНУ ВНИИТиН на протяжении более 5 лет проводит исследования и оценку эффективности действия различного рода трибопрепаратов, ремонтно-восстановительных составов на машинах трения, в стендовых условиях и непосредственно в двигателях тракторов.

На основании проведённых исследований установлено:

– не все трибопрепараты, ремонтно-восстановительные составы способствуют снижению износа и восстановлению поверхностей трения;

– внесение трибопрепаратов, добавок, реметаллизантов, ремонтно-восстановительных составов не обеспечивает продление сроков службы моторных масле, а в некоторых случаях уменьшает их;

– после «обработки» поверхностей трения ДВС образующаяся плёнка снижает эффективность отвода тепла от деталей ЦПГ;

– наблюдается неравномерность образования плёнок на поверхностях трения.

На основании результатов проведённых ФГБНУ ВНИИТиН исследований, анализа большого количества данных исследований, проводимых в различных НИИ и научных центрах, предложена новая многофункциональная смазочная композиция (МСК). Смазочная композиция содержит наноразмерные элементы дисульфида молибдена и сплава порошков фосфора, латуни, смешанные

с водным раствором аммиака и карбамида в минеральном масле. Состав смазочной композиции разрабатывался совместно со специалистами Саратовского ГАУ.

Отличительной особенностью МСК является его способность повышать эксплуатационный характеристики работающего моторного масла и обеспечивать снижение износа деталей за счёт формирования защитной плёнки на поверхностях трения.

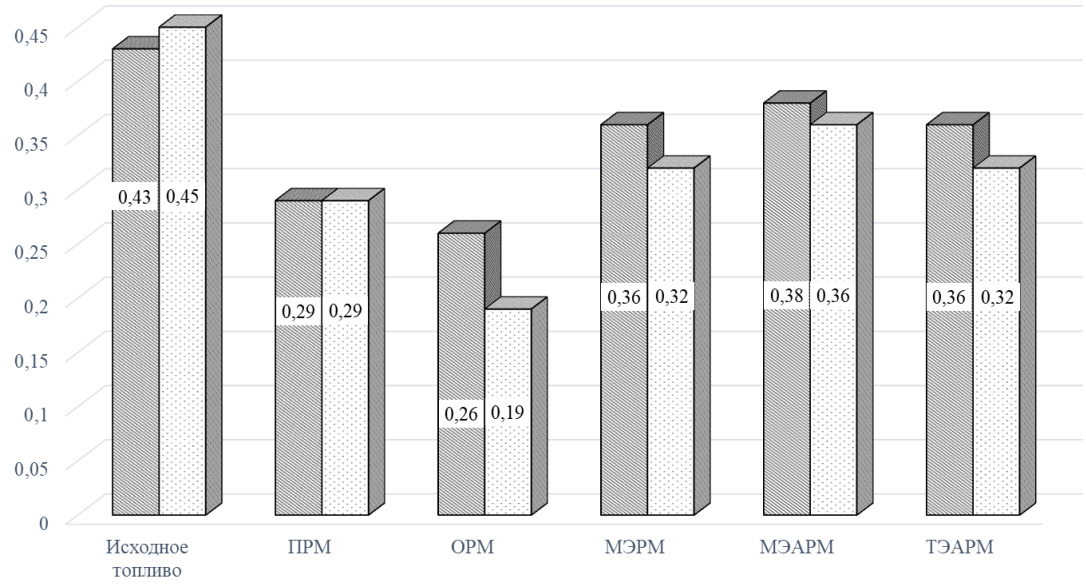
Проведённые производственные испытания МСК показали возможность продления срока службы моторного масла на 15 – 20 % и увеличение межремонтного ресурса двигателя на 25 – 30 %.

В последнее время все большее внимание в нашей стране уделяется экологизации производства, что особенно важно в сельском хозяйстве, при создании натуральных органических продуктов питания. Важной составной частью этого процесса является переход на использование топлив с улучшенными экологическими характеристиками. В процессе глубокой очистки нефтяных дистиллятов и получения топливных фракций происходит удаление соединений, способных защищать поверхности трения от износа. Это ухудшает смазывающую способность топлив, которое помимо своей основной энергетической функции выполняет роль смазочного материала деталей топливной аппаратуры [5, 6, 14, 15]. Традиционным способом улучшения смазывающих свойств служит использование специальных присадок, которые добавляются в топлива на заводе в процессе реализации технологического цикла его получения. Химическая природа и количество таких соединений достаточно велико, но промышленно используется только малая часть преимущественно иностранного производства [16, 17].

Однако существует и другой подход, предлагающий вносить специальные соединения в топлива в процессе эксплуатации техники непосредственно у потребителя.

В ФГБНУ ВНИИИТиН проводятся поиски и исследование перспективных соединений, способные оказать положительное влияние на свойства дизельных топлив, например фторорганические поверхностно-активные вещества, углеродные наноматериалы, продукты полимеризации, переэтерификации и аминолиза растительных масел.

Разработаны технологии получения биодобавок к минеральным дизельным топливам из различного сырья. Эти соединения хорошо показывают себя в плане улучшения противоизносных свойств, повышая их по сравнению с исходным топливом на 15 – 30 % и даже больше (рисунок 2).



ПРМ – полимеризованное растительное масло; ОРМ – оксидированное растительное масло; МЭРМ – метиловый эфир растительного масла; МЭАРМ – моноэтаноламид растительного масла; ТЭАРМ – триэтаноламид растительного масла

Рисунок 2 – Изменение смазывающей способности дизельного топлива после внесения 1 % добавок на основе растительного масла

Кроме того, полученные биодобавки снижают эмиссию вредных веществ отработавших газов. Например, содержание CO и CH, при использовании топлив с разработанными добавками уменьшается на 18 – 20 %.

Заключение. Таким образом, на основании результатов собственных наблюдений и проведённых исследований, анализа данных, приводимых различными научными центрами и машинно-испытательными станциями ФГБНУ ВНИИТиН обозначены актуальные проблемы повышения эффективности использования топлив и смазочных материалов в АПК и разработаны варианты их решения, представляющие научный и практический интерес.

Список литературы

1. Пуляев Н.Н., Виноградов О.В., Карелина А.С., Коротких Ю.С. Научные основы нефтепродуктообеспечения в сельском хозяйстве. – М.: ООО «Автограф». – 2017. – 120 с.

2. Сазонов С.Н. Структура и динамика затрат в фермерских хозяйствах. // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2018. – Том 8. – № 8А. – С. 112 – 120.

3. Чекмарев П.А. О состоянии машинно-тракторного парка, совершенствовании работы инженерно-технических служб АПК и задачах в рамках реализации Госпрограммы на 2013 – 2020 годы. / URL: http://irkobl.ru/sites/agroline/02_Chekmarev_31_01_Итог_.pdf (дата обращения 04.12.2020 г).

4. Яркин А.В., Левитин Р.Е., Трясцин Р.А., Осташков Д.В.. О качестве топлива на автомобильных заправках / В сборнике «Нефть и газ. Новые технологии в системах транспорта»: матер. регион. науч.-прак. конф. – 2004. – С. 162 – 164.

5. Остриков В.В., Лопатин А.М., Бышов Н.В., Пащенко В.М., Ванцов В.И., Лунин Е.В. Топливо и смазочные материалы. – Рязан. – 2005. – 220 с.

6. Уразгалеев Т.К., Остриков В.В., Коваленко В.П. и др. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. – Уральск. – 2011. – 380 с.

7. Нагорнов С.А. и др. Повышение эффективности работы нефтехозяйств в АПК: Научное издание. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2008. – 168 с.

8. Богданов В.С., Пуляев Н.Н., Коротких Ю.С. Обеспечение качества топливно-смазочных материалов при хранении – резерв повышения ресурса машин в АПК. – М.: ООО «УМЦ «Триада» – 2014. – 234 с.

9. Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т. Анализ причин снижения качества топлив, используемых отечественными сельскохозяйственными предприятиями. / В сборнике: Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве. – 2016. – С. 117 – 122.

10. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Чижиков А.Г. Снижение потерь моторных топлив при хранении на сельских нефтескладах / Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2014. – Т. 3. – С. 219 – 223.

11. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. – Москва: Химия. – 1969. – 228 с.

12. Венцель С.В. Применение смазочных масел в ДВС. – М.: Химия. – 1979. – 150 с.

13. Григорьев М.А. Качество моторного масла и надежность деталей. – Москва: Машиностроение. – 1981. – 230 с.

14. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. – Москва: Техинформ. – 1999. – 596 с.

15. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в двигателях внутреннего сгорания. – Москва: Машиностроение. – 1970. – 217 с.

16. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. 3-е изд., доп. – СПб.: Химиздат. – 2010. – 368 с.

17. Данилов А.М. Присадки к топливам как решение химмотологических проблем // Химия и технология топлив и масел. – 2014. – № 5. – С. 31 – 35.

References

1. Puljaev N.N., Vinogradov O.V., Karelina A.S., Korotkih Ju.S. Nauchnye osnovy nefteproduktoobespechenija v sel'skom hozjajstve. – M.: OOO «Avtograf». – 2017. – 120 s.

2. Sazonov S.N. Struktura i dinamika zatrat v fermerskih hozjajstvah. // Jekonomika: vchera, segodnja, zavtra. – 2018. – Tom 8. – № 8A. – S. 112 – 120.

3. Chekmarev P.A. O sostojanii mashinno-traktornogo parka, sovershenstvovanii raboty inzhenerno-tehnicheskih sluzhb APK i zadachah v ramkah realizacii Gosprogrammy na 2013 – 2020 gody. / URL: http://irkobl.ru/sites/agroline/02_Chekmarev_31_01_Itog_.pdf (data obrashhenija 04.12.2020 g).

4. Jarkin A.V., Levitin R.E., Trjascin R.A., Ostashkov D.V.. O kachestve topliva na avtomobil'nyh zapravkah / V sbornike «Neft' i gaz. Novye tehnologii v sistemah transporta»: mater. region. nauch.-prak. konf. – 2004. – S. 162 – 164.

5. Ostrikov V.V., Lopatin A.M., Byshov N.V., Pashhenko V.M., Vancov V.I., Lunin E.V. Toplivo i smazochnye materialy. – Rjazan. – 2005. – 220 c.

6. Urazgaleev T.K., Ostrikov V.V., Kovalenko V.P. i dr. Toplivo, smazochnye materialy i tehnicheskie zhidkosti. – Ural'sk. – 2011. – 380 c.

7. Nagornov S.A. i dr. Povyshenie jeffektivnosti raboty neftehozjajstv v APK: Nauchnoe izdanie. – M.: FGNU «Rosinformagroteh». – 2008. – 168 s.

8. Bogdanov V.S., Puljaev N.N., Korotkih Ju.S. Obespechenie kachestva toplivno-smazochnyh materialov pri hranenii – rezerv povyshenija resursa mashin v APK. – M.: OOO «UMC «Triada» – 2014. – 234 s.

9. Kornev A.Ju., Nagornov S.A., Alibaev B.T. Analiz prichin snizhenija kachestva topliv, ispol'zuemyh otechestvennymi sel'skohozjajstvennymi predprijatijami. / V sbornike: Povyshenie jeffektivnosti i jekologicheskie aspekty ispol'zovanija resursov v sel'skohozjajstvennom proizvodstve. – 2016. – S. 117 – 122.

10. Nagornov S.A., Romancova S.V., Chizhikov A.G. Snizhenie poter' motornyh topliv pri hranenii na sel'skih nefteskladah / Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii Jenergoobespechenie i jenergosberezhenie v sel'skom hozjajstve. – 2014. – T. 3. – S. 219 – 223.

11. Vencel' C.B. Primenenie smazochnyh masel v avtomobil'nyh i traktornyh dvigateljah. – Moskva: Himija. – 1969. – 228 s.

12. Vencel' S.V. Primenenie smazochnyh masel v DVS. – M.: Himija. – 1979. – 150 s.

13. Grigor'ev M.A. Kachestvo motornogo masla i nadezhnost' detalej. – Moskva: Mashinostroenie. – 1981. – 230 s.

14. Shkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tehnicheskie zhidkosti. – Moskva: Tehinform. – 1999. – 596 s.

15. Grigor'ev M.A. Ochistka masla i topliva v dvigateljah vnutrennego sgoranija. – Moskva: Mashinostroenie. – 1970. – 217 s.

16. Danilov A.M. Primenenie prisadok v toplivah. 3-e izd., dop. – SPb.: Himizdat. – 2010. – 368 s.

17. Danilov A.M. Prisadki k toplivam kak reshenie himmotologicheskih problem // Himija i tehnologija topliv i masel. – 2014. – № 5. – S. 31 – 35.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery – Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Kornev Alexey – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 12.10.2020 Принята к публикации (Accepted): 18.12.2020

УДК 51-7: 62-97/-98
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-6-100-110

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСОЛЬНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО НОЖА

[1]Петрашев Александр Иванович
[2]Таха Фирас

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]Технический университет Аль-Фурат Аль-Авсат – Технический колледж Аль-Муссаиб

Реферат. *Потребность в консервационных составах для защиты от коррозии сельскохозяйственной техники можно обеспечить путем их малотоннажного производства в цехах технического сервиса. Выявлена необходимость оснащения таких цехов оборудованием для резки твердых компонентов консервационных составов, упакованных в брикеты или картонные барабаны. Предложена конструктивно-технологическая схема компактного консольного гидравлического ножа для резки брикетов, содержащего раму, основание, стол, режущую пластину на двух поворотных консолях и гидроцилиндры, соединенные с рамой и консолями. Аналитически исследована кинематическая схема предлагаемого ножа и обоснована связь вертикального хода режущей пластины с длиной консоли, углами наклона консоли к плоскости стола в нижнем и верхнем положениях. Установлено, что при движении консольного ножа сверху вниз сила резания компонента может снизиться в 1,33 раза. При этом в процессе резания консольным гидравлическим ножом брикет с компонентом будет неподвижным при условии, что тангенс угла наклона консоли в верхнем положении не превысит коэффициента сцепления отрезаемого компонента со столом. Из условия устойчивости брикета в процессе резания определена максимальная высота резки в зависимости от длины консоли, угла ее наклона в нижнем положении и коэффициента сцепления. Обоснованы выражения для расчета производительности ножа, силы и затрат мощности на резку компонента как функции давления и производительности гидронасоса, параметров гидроцилиндра и консоли. Получена эмпирическая формула для определения вертикального хода режущей пластины в зависимости от длины консоли и рычага, величины хода штока гидроцилиндра и коэффициента хода ножа. Зависимости, полученные в результате математического моделирования, рекомендуется использовать при обосновании рациональных параметров компактного гидравлического ножа.*

Ключевые слова*: твердый компонент, компактный гидравлический нож, высота резки.*

MODELING OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE CANTILEVER HYDRAULIC KNIFE

[1]Petrashev Alexandr
[2]Taha Firas

[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]Al-Furat Al-Awsat Technical University – Technical Collage of Al-Mussaib

Abstract. *The need for preservatives to protect against corrosion of agricultural machinery can meet by their low-tonnage production in technical service shops. The need to equip such workshops with equipment for cutting solid components of preservatives packed in briquettes or cardboard drums was identified. A structural and technological scheme of a compact cantilever hydraulic knife for cutting briquettes, containing a frame, a base, a table, a cutting plate on two swivel consoles and hydraulic cylinders connected to the frame and consoles, is proposed. The kinematic scheme of the proposed knife is investigated analytically and the relationship between the vertical stroke of the cutting plate and the length of the cantilever, the angles of inclination of the cantilever to the plane of the table in the lower and upper positions is justified. It was found that when the cantilever-lever knife moves from top to bottom, the cutting force of the component can decrease by 1.33 times. In this case, the briquette of a component in the process of cutting with a cantilever hydraulic knife will be stationary, if the slope*

tangent of the cantilever in the upper position does not exceed the coefficient of adhesion of the cut component to the table. The maximum cutting height is determined from the condition of the stability of the briquette during the cutting process, depending on the length of the console, its angle of inclination in the lower position and the coefficient of adhesion. Expressions for calculating the performance of a knife, force and power consumption for cutting a component, depending on the pressure and performance of the hydraulic pump, the parameters of the hydraulic cylinder and the console, have been substantiated. An empirical formula for determining the vertical stroke of the cutting insert depending on the length of the console and the lever, the amount of stroke of the hydraulic cylinder and the coefficient of the knife stroke were obtained. The dependences obtained as a result of mathematical modeling are recommended to be used when justifying the rational parameters of a compact hydraulic knife.

Keywords: *solid component, compact hydraulic knife, cutting height.*

Введение. Противокоррозионную защиту рабочих органов почвообрабатывающей техники в период постановки на длительное хранение рационально выполнять отработанными автотракторными маслами, которые загущаются присадками Эмульгин (кубовыми аминами) или КО-СЖК (кубовыми остатками синтетических жирных кислот) [1, 2, 3]. По-прежнему, при консервации посевных и уборочных машин широко используют битумные составы [4], более дешевые, чем промышленные автомобильные мастики, но уступающие им по защитным свойствам. Эти составы получают, растворяя строительный битум в уайт-спирите, бензине или дизельном топливе. Для двухкомпонентного битумного состава (битум + растворитель) характерны низкие защитные свойства. Улучшить физико-механические и защитные свойства битумных покрытий можно, добавляя битумно-каучуковую или битумно-атактическую смеси [5], которые поставляются в бухтах, брикетах и коробках, а также присадку Эмульгин, расфасованную в картонные барабаны [6]. Присадка Эмульгин содержит не только загуститель в виде парафина, но и алифатические амины в качестве ингибитора (замедлителя) коррозии.

При производстве ингибированных консервационных составов, организуемом в цехах технического сервиса, необходимо применять компактное оборудование для резки твердых компонентов (битума, Эмульгина и др.) на мелкие куски. Однако, большинство известных машин для резки кип каучука, оснащенных механическим или гидравлическим приводом, по своим техническим и технологическим параметрам не могут там эффективно использоваться [6]. Необходимо разработать компактный гидравлический нож, способный обеспечивать надежную работу в цехах по малотоннажному производству консервационных составов и унифицированного по комплектующим изделиям с узлами гидравлических систем сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы. В работе использованы методы математического моделирования конструкционно-технологических параметров консольного гидравлического ножа для резки твердых компонентов в цехах с малотоннажным производством консервационных составов.

Моделирование кинематики консольного гидравлического ножа.

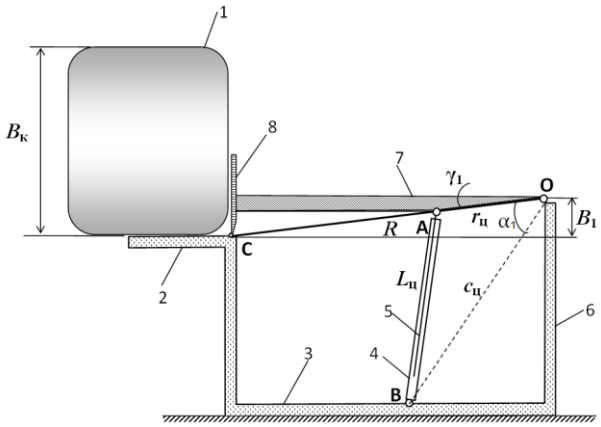
В связи с тем, что промышленные машины и ножи для резки кип каучука не подходят для использования в цехах с малотоннажным производством консервационных составов, предложена схема консольного гидравлического ножа (рисунок 1).

На схеме обозначены параметры: $r_ц$ – длина рычага АО; R – расчетная длина консоли СО;

$L_ц$ – длина гидроцилиндра АВ; α_1 – угол ∠АОВ; γ_1 – нижний угол наклона консоли СО к плоскости стола; $c_ц$ – расстояние между шарнирами О и В; B_1 – уровень шарнира О консоли относительно плоскости стола (точки С); $B_к$ – высота брикета твердого компонента;

Консольный гидравлический нож имеет общую раму с основанием 3, столом 2 и стойкой 6. Гидроцилиндр 4 со штоком 5, шарнирно соединенным с консолью 7 помещен на основание рамы (на шарнире В). На стойке 6 шарнирно одним концом закреплена консоль 7, к другому ее концу прикреплена режущая пластина 8. Твердый компонент 1 размещают на рабочем столе 2. Поворот консоли 7 с режущей пластиной 8 вверх и вниз осуществляют, управляя работой гидроцилиндра 4. Так как длина R консоли 7 больше длины $r_ц$ рычага АО, то величина вертикального перемещения режущей пластины 8 больше, чем ход штока 5 гидроцилиндра.

Установим связь между конструкционными параметрами консольного ножа при нижнем положении режущей пластины. С этой целью рассмотрим треугольник ⊿АОВ, для которого АВ = $L_ц$, АО = $r_ц$, ВО = $c_ц$, а угол ∠АОВ = α_1.



1 – брикет твердого компонента; 2 – стол; 3 – основание стола; 4 – гидроцилиндр; 5 – шток; 6 – стойка; 7 – консоль; 8 – режущая пластина

Рисунок 1 – Схема консольного ножа, режущая пластина в нижнем положении

По теореме косинусов [7]:

$$L_ц^2 = r_ц^2 + c_ц^2 - 2r_ц \cdot c_ц \cos \alpha_1.$$

Из этого выражения выделим cos α_1:

$$\cos \alpha_1 = \frac{r_ц^2 + c_ц^2 - L_ц^2}{2r_ц \cdot c_ц.}$$

Твердые компоненты поставляются упакованными в брикеты (битум и битумно-атактическая смесь) или картонные барабаны (присадки Эмульгин и КО-СЖК). Для разрезания брикета на части, выдвигают шток из гидроцилиндра и, поворачивая консоль, поднимают режущую пластину на высоту $B_к$, равную, как минимум, высоте брикета.

Рассмотрим консольный нож в верхнем положении (рисунок 2). В треугольнике $\triangle A_1OB$ длина стороны A_1B включает длину гидроцилиндра $L_ц$ и ход штока $L_ш$:

$$A_1B = L_ц + L_ш$$

Применив теорему косинусов, найдем:

$$\cos \alpha_2 = \frac{r_ц^2 + c_ц^2 - \left(L_ц + L_ш\right)^2}{2r_ц \cdot c_ц.}$$

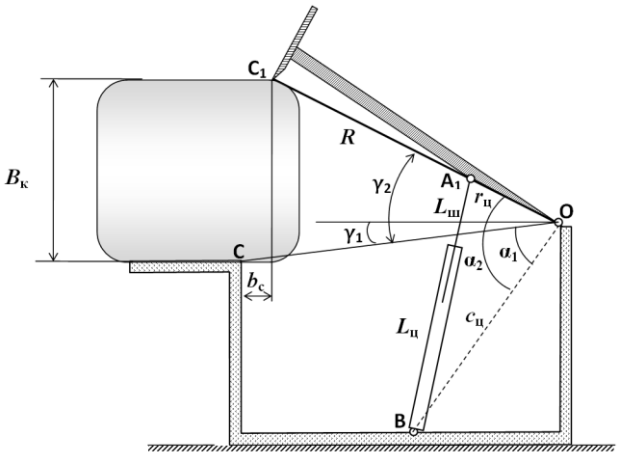


Рисунок 2 – Схема консольного ножа, когда режущая пластина в верхнем положении

При подъеме ножа из нижнего в верхнее положение консоль поворачивается на угол:

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1.$$

Из приведенной схемы угол $\Delta\alpha$ поворота консоли равен сумме углов:

$$\Delta\alpha = \gamma_1 + \gamma_2,$$

где γ_1 – нижний угол наклона консоли СО; γ_2 – верхний угол наклона консоли $С_1О$.

Приравняем оба выражения для угла $\Delta\alpha$:

$$\alpha_2 - \alpha_1 = \gamma_1 + \gamma_2.$$

Отсюда угол наклона консоли к плоскости стола в верхнем положении:

$$\gamma_2 = \Delta\alpha - \gamma_1. \quad (1)$$

Величину вертикального хода $B_к$ режущей пластины определяет уравнение:

$$B_к = R\sin\gamma_1 + R\sin\gamma_2 = R(\sin\gamma_1 + \sin\gamma_2). \quad (2)$$

С учетом формулы (2) выражение (1) примет вид:

$$B_к = R[\sin\gamma_1 + \sin(\Delta\alpha - \gamma_1)]. \quad (3)$$

Проведем тригонометрические преобразования второго слагаемого формулы (3):

$$\sin(\Delta\alpha - \gamma_1) = \sin\Delta\alpha\cos\gamma_1 - \cos\Delta\alpha\sin\gamma_1. \quad (4)$$

Подставляя формулу (4) в выражение (3), определим связь между основными параметрами рассматриваемой кинематической схемы: вертикальным ходом - $B_к$ режущей пластины и радиусом консоли - R:

$$B_к = R[\sin\gamma_1 + \sin\Delta\alpha\cos\gamma_1 - \cos\Delta\alpha\sin\gamma_1].$$

Отсюда найдем отношение $B_к/R$ хода режущей пластины к радиусу консоли:

$$\frac{B_к}{R} = (1 - \cos\Delta\alpha)\cdot\sin\gamma_1 + \sin\Delta\alpha\cdot\cos\gamma_1. \quad (5)$$

Формула (5) содержит трансцендентные (не алгебраические) функции, затрудняющие оценку степени влияния параметров $\Delta\alpha$, γ_1 на отношение $B_к/R$. Для графической интерпретации формулы (5) ограничимся углами наклона ($\gamma_1 = 9^o, 12^o, 18^o$) и углами поворота консоли $\Delta\alpha$ от 0^o до 60^o.

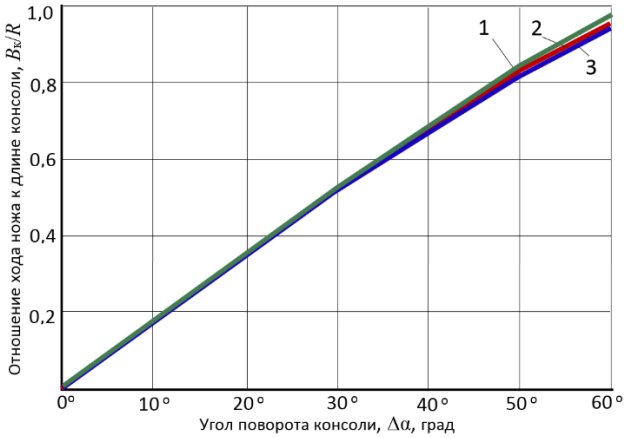


Рисунок 3 – Зависимость отношения $B_к/R$ от угла $\Delta\alpha$ поворота консоли, для углов наклона консоли γ_1, равных: 1 – 18^o; 2 – 12^o; 3 – 9^o

Расчеты по формуле (5), отраженные в виде графиков на рисунке 3, указывают на несущественное влияние углов γ_1 наклона консоли на отношение $B_к/R$. По данным рисунка 3, которые действительны для углов в диапазоне $9^o \le \gamma_1 \le 18^o$, зависимость отношения $B_к/R$ от угла $\Delta\alpha$ поворота консоли в интервале (0^o – 35^o) аппроксимируется с помощью следующей линейной функции [6]:

$$\frac{B_к}{R} = 0{,}017\cdot\Delta\alpha.$$

Из этой функции определим вертикальный ход $B_к$ режущей пластины:

$$B_к = 0{,}017R\cdot\Delta\alpha = 0{,}017R(\gamma_1 + \gamma_2). \quad (6)$$

В формуле (6) углы: $\Delta\alpha$, γ_1, γ_2 имеют размерность – градус.

Моделирование устойчивости брикета при разрезании консольным ножом.

Технология процесса измельчения компонента включает 2 этапа. На первом этапе разрезают целый брикет на крупные пласты, на втором - пласты измельчают до мелких кусков. Технологически более сложен 1-ый этап резки брикета на пласты, поэтому рассмотрим его более детально.

При высоте брикета $B_к$ происходит смещение проекция кромки режущей пластины за край стола на величину b_c [6]:

$$b_c = R\cos\gamma_1 - R\cos\gamma_2 = R(\cos\gamma_1 - \cos\gamma_2)\,. \quad (7)$$

Заменим в формуле (7) угол γ_2 выражением (1):

$$b_c = R[\cos\gamma_1 - \cos(\Delta\alpha - \gamma_1)]\,.$$

После проведения тригонометрических преобразований определим величину смещения b_c:

$$b_c = R[\cos\gamma_1 - \cos\Delta\alpha\cdot\cos\gamma_1 - \sin\Delta\alpha\cdot\sin\gamma_1]\,.$$

Отсюда найдем отношение (b_c/R):

$$\frac{b_c}{R} = (1-\cos\Delta\alpha)\cos\gamma_1 - \sin\Delta\alpha\cdot\sin\gamma_1\,. \quad (8)$$

Результаты расчетов, проведенные по формуле (8), для углов наклона консоли γ_1 = 9°, 12°, 15°, 18° и углов поворота консоли $\Delta\alpha$ в интервале от 0° до 60° показаны на рисунке 4.

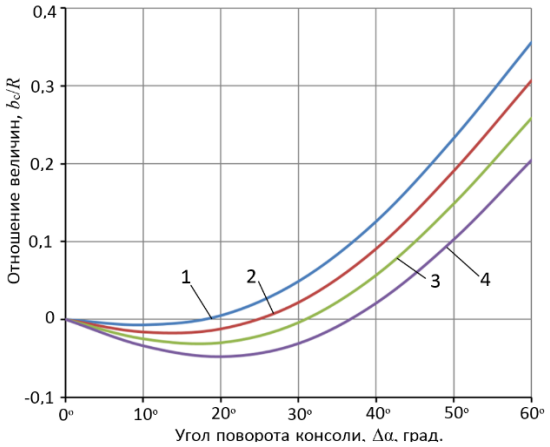


Рисунок 4 – Зависимость отношения величин b_c/R от угла $\Delta\alpha$ поворота консоли для углов γ_1, равных: 1 – 9°; 2 – 12°; 2 – 15°; 4 – 18°

Анализ представленных зависимостей $b_c/R = f(\Delta\alpha, \gamma_1)$ показывает, что для подъема консоли в начальный период характерно смещение отношения b_c/R в область отрицательных значений. Отрицательное значение величины смещения свидетельствует об удалении режущей пластины вглубь от края стола (от точки С) [6]. Например, для углов γ_1 = 9° и $\Delta\alpha$ = 10° отношение b_c/R = - 0,007; для углов γ_1 = 18° и $\Delta\alpha$ = 20° отношение b_c/R = - 0,048.

Поворот консоли на угол $\Delta\alpha_0$ характеризуется тем, что кромка режущей пластины подходит к точке *С*. Для угла поворота консоли – $\Delta\alpha_0$ отношение b_c/R = 0.

Чтобы определить угол поворота консоли $\Delta\alpha_0$ приравняем к нулю выражение (8):

$$(1-\cos\Delta\alpha_0)\cos\gamma_1 - \sin\Delta\alpha_0\cdot\sin\gamma_1 = 0,$$

и получим:

$$\frac{(1-\cos\Delta\alpha_0)}{\sin\Delta\alpha_0} = \operatorname{tg}\gamma_1\,. \quad (9)$$

Используя функцию половинного угла [7], зависимость (9) приведем к виду:

$$\frac{(1-\cos\Delta\alpha_0)}{\sin\Delta\alpha_0} = \operatorname{tg}\frac{\Delta\alpha_0}{2} = \operatorname{tg}\gamma_1\,. \quad (10)$$

Из уравнения (10) определим угол $\Delta\alpha_0$ поворота консоли, который отвечает положению кромки режущей пластины над краем стола:

$$\Delta\alpha_0 = 2\gamma_1 \quad (11)$$

Таким образом, если углы поворота консоли изменяются в интервале от 0 до $2\gamma_1$ линия приложения вертикальной составляющей силы давления не выходит за габариты стола. Если угол поворота консоли не превышает $2\gamma_1$, то сила давления режущей пластины на брикет действует в рамках габаритов поверхности стола, при этом брикет находится в устойчивом положении, прижатым к столу [6].

Если в формулу (6) подставить выражение (11), можно найти высоту $B_у$ брикета, при которой гарантируется устойчивость процесса резки:

$$B_у = 0{,}034R \cdot \gamma_1. \quad (12)$$

Рассмотрим действие режущей пластины на брикет с компонентом в положении, при котором ее кромка C_1 смещена за габариты стола на величину b_c (рисунок 5).

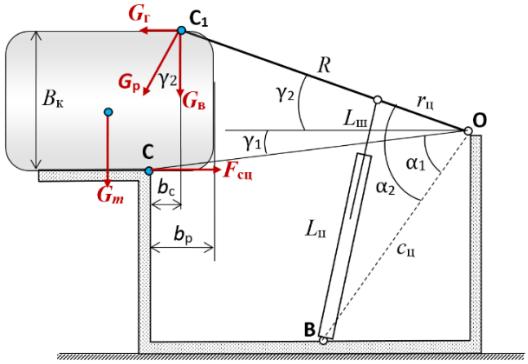


Рисунок 5 – Схема действия сил, определяющих устойчивость разрезаемого брикета

Силу резания $G_р$, с которой кромка режущей пластины действует на брикет, разложим на вертикальную $G_в$ и горизонтальную $G_г$ составляющие. Угол между векторами $G_р$, $G_в$ и угол наклона γ_2 равны, как углы с взаимно перпендикулярными сторонами. С учетом этого определим:

$$G_в = G_р \cdot \cos\gamma_2, \quad G_г = G_р \cdot \sin\gamma_2. \quad (13)$$

На брикет вдоль поверхности стола действует сила сцепления $F_{сц}$:

$$F_{сц} = (G_в + G_m)f_{сц} = (G_р \cdot \cos\gamma_2 + G_m)f_{сц}, \quad (14)$$

где $G_р$ – сила резания, Н; G_m – вес брикета, Н; $f_{сц}$ – коэффициент сцепления брикета с поверхностью стола.

Брикет при разрезании не будет перемещаться по столу в том случае, когда величина силы сцепления $F_{сц}$ будет выше горизонтальной составляющей $G_г$ силы резания [6].

Так как значение вертикальной составляющей $G_в$ силы резания намного больше веса брикета ($G_в \gg G_m$), то граничное условие покоя (неподвижности) брикета упростим:

$$F_{сц} = G_г.$$

Или

$$G_р \cdot \cos\gamma_2 \cdot f_{сц} = G_р \cdot \sin\gamma_2.$$

Отсюда имеем:

$$f_{сц} = \operatorname{tg}\gamma_2. \quad (15)$$

Для соблюдения условия покоя брикета, тангенс угла наклона консоли в верхнем положении не должен превышать коэффициент сцепления $f_{сц}$ отрезаемого компонента со столом.

При этом максимальный верхний угол γ_2^{max} наклона консоли:

$$\gamma_2^{max} = \operatorname{arctg}(f_{сц}). \quad (16)$$

Подставив зависимость (16) в (6), получим выражение для определения максимальной высоты разрезаемого брикета:

$$B_к^{max} = 0{,}017R \cdot [\gamma_1 + \operatorname{arctg}(f_{сц})]. \quad (17)$$

Физико-химические свойства компонента определяют величину коэффициента сцепления $f_{сц}$ брикета. В силу нахождения брикета в процессе резки под давлением вертикальной составляющей силы $G_в$, коэффициенты сцепления $f_{сц}$ компонентов со столом могут зависеть от ее величины [6]. Для их определения необходимо проведение экспериментальных исследований.

Моделирование силовых и технологических параметров консольного ножа.

Давление масла, поочередно подаваемого от масляной гидростанции в поршневую или штоковую полости гидроцилиндра [6] приводит в действие консольный гидравлический нож. Конструктивно длина $r_ц$ рычага гидроцилиндра меньше длины R консоли (рисунок 6), поэтому сила $G_р$ резки брикета меньше усилия, развиваемого гидроцилиндром:

$$G_р = G_ц \sin\beta \frac{r_ц}{R},$$

где $G_ц$ – усилие гидроцилиндра, Н; β – угол наклона гидроцилиндра к консоли OC_1.

Максимальная сила резания брикета в начале процесса будет достигнута, если принять, что в верхнем положении консоли (в точке C_1) при резке брикета высотой $B_к^{max}$ угол наклона гидроцилиндра прямой (β = 90°) [6]:

$$G_р^{max} = G_ц \frac{r_ц}{R}.$$

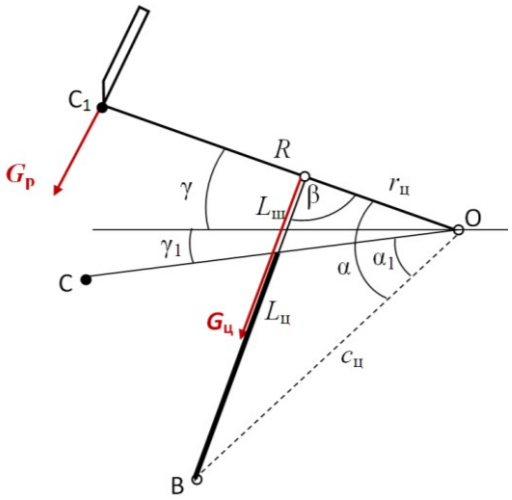


Рисунок 6 – Схема для расчета силовых параметров

По мере разрезания брикета и опускания режущей пластины, угол β отклоняется от прямого, а величина sinβ – уменьшается. Поэтому сила резания в нижней точке С понизится до минимальной величины:

$$G_р^{min} = G_ц(\sin\beta)^{min} \frac{r_ц}{R} = G_р^{max}(\sin\beta)^{min}.$$

Применяя теорему синусов, для нижнего положения консоли получим соотношение [6]:

$$\frac{c_ц}{(\sin\beta)^{min}} = \frac{L_ц}{\sin\alpha_1}.$$

Используя данное соотношение, уточним выражение для минимальной силы резания:

$$G_р^{min} = G_ц \frac{r_ц}{R} \cdot \frac{c_ц}{L_ц} \sin\alpha_1 = G_р^{max} \frac{c_ц}{L_ц} \sin\alpha_1. \quad (18)$$

Из выражения (18) найдем соотношение минимальной и максимальной сил резания брикета:

$$\frac{G_р^{min}}{G_р^{max}} = \frac{c_ц \cdot \sin\alpha_1}{L_ц}. \quad (19)$$

Если взять отношение $c_ц / L_ц$ = 1,5, угол α_1 = 30° (sin 30° = 0,5), то расчет по формуле (19) дает величину:

$$\frac{G_р^{min}}{G_р^{max}} = 0{,}75.$$

Таким образом, в конце рабочего хода сила резания консольного ножа может снизиться, примерно, в 1,33 раза от первоначальной (максимальной) силы.

На рисунке 7 показана схема конструкционного решения консольного гидравлического ножа.

Предложено исполнение гидравлического ножа из двух консолей, закрепленных на общей раме. Одним концом консоли соединены с осью, а другим – с режущей пластиной [6]. Поворот консолей осуществляется двумя гидроцилиндрами двустороннего действия с параметрами: $d_{\text{ц}}$ – диаметр цилиндра, м; $d_{\text{ш}}$ – диаметр штока, м; $L_{\text{ш}}$ – полный ход штока, м; $\Delta L_{\text{ш}}$ – частичный выход штока, м.

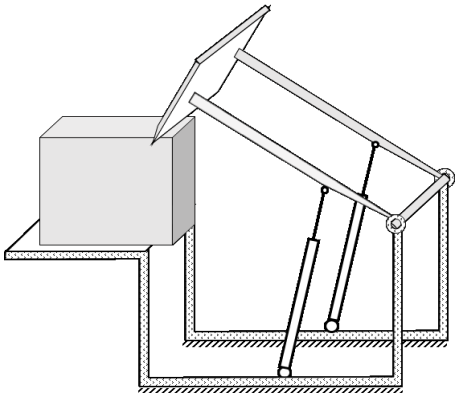


Рисунок 7 – Схема консольного гидравлического ножа

Усилие $G_{\text{ц}}$, развиваемое двумя гидроцилиндрами:

$$G_{\text{ц}} = 0{,}5\pi\left(d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2\right)P_{\text{нас}},$$

где $P_{\text{нас}}$ – давление насоса в гидростанции, Па.

Максимальное усилие резания $G_{\text{р}}^{\max}$:

$$G_{\text{р}}^{\max} = 0{,}5\pi\left(d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2\right)P_{\text{нас}}\frac{r_{\text{ц}}}{R}.$$

Скорость $v_{\text{н.р}}$ (м/с) рабочего хода ножа при резке брикета, когда штоки втягиваются в гидроцилиндры [6]:

$$v_{\text{н.р}} = \frac{Q_{\text{нас}} \cdot R}{0{,}5\pi\left(d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2\right) \cdot r_{\text{ц}}},$$

где $Q_{\text{нас}}$ – производительность (подача) насоса в гидростанции, м^3/с.

Длительность $t_{\text{р}}$ рабочего хода ножа:

$$t_{\text{р}} = \frac{\Delta L_{\text{ш}}}{v_{\text{н.р}}} = \frac{0{,}5\pi \cdot \Delta L_{\text{ш}}\left(d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2\right) \cdot r_{\text{ц}}}{Q_{\text{нас}} \cdot R}. \quad (20)$$

где $\Delta L_{\text{ш}}$ – величина выхода штока из гидроцилиндра, м.

При максимальной величине $B_{\text{к}}^{\max}$ высоты брикета, определяемой по эмпирической формуле (21), длительность полного рабочего хода ножа составит [6]:

$$t_{\text{р.п}} = \frac{0{,}08\pi L_{\text{ш}}\left(d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2\right) \cdot r_{\text{ц}} \cdot \left[\gamma_1 + \operatorname{arctg}\left(f_{\text{сц}}\right)\right]}{Q_{\text{нас}} \cdot B_{\text{к}}^{\max}}.$$

Скорость $v_{\text{н.х}}$ (м/с) холостого хода ножа, когда штоки выходят из гидроцилиндров:

$$v_{\text{н.х}} = \frac{Q_{\text{нас}} \cdot R}{0{,}5\pi d_{\text{ц}}^2 \cdot r_{\text{ц}}}.$$

Длительность $t_{\text{х}}$ холостого хода ножа:

$$t_{\text{х}} = \frac{\Delta L_{\text{ш}}}{v_{\text{н.х}}} = \frac{0{,}5\pi \cdot \Delta L_{\text{ш}} \cdot d_{\text{ц}}^2 \cdot r_{\text{ц}}}{Q_{\text{нас}} \cdot R}. \quad (21)$$

Сравнение выражений (20) и (21) показывает, что холостой ход проходит медленнее, чем рабочий. Затраты чистого времени $t_{\text{ц}}$ на 1 цикл работы ножа:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{р}} + t_{\text{х}} = \frac{0{,}5\pi \cdot \Delta L_{\text{ш}}\left(2d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2\right) \cdot r_{\text{ц}}}{Q_{\text{нас}} \cdot R}.$$

Высота брикета или толщины пласта отвечают за изменение величины хода ножа при резке компонента, поэтому выход штока $\Delta L_{\text{ш}}$ гидроцилиндра может быть неполным. Это легко

устранить, управляя работой гидроцилиндров вручную [6]. Также вручную выполняются вспомогательные технологические операции: укладка брикетов на стол, перемещение по столу и под нож брикетов и отрезанных от них кусков.

В структуру затрат времени $t_с$ при резке твердых компонентов массой $m_с$ входят средние затраты чистого времени на 1 цикл работы ножа ($t_{ц.ср}$,ч), количество циклов ($n_ц$) и затраты вспомогательного времени ($\sum t_{всп}$) при резке компонентов [6]:

$$t_с = t_{ц.ср} \cdot n_ц + \sum t_{всп},$$

Производительность $W_с$ ножа определяют по формуле:

$$W_с = \frac{m_с}{t_с} = \frac{m_с}{t_{ц.ср} \cdot n_ц + \sum t_{всп}}.$$

Мощность $N_р$, резания брикета:

$$N_р = G_р^{max} \cdot v_{н.р} = P_{нас} \cdot Q_{нас}.$$

Давление и производительность насоса гидростанции влияют на мощность резания. При выборе гидростанции необходимо учитывать мощность привода насоса и его давление $P_{нас}$, определяющее силу резания $G_р^{max}$ твердого компонента [6]. Отметим для сравнения, что величина удельной силы резания натуральных каучуков, например, составляет ~ 1000-3000 Н/см [8]. Битумный материал, как правило, обладает коагуляционной структурой с упруго-пластичными свойствами. Согласно исследованиям П.А. Ребиндера, малую прочность таких структур определяют слабые молекулярные силы сцепления между структурными элементами [9].

Допускаем возможность в технологическом расчете ориентироваться на значение удельной силы резания, составляющей 1,0 кН/см в силу того, что битумо- и парафинообразные вещества, для резки которых прежде всего предназначен разрабатываемый нож, менее прочны, чем каучуки. Получаем, что для ширины брикета, не превышающей 32 см, сила резания гидравлического ножа должна быть не менее 32 кН [6]. При этом усилие на каждом из 2-х гидроцилиндров составит:

$$G_{1ц} = 0{,}5 G_р^{max} \frac{R}{r_ц}. \quad (22)$$

Подставив значение силы $G_р^{max} = 32$ кН и отношение $R/\ r_ц$ = 1,5 в формулу (22), получим усилие на одном гидроцилиндре $G_{1ц}$ = 27 кН. Для консольного ножа может подойти гидроцилиндр, предназначенный для комплектации сельхозтехники, с ходом штока $L_ш$ не менее 0,2 м [6].

Для установления связи угла $\Delta\alpha$ поворота консоли и хода $L_ш$ штока гидроцилиндра вновь обратимся к схеме на рисунке 6.

Приняв $\angle\beta = 90^o$, по теореме синусов получим соотношение:

$$\frac{L_ш}{\sin\Delta\alpha} = \frac{r_ц}{\sin(90 - \Delta\alpha)} = \frac{r_ц}{\cos\Delta\alpha}.$$

Отсюда найдем тангенс угла поворота консоли:

$$\mathrm{tg}\,\Delta\alpha = \frac{L_ш}{r_ц}. \quad (23)$$

Заменим в формуле (23) величину $\Delta\alpha$ на зависимость (6):

$$\mathrm{tg}\left(\frac{B_к}{0{,}017R}\right) = \frac{L_ш}{r_ц}.$$

Из последнего выражения определим вертикальный ход $B_к$ режущей пластины:

$$B_к = 0{,}017R \cdot \mathrm{arctg}\left(\frac{L_ш}{r_ц}\right). \quad (24)$$

Эмпирическая зависимость (24) определяет степень влияния длины консоли R и рычага $r_ц$, хода штока $L_ш$ гидроцилиндра на величину вертикального хода $B_к$ режущей пластины. Она показывает возрастание вертикального хода режущей пластины с увеличением длины консоли, хода штока гидроцилиндра и уменьшением длины рычага [6].

Так как зависимость (24) является эмпирической и не учитывает ряд факторов, способных повлиять на точность расчетов, то ее следует уточнять при каждом конкретном варианте исполнения консольного гидравлического ножа. Для этого зависимость (24) целесообразно представить в общем виде:

$$B_к = k_{х.н.} R \cdot \text{arctg}\left(\frac{L_ш}{r_ц}\right), \quad (25)$$

где $k_{х.н.}$ – коэффициент подъема пластины, град $^{-1}$.

Коэффициент подъема пластины зависит от параметров конкретного консольного ножа и может быть определен в процессе исследования его экспериментального образца.

Выводы. 1. Конструктивно-технологическая схема компактного консольного гидравлического ножа со столом для подачи брикетов, поворотными консолями с режущей пластиной и гидроцилиндрами, соединенными с консолями [6] предложена для механизации процесса резки на куски брикетов твердых компонентов при малотоннажном производстве ингибированных консервационных составов.

2. Обоснованы:

- модель взаимосвязи высоты разрезаемого брикета с конструктивно-технологическими параметрами ножа, включающими длину консоли, нижний угол наклона консоли к плоскости стола и коэффициент сцепления компонента с поверхностью стола [6];

- уравнения для расчета производительности ножа, усилия резания в зависимости от давления, подачи насоса, параметров гидроцилиндра, консоли и высоты резки.

3. Получена формула, определяющая зависимость вертикального хода режущей пластины от длины консоли и рычага, хода штока гидроцилиндра и коэффициента подъема пластины.

4. Установлено, что в рациональных параметрах компактного гидравлического ножа следует учитывать коэффициенты сцепления твердых компонентов с поверхностью стола. Для определения их значений требуется проведение экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of petroleum and synthetic oils as bases for anticorrosion materials // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – Vol. 55. – № 4. – Pp. 412-423.

2. Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В. Технологические решения по консервации сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 112. – № 2. – С. 61-65.

3. Князева Л.Г., Шель Н.В., Прохоренков В.Д., Остриков В.В. Утилизация отработанных масел путем получения из них высокоэффективных консервационных материалов // Вестник ТГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – № 5. – С. 2303 – 2306.

4. Кузьмин В.Н., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П. и др. Справочник фермера. – М.: Изд-во «Росинформагротех». – 2017. – 708 с.

5. Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Ивойлов А.А. Битумные мастики для противокоррозионной защиты автотранспорта и сельскохозяйственного оборудования // Практика противокоррозионной защиты. – 2008. – № 2 (48). – С. 34 – 37.

6. Таха Ф.Ж.Т. Совершенствование оборудования и технологии консервации сельскохозяйственной техники ингибированными битумными составами: дисс…канд. техн. наук: 05.20.03 / Мичуринский государственный аграрный университет / Таха Фирас Жумаа Таха. – Тамбов. – 2017. – 183 с.

7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Изд-во технико-теоретической литературы. – 1957. – 608 с.

8. Бекин Н.Г., Захаров Н.Д., Пеунков Г.К. и др. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности: Учеб. пособие для вузов – Л.: Химия. – 1985. – 504 с.

9. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. – М.: Наука. – 1978. – 371 с.

References

1. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of petroleum and synthetic oils as bases for anticorrosion materials // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – Vol. 55. – № 4. – Pp. 412-423.

2. Petrashev A.I., Knjazeva L.G., Klepikov V.V. Tehnologicheskie reshenija po konservacii sel'skohozjajstvennoj tehniki otrabotannymi motornymi maslami // Trudy GOSNITI. – 2013. – T. 112. – № 2. – S. 61-65.

3. Knjazeva L.G., Shel' N.V., Prohorenkov V.D., Ostrikov V.V. Utilizacija otrabotannyh masel putem poluchenija iz nih vysokojeffektivnyh konservacionnyh materialov // Vestnik TGU. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. – 2013. – T. 18. – № 5. – S. 2303 – 2306.

4. Kuz'min V.N., Fedorenko V.F., Mishurov N.P. i dr. Spravochnik fermera. – M.: Izd-vo «Rosinformagroteh». – 2017. – 708 s.

5. Prohorenkov V.D., Knjazeva L.G., Ivojlov A.A. Bitumnye mastiki dlja protivokorrozionnoj zashhity avtotransporta i sel'skohozjajstvennogo oborudovanija // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. – 2008. – № 2 (48). – S. 34 – 37.

6. Taha F.Zh.T. Sovershenstvovanie oborudovanija i tehnologii konservacii sel'skohozjajstvennoj tehniki ingibirovannymi bitumnymi sostavami: diss…kand. tehn. nauk: 05.20.03 / Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet / Taha Firas Zhumaa Taha. – Tambov. – 2017. – 183 s.

7. Bronshtejn I.N., Semendjaev K.A. Spravochnik po matematike. – M.: Izd-vo tehniko-teoreticheskoj literatury. – 1957. – 608 s.

8. Bekin N.G., Zaharov N.D., Peunkov G.K. i dr. Oborudovanie i osnovy proektirovanija zavodov rezinovoj promyshlennosti: Ucheb. posobie dlja vuzov – L.: Himija. – 1985. – 504 s.

9. Rebinder P.A. Izbrannye trudy. Poverhnostnye javlenija v dispersnyh sistemah. Kolloidnaja himija. – M.: Nauka. – 1978. – 371 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Петрашев Александр Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru.

Таха Фирас – доктор сельскохозяйственных машин и оборудования в Техническом колледже Аль-Муссаиба Технического университеа «Аль-Фурат Аль-Авсат», Ирак, г. Вавилон, e-mail: engineer.firas@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Petrashev Alexandr – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru.

Firas Taha – Doctor of Agricultural Machinery and equipment at the Technical Collage of Al-Mussaib, “Al-Furat Al-Awsat” Technical University, Iraq, Babylon, e-mail: engineer.firas@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 16.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 18.12.2020

УДК 544.653
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-6-110-116

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ СЕРИИ «ИНКОРГАЗ» МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧКЕСКОЙ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В СРЕДАХ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРОВОДОРОДА

[1]Урядникова Марина Николаевна
[1]Урядников Александр Алексеевич
[1]Родионова Людмила Дмитриевна
[1]Брыксина Виктория Александровна
[1]Королева Дарья Владимировна
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»

Реферат. *В условиях сельскохозяйственного производства встречаются с повышенными концентрациями сероводорода. Исследовали коррозионные процессы в средах с содержанием сероводорода 1000 мг/л по спектрам импеданса, полученным на анализаторе импеданса SI 1255 с потенциостатом SI 1287 (электрохимический измерительный комплекс фирмы Solartron (Великобритания). Изучали влияние составов марки «ИНКОРГАЗ» на электрохимические показатели коррозии углеродистой стали посредством импедансной спектроскопии. Получены и проанализированы зависимости сопротивления переноса заряда в анодной реакции и емкости*

двойного электрического слоя от времени выдержки электрода в агрессивной среде и концентрации ингибитора. На основе полученных данных рассчитаны значения суммарного защитного эффекта получаемой антикоррозионной системы и вкладов в него отдельных компонентов (пленки продуктов коррозии и ингибитора), а также степень заполнения поверхности металла ингибитором. Показано, что при концентрациях исследуемых составов 100-200 мг/л преимущественный вклад в общий защитный эффект вносит действие ингибитора. При использовании ингибитора ИНКОРГАЗ 21Т-Б сопротивление переноса заряда в анодной реакции увеличивается несколько меньше, чем при тех же концентрациях ИНКОРГАЗ 21Т-А. Емкость двойного электрического слоя у ИНКОРГАЗ 21Т-Б снижается в меньшей степени, по сравнению со значениями для ИНКОРГАЗ 21Т-А. Было установлено, что в среде, насыщенной сероводородом, вклад ингибитора превышает вклад пленки коррозии для ИНКОРГАЗ-21Т-А при всех концентраций ингибитора, начиная с 6-часовой выдержки электродов в растворе при оценке суммарного защитного эффекта, в зависимости от вкладов пленки продуктов (Zпл) и ингибитора (Zинг) коррозии.

Ключевые слова: *ингибитор, коррозия, электрохимическая импедансная спектроскопия, адсорбция.*

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF INKORGAS SERIES INHIBITORS BY THE METHOD OF ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY IN MEDIA WITH A HIGH CONTENT OF HYDROGEN SULFUR

[1]Uryadnikova Marina
[1]Uryadnikov Alexander
[1]Rodionova Lyudmila
[1]Bryksina Viktoriya
[1]Koroleva Darya
[1]FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"

Abstract. *In conditions of agricultural production, they are found with increased concentrations of hydrogen sulfide. Corrosion processes in media with a hydrogen sulfide content of 1000 mg / L were investigated using the impedance spectra obtained on an SI 1255 impedance analyzer with an SI 1287 potentiostat (an electrochemical measuring complex from Solartron (Great Britain)). The influence of the "INKORGAZ" grade compositions on the electrochemical indicators of corrosion of carbon steel was studied by means of impedance spectroscopy. The dependences of the charge transfer resistance in the anodic reaction and the capacity of the electric double layer on the time of exposure of the electrode in an aggressive environment and the concentration of the inhibitor are obtained and analyzed. The values of the total protective effect of the obtained anticorrosive system and the contributions to it of individual components (films of corrosion products and inhibitor), as well as the degree of filling the metal surface with the inhibitor were calculated on the basis of the data obtained. It has been shown that at concentrations of the studied compositions of 100-200 mg / L, the inhibitor's action makes the predominant contribution to the overall protective effect. When using the inhibitor INKORGAZ 21T-B, the charge transfer resistance in the anodic reaction increases slightly less than at the same concentrations of INKORGAZ 21T-A. It was found that in an environment saturated with hydrogen sulfide, the contribution of the inhibitor exceeds the contribution of the corrosion film for INKORGAZ-21T-A at all concentrations of the inhibitor, starting with 6-hour exposure of the electrodes in solution when assessing the total protective effect, depending on the contributions of the product film (Zpl) and corrosion inhibitor (Zing).*

Keywords: *inhibitor, corrosion, electrochemical impedance spectroscopy, adsorption*

Введение. В условиях сельскохозяйственного производства с повышенными концентрациями сероводорода встречаются в атмосферах животноводческих помещений. Оборудование животноводческих помещений, трубопроводы, резервуары подвержено к тому же действию биокоррозии, которая в свою очередь приводит к образованию этого газа. В малых дозах сероводород способен заметно ускорить рост растений, как своеобразное удобрение. При достаточно высоких концентрациях в водном растворе его можно использовать для уничтожения сорняков. Этот газ находит применение также при получении биотоплива.

Сероводород (H_2S) обладает агрессивными свойствами, стимулируя парциальные электродные реакции, приводящие к коррозионному повреждению металлических поверхностей, преимущественно к питтингообразованию под слоем продуктов коррозии- сульфидов железа. Защите от сероводороной коррозии посвящены многие работы [1-6]. Отмечена интересная особенность усиления защитного действия ингибиторов, содержащих азот, таких, например, как амины и имидозолины, в присутствии этого стимулятора коррозии. Изучать коррозионные процессы в средах, содержащих сероводород, в данной работе предлагается с помощью спектроскопии электрохимического импеданса (СЭИ) – передового метода оценки коррозионных процессов. Этот метод может применяться как в теоретическом аспекте исследований, связанных с определением механизма растворения металла в коррозионной среде, так и для решения прикладных задач, например, подбора ингибиторов коррозии и оценки их эффективности [7,8]. Большой интерес представляет оценка эффективности ингибиторов коррозии в средах с высоким содержанием сероводорода (100 мг/л и более), поскольку в этом случае высокая агрессивность среды сопровождается ярко выраженным синергетическим действием ингибиторов на основе протонирующихся азотсодержащих соединений и сульфидной пленки продуктов коррозии на поверхности металла.

В данной работе методом СЭИ изучена эффективность защитного действия и адсорбционные характеристики ингибиторов коррозии серии ИНКОРГАЗ (ИНКОРГАЗ-21Т-А и ИНКОРГАЗ-21Т-Б) в модельной среде NACE, насыщенной сероводородом до 1000 мг/л по методике, представленной в [9].

Материалы и методы. Спектры импеданса снимали на электрохимическом оборудовании (анализатор импеданса SI 1255 и потенциостат SI 1287 в составе измерительного комплекса Solartron (Великобритания) по методике, описанной в [9].

К уравнению [10]:

$$Z,\% = 100[(R_{инг} - R_{фон})/R_{инг})] \quad (1)$$

где $R_{1,фон}$ – сопротивление переноса заряда в анодной реакции в фоновом растворе, а $R_{1,инг}$ – в присутствии ингибитора обращались для определения защитной эффективности ингибиторов коррозии

При расчетах суммарного защитного эффекта (Z_{Σ}) исследуемой коррозионной системы и вкладов пленки продуктов коррозии ($Z_{пл}$) и ингибитора ($Z_{инг}$) использовали следующие формулы [4]:

$$Z_{пл}\,(\%) = 100(R_1^{\tau} - R_1^{0,25})/R_1^{\tau} \quad (2)$$

$$Z_{\Sigma}\,(\%) = 100(R_{1,инг}^{\tau} - R_{1,инг}^{0,25})/R_{1,инг}^{\tau} \quad (3)$$

$$Z_{инг} = Z_{\Sigma} - Z_{пл}, \quad (4)$$

где R – сопротивление переноса заряда: в фоновом растворе в начальный момент времени $R_1^{0,25}$, через промежуток времени (τ) - R_1^{τ} ; через τ в ингибированном растворе $R_{1,инг}^{\tau}$.

Формула (5) определяет степень заполнения поверхности металла ингибитором (Θ):

$$\Theta = (C_0 - C)/(C_0 - C_1) \quad (5)$$

где C_0, C и C_1 – емкости двойного электрического слоя (ДЭС) в фоновом растворе, в ингибированном растворе и при максимальном заполнении электрода частицами ингибитора соответственно.

Результаты и их обсуждение. Анализ спектров импеданса (диаграмм Найквиста), полученных в модельной среде NACE, насыщенной 1000 мг/л H_2S, не позволил выявить четкую зависимость сопротивления переноса заряда (R_1) и емкости ДЭС (C_{dl}) от времени выдержки электрода в растворе. В фоновом растворе R_1 возрастает при увеличении продолжительности эксперимента с 0,25 ч до 4 ч, затем наблюдается некоторое снижение этой величины при 6 - часовой выдержке и последующее увеличение при 8 ч, при 24 ч – незначительное снижение по сравнению с 8 ч. При добавлении 25 мг/л ингибитора ИНКОРГАЗ 21Т-А к среде наблюдается значительное увеличение R_1 и снижение C_{dl}, при этом сопротивление возрастает от 0,25 ч до 6 ч, затем наблюдается снижение значения при 8 ч и последующее увеличение при 24 ч. Емкость также не имеет выраженной зависимости от времени экспозиции электрода в растворе. При добавлении 50 мг/л и 100 мг/л ИНКОРГАЗ 21Т-А к исследуемой среде наблюдается снижение величин R_1 и C_{dl}. При добавлении 200 мг/л ингибитора в целом относительно других концентраций R_1 увеличивается, а C_{dl} уменьшается. В этом случае наблюдается увеличение R_1 во времени от 0,25 ч к 24 ч, C_{dl}, при этом остается постоянным и снижается только при 24 ч выдержки.

При использовании ингибитора ИНКОРГАЗ 21Т-Б тенденция сохраняется, однако наблюдается несколько меньшее увеличение сопротивления переноса заряда в анодной реакции, чем при тех же концентрациях ИНКОРГАЗ 21Т-А. И емкость C_{dl} в этом случае снижается в меньшей степени, по сравнению со значениями для ИНКОРГАЗ 21Т-А.

В модельной среде NACE, содержащей H_2S и CO_2 совместно, в фоновом растворе также как и в среде, насыщенной H_2S, нет четкой зависимости R_1 и C_{dl} от времени экспозиции электрода. Однако при добавлении к среде ингибитора ИНКОРГАЗ-21Т-А наблюдается повышение значений R_1 при увеличении времени выдержки электрода от 0,25ч к 24ч для всех концентраций. При добавлении 25 мг/л ИНКОРГАЗ-21Т-А величина R_1 значительно возрастает. При переходе к более высоким концентрациям ингибитора наблюдается уменьшение R_1 для 0,25 ч и 24 ч. При этом C_{dl} уменьшается с увеличением времени экспозиции электрода в среде от 0,25 ч к 24 ч для концентраций ингибирующей добавки 25, 50 и 100 м/л. Для концентрации 200 мг/л четкой зависимости нет.

При добавлении в исследуемую среду ингибитора ИНКОРГАЗ-21Т-Б значения R_1 повышаются, а значения C_{dl} уменьшаются в меньшей степени, чем при добавлении ИНКОРГАЗ-21Т-А. При этом четкой зависимости изменения R_1 и C_{dl} от времени и концентрации не наблюдается.

На основе полученных значений R_1 по формуле (1) были рассчитаны защитные эффекты ингибиторов. В среде NACE, насыщенной H_2S, при добавлении ИНКОРГАЗ-21Т-А защитные эффекты превышают 70%, наилучший результат наблюдается при 24 ч выдержке электрода с 200 мг/л ингибитора – 94%. Защитные эффекты при использовании ингибитора ИНКОРГАЗ 21Т-Б значительно ниже полученных для тех же концентраций ИНКОРГАЗ-21Т-А. Максимальный защитный эффект составляет 78% для 200 мг/л ингибирующей добавки при 2 ч экспозиции электрода в среде.

Для среды NACE, насыщенной H_2S и CO_2, наблюдается рост защитных эффектов с увеличением времени выдержки для всех концентраций ингибитора ИНКОРГАЗ-21Т-А. Значения защитных эффектов больше 90% характерны для всех концентраций при времени выдержки электрода в среде от 6 ч до 24 ч.

В среде с добавлением ИНКОРГАЗ 21Т-Б защитные эффекты превышают 70%, при концентрации 50 мг/л ингибитора наблюдаются самые высокие значения 93%, 92%, 93% соответственно при выдержке 6ч, 8ч и 24ч, что превышает значения для тех же концентраций в среде без CO_2, что, по-видимому, связано с составом образующихся пленок продуктов коррозии.

Далее оценивали парциальные вклады пленки продуктов коррозии ($Z_{пл}$) и ингибитора ($Z_{инг}$) в суммарный защитный эффект. Установили, что в среде, насыщенной сероводородом, и сероводородом совместно с углекислым газом вклад ингибитора ИНКОРГАЗ-21Т-А превышает вклад пленки продуктов коррозии (таблица 1) при всех концентрациях ингибитора, начиная с 6-часовой выдержки электродов в растворе.

Таблица 1 – Защитная эффективность $Z_{пл}$ и $Z_{инг}$ в среде NACE, насыщенной 1000 мг/л H_2S или сероводородом (1000 мг/л) с углекислым газом CO_2 (P=1 атм) по результатам импедансной спектроскопии через 2 ч

Состав среды	$C_{инг}$, мг/л	$Z_{пл}$,%	ИНКОРГАЗ-21Т-А		ИНКОРГАЗ-21Т-Б	
			Z_{Σ},%	$Z_{инг}$,%	Z_{Σ},%	$Z_{инг}$,%
H_2S	25	36	92	56	55	19
	50		90	54	59	23
	100		82	46	72	36
	200		91	55	86	50
H_2S+CO_2	25	16	90	74	88	72
	50		89	73	89	73
	100		88	72	85	69
	200		86	70	88	72

В модельной среде NACE, насыщенной H_2S и CO_2, при внесении ИНКОРГАЗ-21Т-А наибольший вклад вносит ингибитор для всех концентраций и времени выдержки электрода от

0,25ч до 24ч. При этом наблюдается снижение суммарного защитного эффекта при увеличении концентрации ингибитора для выдержки 2ч.

Для той же среды при использовании ингибитора ИНКОРГАЗ-21Т-Б защитный эффект ингибитора имеет большее значение, однако нет четкой зависимости изменения суммарного защитного эффекта от времени и концентрации.

Расчет степеней заполнения поверхности ингибитором показывает, что для всех исследованных случаев в среде NACE, насыщенной H_2S (1000 мг/л), наблюдается рост степени заполнения поверхности при увеличении концентрации ингибиторов для времени экспозиции электродов в растворе 0,25 ч. При дальнейшем увеличении продолжительности эксперимента, значения Θ для ингибиторов несколько увеличиваются, а при переходе к испытаниям в течение суток – уменьшаются (таблица 2). Наблюдаемые эффекты можно связать с конкурентной адсорбцией частиц ингибитора и продуктов коррозии на поверхности металла.

При исследовании рассмотренных составов в среде NACE насыщенной сероводородом и углекислым газом, было установлено, что через 0,25 ч от начала эксперимента степени заполнения поверхности имеют меньшие значения, чем в чисто сероводородной среде. Однако уже при переходе к 4-х часовым испытаниям значения Θ приближаются к 0,9 – 1, причем для концентраций 50 – 200 мг/л наблюдаются практически одинаковые величины.

Таблица 2 – Значения Θ ингибиторов в среде NACE, содержащей H_2S (1000 мг/л).

Концентрация ингибитора Синг, мг/л	Время экспозиции, ч							
	ИНКОРГАЗ-21Т-А				ИНКОРГАЗ-21Т-Б			
	0,25	2	4	24	0,25	2	4	24
25	0,92	1,03	1,03	0,82	0,60	0,78	0,80	0,65
50	0,95	1,16	1,10	0,89	0,79	0,92	0,86	0,8
100	0,98	0,86	0,93	0,93	0,83	0,85	0,95	0,94
200	0,98	1,07	1,03	1,00	0,99	1,07	1,00	0,94

Следует отметить, что при расчете степени заполнения поверхности ингибитором в некоторых случаях были получены величины больше 1. Данный эффект может быть связан с полислойной адсорбцией частиц ингибитора на поверхности металла или с возникновением особых условий адсорбции в условиях формирования пленки продуктов коррозии.

Выводы. 1. Наибольшим защитным эффектом в модельной среде NACE, насыщенной 1000 мг/л H_2S обладает ингибитор ИНКОРГАЗ-21Т-А. Для среды, насыщенной 1000 мг/л H_2S и CO_2 (Р=1 атм.) совместно значения Z обоих ингибиторов сопоставимы, что, по-видимому, связано с составом образующихся пленок продуктов коррозии.

2. Оценка парциальных вкладов пленки и ингибитора показывает, что преимущественный вклад в общий защитный эффект при содержании ИНКОРГАЗ-21Т-А и ИНКОРГАЗ-21Т-Б в растворе в 100-200 мг/л вносит действие ингибитора.

3. Степень заполнения поверхности ингибиторами составляет более 80 % при экспозиции в растворе свыше 2 часов, а в некоторых случаях характеризуется значениями больше 1, что может быть связано с полислойной адсорбцией частиц ингибитора или конкурентной адсорбцией частиц ингибитора и продуктов коррозии.

Список литературы.

1. Иофа З.А. О механизме действия сероводорода и ингибиторов на коррозию железа в кислых растворах // Защита металлов. – 1980. – Т.16. – № 3. – С.275 – 280.

2. Кузнецов Ю.И., Фролова Л.В. Ингибиторы сероводородной коррозии и наводороживания сталей. // Коррозия: материалы, защита. – 2004. – №8. – С.11 – 16.

3. Цыганкова Л.Е., Ким Я.Р., Кичигин В.И., Вигдорович В.И. Исследование ингибирования коррозии и проникновения водорода в сталь в имитатах пластовых вод. // Практика противокоррозионной защиты. – 2005. – № 4 (38). – С. 29 – 38.

4. Цыганкова Л.Е., Вигдорович В.И., Ким Я.Р., Кичигин В.И., Болдырев А.В. Торможение коррозии и наводороживания углеродистой стали рядом ингибиторов в слабокислых средах, содержащих H_2S и CO_2. // Журнал прикладной химии. – 2005. – Т. 78. – № 12. – С.1993 – 2001.

5. Кузнецов Ю.И., Фролова Л.В., Томина Е.В. Об ингибировании сероводородной коррозии стали четвертичными аммонийными солями. // Защита металлов. – 2006. – Т. 42. – №3. – С.233 – 238.

6. Vigdorovich V.I., Shel N.V., Tsygankova L.E., Tanygina E.D., Esina M.N., Uryadnikov A.A. Universalism of hydrogen sulfide and carbon dioxide corrosion inhibitors in conditions of oil production and processing. // Chemical and Petroleum Engineering. – 2018. – T. 54. – № 3 – 4. – C. 202 – 210.

7. Кичигин В.И., Шерстобитова И.Н., Шеин А.Б. Импеданс электрохимических и коррозионных систем. – Пермь. – 2009. – 196 с.

8. Ключенок Т.В. Актуальность метода измерения электрохимического импеданса при подборе ингибиторов коррозии для различных сред // Практика противокоррозионной защиты. – 2012. – № 3 (65). – С. 56 –62.

9. Tsygankova L.E., Esina M.N., Vigdorovich V.I., Shel N.V. Study of steel corrosion inhibition in media containing H_2S and CO_2 by impedance spectroscopy and polarization resistance methods. // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2014. – V.3. – № 1. – Pp. 48 – 58.

10. Есина М.Н. Применение спектроскопии электрохимического импеданса для оценки ингибиторной защиты стали от коррозии в углекислотной среде // Практика противокоррозионной защиты. – 2017. – № 3 (85). – С. 39 –44.

References

1. Iofa Z.A. O mehanizme dejstvija serovodoroda i ingibitorov na korroziju zheleza v kislyh rastvorah // Zashhita metallov. – 1980. – T.16. – № 3. – S.275 – 280.

2. Kuznecov Ju.I., Frolova L.V. Ingibitory serovodorodnoj korrozii i navodorozhivanija stalej. // Korrozija: materialy, zashhita. – 2004. – №8. – S.11 – 16.

3. Cygankova L.E., Kim Ja.R., Kichigin V.I., Vigdorovich V.I. Issledovanie ingibirovanija korrozii i proniknovenija vodoroda v stal' v imitatah plastovyh vod. // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. – 2005. – № 4 (38). – S. 29 – 38.

4. Cygankova L.E., Vigdorovich V.I., Kim Ja.R., Kichigin V.I., Boldyrev A.V. Tormozhenie korrozii i navodorozhivanija uglerodistoj stali rjadom ingibitorov v slabokislyh sredah, soderzhashhih H2S i CO2. // Zhurnal prikladnoj himii. – 2005. – T. 78. – № 12. – S.1993 – 2001.

5. Kuznecov Ju.I., Frolova L.V., Tomina E.V. Ob ingibirovanii serovodorodnoj korrozii stali chetvertichnymi ammonijnymi soljami. // Zashhita metallov. – 2006. – T. 42. – №3. – S.233 – 238.

6. Vigdorovich V.I., Shel N.V., Tsygankova L.E., Tanygina E.D., Esina M.N., Uryadnikov A.A. Universalism of hydrogen sulfide and carbon dioxide corrosion inhibitors in conditions of oil production and processing. // Chemical and Petroleum Engineering. – 2018. – T. 54. – № 3 – 4. – S. 202 – 210.

7. Kichigin V.I., Sherstobitova I.N., Shein A.B. Impedans jelektrohimicheskih i korrozionnyh sistem. – Perm'. – 2009. – 196 s.

8. Kljuchenok T.V. Aktual'nost' metoda izmerenija jelektrohimicheskogo impedansa pri podbore ingibitorov korrozii dlja razlichnyh sred // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. – 2012. – № 3 (65). – S. 56 –62.

9. Tsygankova L.E., Esina M.N., Vigdorovich V.I., Shel N.V. Study of steel corrosion inhibition in media containing H2S and CO2 by impedance spectroscopy and polarization resistance methods. // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2014. – V.3. – № 1. – Pp. 48 – 58.

10. Esina M.N. Primenenie spektroskopii jelektrohimicheskogo impedansa dlja ocenki ingibitornoj zashhity stali ot korrozii v uglekislotnoj srede // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. – 2017. – № 3 (85). – S. 39 –44.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Урядникова Марина Николаевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: mn_uryadnikova@mail.ru.

Урядников Александр Алексеевич – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: chemisttambov@mail.ru.

Родионова Людмила Дмитриевна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: rld1349@gmail.com.

Брыксина Виктория Александровна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: Bryksina_98@mail.ru.

Королева Дарья Владимировна – студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: koroleva.daria0603@gmail.com.

Author credentials

Affiliations

Uryadnikova Marina – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin", Russia, Tambov, e-mail: mn_uryadnikova@mail.ru.

Uryadnikov Alexander – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin", Russia, Tambov, e-mail: chemisttambov@mail.ru.

Rodionova Lyudmila – master student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin", Russia, Tambov, e-mail: rld1349@gmail.com.

Bryksina Viktoriya – master student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin", Russia, Tambov, e-mail: Bryksina_98@mail.ru.

Koroleva Darya – student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin", Russia, Tambov, e-mail: koroleva.daria0603@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 16.11.2020 Принята к публикации (Accepted): 18.12.2020

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 31.12.2020. Заказ № 49.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 12,18 усл. печ. л. Тираж 100 экз.