ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2021 № 2(50)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

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

№ 2 (50), 2021 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.

№ 2 (50). Дата выхода в свет 30.04.2021. 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», 2021

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 2 (50), 2021 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», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Ковалев М.М., Просолов С.В., Перов М.Г., Шишин Д.А.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗГИБУ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ УБОРОЧНЫХ МАШИН 5
Алимжанов М.Д., Костюченков Н.В.,Берсугир М.А., Калиев А.Б.
ПРИБЛИЖЁННЫЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА 13
Венкова Н.В.
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МАСШТАБНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МЕЛИОРАТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ 17
Королев В.Н., Островская А.В., Амарская И.Б., Нагорнов С.А., Корнев А.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИНЫ КВАЗИКАПИЛЛЯРНОГО ЭФФЕКТА В НЕПОДВИЖНОМ ПРОДУВАЕМОМ ЗЕРНИСТОМ СЛОЕ 24
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайиин Х.Д.Д.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРИЕРНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ СЕМЯН СОРГО ИЗ ЯЧМЕНЯ 31
Доровских В.И., Милушев Р.К., Кийко Е.И.
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ 40
Анохин С.А., Гуськов А.А., Никитин Д.В., Родионов Ю.В.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЕМКОСТЕЙ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ 48
Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.
ЭНЕРГОЭКОНОМНЫЙ ВАРОЧНЫЙ КОТЁЛ С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ РАСХОДА ГАЗА 55
Канищев А.С., Сазонов С.Н., Родионов Ю.В., Ломовских А.Е., Борисов С.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВПРЫСКА ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ 61
Нагдаев В.К., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Остриков В.В., Сафонов В.В., Першин В.Ф.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СМАЗКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ МНОГОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ 71
Остриков В.В., Вигдорович М.В., Нагдаев В.К., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н., Забродская А.В.
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИСПЕРГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА 77
Зеленцова В.А., Белоглазов С.М., Князева Л.Г., Корнев А.Ю.
О ЗАЩИТЕ ОТ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АПК 83
Томилов А.А., Родионов Ю.В., Ломовских А.Е., Германович А.С., Пурусов Ю.М., Черноиванов В.И.
РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ 95

CONTENTS

Kovalev M., Prosolov S., Perov M., Shishin D.
METHOD FOR DETERMINING THE PATTERN OF STRETCING GROUPS OF STEMS OF PLANT MATERIALS 5
Alimzhanov M., Kostyuchenkov N., Bersugir M., Kaliev A.
APPROXIMATE ENGINEERING METHOD OF PARAMETERS SELECTION OF THE VIBRATING SCREEN 13
Venkova N.
APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR CONDACTING LARGE-SCALE EXPERIMENTS WITH RECLAMATION WORKING BODIES 18
Korolev V., Ostrovskaj A., Amarskaj I., Nagornov S., Kornev A.
STUDY OF THE CAUSE OF THE QUASICAPILLARY EFFECT IN THE STATIONARY BREEDING GRAIN LAYER 24
Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K. Alshinayyin H.
REGULARITIES OF TRIER SEPARATION OF SORGHUM SEEDS FROM BARLEY 31
Dorovskih V., Milushev R., Kiiko E.
ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL LEVEL OF DAIRY CATTLE BREEDING IN THE TAMBOV REGION 40
Anokhin S., Guskov A., Nikitin D., Rodionov Y.
PERSPECTIVE METHODS FOR THE INTERNAL SURFACES DISINFECTION OF COLLECTION, STORAGE AND TRANSPORTATION OF MILK RAW 49
Shuvalov A., Mashkov A., Chernov D.
ENERGY-SAVING DIGESTER WITH SMOOTH GAS FLOW CONTROL 55
Kanishchev A., Sazonov S., Rodionov Y., Lomovskih A., Borisov S.
EXPERIMENTAL STUDIES TO DETERMINE INDICATORS WATER-DIESEL MIXTURE INJECTION 62
Nagdaev V., Vyazinkin V., Zabrodskaya A., Ostrikov V., Safonov V., Pershin V.
RESULTS OF STUDIES OF A LUBRICANT MODIFIED WITH MULTI-LAYER GRAPHENE 71
Ostrikov V., Vigdorovich M., Nagdaev V., Orobinsky V., Afonichev D., Zabrodskaya A.
THEORETICAL EVALUATION OF THE DISPERSING PROPERTIES OF ENGINE OIL 78
Zelentsova V., Beloglazov S., Knyazeva L., Kornev A.
ABOUT PROTECTION AGAINST BACTERIAL CORROSION OF TANKS FOR TEMPORARY STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX 84
Tomilov A., Rodionov Y., Lomovskih A., Germanovich A., Purusov Y., Chernoivanov V.
DEVELOPMENT OF COMPUTER LABORATORY FACILITIES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TRAINING SPECIALISTS IN THE OPERATION OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT 95

УДК 633.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-5-12

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗГИБУ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ УБОРОЧНЫХ МАШИН

[1]Ковалев Михаил Михайлович
[1]Просолов Сергей Викторович
[1]Перов Михаил Геннадьевич
[1]Шишин Дмитрий Александрович
[1]ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

Реферат. *Для научно обоснованного проектирования технических средств необходимо знать механико-технологические свойства растительных материалов, с которыми взаимодействуют рабочие органы машин и оборудования. Исследовали сопротивление изгиба стеблей льна в зависимости от их влажности по фазам спелости культуры на специально изготовленном устройстве. Диаметр стеблей в опытах был 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 мм, а их влажность составила 66,8 % в ранней желтой, 52,7 % в желтой, 42,2 % в полной и 25 % в бурой спелостях. Использовали растения льна-долгунца среднеспелого сорта «Визит», которые вытеребливали вручную на одном и том же участке опытного поля. Определили закономерности изменения максимального изгибающего момента и угла изгиба стеблей от их влажности, характерной для разных фаз спелости культуры, которые с ее уменьшением и увеличением диаметра стеблей, возрастают. Установили, что для максимального изгибающего момента закономерностью изменения является линейная модель, а для угла изгиба – модель оптимума. Получили зависимости изгибающего момента от угла изгиба для различных диаметров стеблей и фаз спелости культуры, позволяющие выявить условия наступления излома стеблей, соответствующие максимальным значениям изгибающего момента. При выполнении технологических процессов уборочными машинами в целях исключения излома стеблей рабочими органами угол изгиба не должен превышать его допустимых значений, равных 80 – 85 % от максимального угла изгиба. Для этого исполнительные механизмы должны предусматривать соответствующие регулировки. Результаты исследования предназначены для использования при разработке расчетно-теоретической основы инженерных методов проектирования рабочих органов сельскохозяйственных машин с учетом специфических свойств растительных материалов как деформируемых механических систем.*

Ключевые слова*: лен-долгунец, фазы спелости, влажность, стебли, угол изгиба, изгибающий момент, зависимость.*

METHOD FOR DETERMINING THE PATTERN OF STRETCING GROUPS OF STEMS OF PLANT MATERIALS

[1]Kovalev Mixail
[1]Prosolov Sergei
[1]Perov Mixail
[1]Shishin Dmitri
[1]FSBSI “Federal Research Center for Bast Fiber Crops”

Abstract. *The mechanical and technological properties of plant materials with which the working bodies of machines and equipment interact must be known for scientifically based design of technical means. The bending resistance of flax stems, depending on their moisture content, according to the phases of ripeness of the culture, was investigated on a specially made device. The diameter of the stems in the experiments was 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mm, and their moisture content was 66.8 % in early yellow, 52.7 % in yellow, 42.2 % in full and 25 % in brown ripeness. Plants of fiber flax of the mid-ripening variety "Visit", which were wrinkled by hand by hand on the same plot of the experimental field, were used. The regularities of changes in the maximum bending moment and the angle of bending of stems from their moisture were determined to be characteristic of different phases of the ripeness of the culture,*

which, with its decrease and increase in the diameter of the stems, increase. It was found that for the maximum bending moment, the pattern of change is a linear model, and for the bending angle, the optimum model. The dependences of the bending moment on the bending angle for various stem diameters and phases of ripeness of the culture, which make it possible to identify the conditions for the onset of stem fracture corresponding to the maximum values of the bending moment, were obtained. The bending angle should not exceed its permissible values equal to 80 – 85% of the maximum bending angle when performing technological processes with harvesting machines in order to avoid breaking the stems by the working bodies. The actuators must provide appropriate adjustments for this. The results of the study are intended to be used in the development of the theoretical and computational basis of engineering methods for designing the working bodies of agricultural machines, taking into account the specific properties of plant materials as deformable mechanical systems.

Keywords: *long-legged flax, ripeness phases, humidity, stems, bending angle, bending moment, dependence.*

Введение. Сельскохозяйственное производство, основанное на выращивании таких основных культур, как пшеница, рожь, ячмень, овес, сорго, рис, лубяных культур – льна и конопли, других культур, является главной отраслью земледелия, обеспечивающей население продовольствием, промышленность сырьем, животноводство кормами. Для увеличения в стране объемов производства и качества сельскохозяйственной продукции необходимо восстановление и увеличение посевных площадей, рост урожайности, освоение интенсивных технологий возделывания, базирующихся на применении инновационных средств производства [1, 2].

Для эффективного выполнения технологических процессов сельскохозяйственного производства важно знать механико-технологические свойства и агробиологические особенности растительных материалов, которые проявляются при воздействии на них нагрузок и их механической обработке. Знание этих свойств позволяет построить реалистическую теорию рабочих процессов и практическое проектирование сельскохозяйственных машин [3 – 8].

Механизмы и рабочие органы большинства сельскохозяйственных машин при выполнении ими технологических процессов взаимодействуют с растительными материалами самым различным образом. Мотовила жаток изгибают стебли с колосьями, теребильные аппараты льноуборочных машин выдергивают стебли из почвы, подборщики подбирают ленты стеблей и сформированные валки зерновых культур, очесывающие аппараты очесывают соцветия, колосья и семенные коробочки различных культур и т.д. При этом растительные материалы видоизменяются и испытывают определенные деформации: изгиба, растяжения, сжатия, резания, сдвига, кручения и т.д. [4 – 8].

В свою очередь и рабочие органы сельскохозяйственных машин, деформирующие материалы, испытывают нагрузки, зависящие от свойств материалов, их сопротивления воздействующим нагрузкам, плотности, влаги, трению о рабочие органы и внутреннего трения и др.

Поэтому при работе технических средств необходимо располагать зависимостями, либо параметрами для расчета этих нагрузок, а также поведением растительных материалов при деформациях.

По определению механико-технологических свойств растительных материалов проведены обширные и глубокие научные исследования, результаты которых обобщены на основе единой теоретической базы [1, 4–8].

Разработка инновационных технических средств для механизации технологических процессов в льняном агропромышленном комплексе также тесно связана с механико-технологическими свойствами этой культуры. В первую очередь необходимость их изучения обуславливается высокой чувствительностью растений льна-долгунца к механическим воздействиям и легкой повреждаемостью при взаимодействии с рабочими органами льноуборочных и других сопутствующих машин. При подводе растений к теребильным секциям, транспортировании и очесе семенных коробочек, подборе очесанных и неочесанных лент стебли подвергаются механическому воздействию (тигмотропизму) рабочих органов, приводящему к изменению положения закрепленных растений и вызывающих деформации изгиба, оказывающих существенное влияние на работу большинства технических средств.

Исследованию деформации изгиба стеблей льна-долгунца посвящены работы [2, 4 – 13]. В этих работах изложены результаты исследований как при консольном закреплении растений, во

время которых определялся их изгиб, так и при укладке каждого из них на две опоры, во время которой происходит их прогиб и излом.

В работах [4 – 6] полученные значения углов изгиба стеблей рассчитаны по приближенным зависимостям, вследствие чего они могут быть применены лишь при малых величинах этих углов, так как при больших углах погрешность их определения значительная.

Значения углов изгиба стеблей, полученные по более точной методике, с применением угломера, достаточные для применения в расчетах, приведены в работах [4 – 6, 11].

Изгиб стеблей льна, зажатых в профилированных ремнях зажимного транспортера льноуборочной машины, исследован в работе [9].

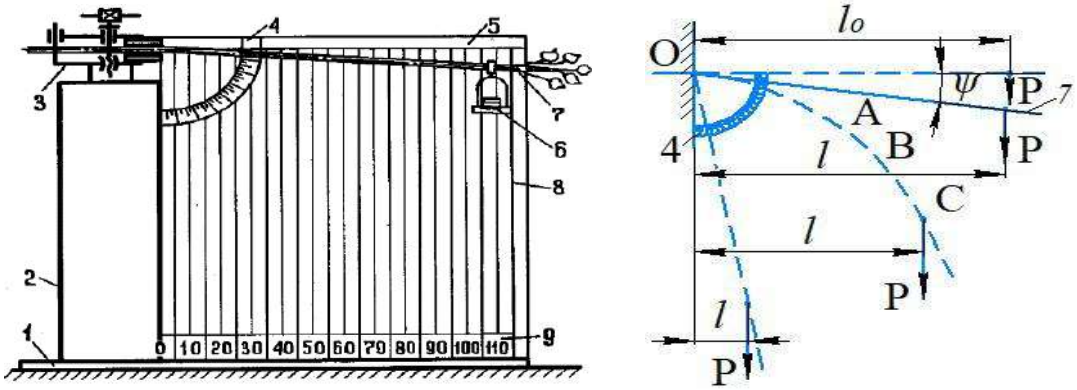
В работе [10] получены закономерности, характеризующие изгиб свежевытеребленных стеблей.

Следует отметить, что изгибающий момент является важной характеристикой процесса изгиба растений, так как он позволяет выявить условия наступления излома стеблей.

Однако процесс изгиба растений при изменении их влажности по мере наступления соответствующих фаз спелости культуры, не был исследован.

Цель работы – исследование процесса изгиба стеблей льна в зависимости от их влажности по фазам спелости культуры.

Материалы и методы. В процессе исследования использовались методы общего и логического анализа, расчетно-конструктивный метод. Лабораторно-полевые исследования проводились на изготовленном устройстве, схема которого показана на рисунке 1*а* [10].



а) *б)*

1 – основание; 2 – рамка; 3 – зажим; 4 – угломер; 5 – экран; 6 – груз; 7 – стебель; 8 – вертикальные лини разметки; 9 – шкала разметки

Рисунок 1 – Схемы устройства (*а*) и нагружения стебля (*б*) при исследовании его сопротивления изгибу

Устройство содержит основание 1 и рамку 2, на которой закреплены зажим 3, угломер 4 и экран 5. Для удобства определения плеча вертикально направленной силы от действия груза 6 на стебель 7 экран 5 снабжен разметкой, выполненной в виде вертикальных линий 8 и шкалы 9.

Уборка льна проводится в фазах ранней желтой, желтой, полной и бурой спелостях. Для выработки качественного волокна уборку проводят в ранней желтой спелости, а для получения семян требуемого качества в желтой и полной спелости. В бурую фазу спелости лен убирают лишь при затягивании сроков теребления культуры в силу экстремальных погодных условий, недостатка технических средств и др. [2].

Для проведения исследований растения льна-долгунца среднеспелого сорта «Визит» в период уборки в соответствующую фазу спелости (раннюю желтую, желтую, полную и бурую) вытеребливали вручную на одном и том же участке опытного поля ФГБНУ ФНЦ ЛК, после чего доставляли в лабораторию, где определяли их влажность W_c, диаметр d_c и длину l_c по известной методике [5, 6].

Диаметр стеблей в опытах был 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 мм, а их влажность составила 66,8 % в ранней желтой, 52,7 % в желтой, 42,2 % в полной и 25 % в бурой спелостях. Учитывая трудоемкость и сложность эксперимента каждый его вариант проводился в трех повторностях [4, 5].

Для проведения эксперимента стебель 7 консольно закреплялся в зажиме 3 устройства, после чего к нему прикладывалась вертикально направленная сила Р на значительном расстоянии l_0 от места закрепления (рисунок 1*б*) [10, 11].

Получавшийся угол Ψ изгиба фиксировался по шкале угломера. В этом случае изгибающий момент M_u будет равен произведению $P \cdot l_0$. Затем сила Р увеличивалась, снова замерялся соответствующий ей угол Ψ изгиба и т.д. При этом стебель 7 изгибался приближенно по кривой ОАВС, а сила Р оказывалась на расстоянии l от места зажима стебля. Новое значение угла Ψ отсчитывалось на угломере 4, в зоне около точки О, т.е. где стебель менее изогнут, что достигается небольшим радиусом кривизны угломера. В данном устройстве этот радиус меньше длины стеблей в 11 – 12 раз. Изгибающий момент будет $M_u = P \cdot l$. При дальнейшем увеличении угла Ψ, последующие варианты опыта, проводились аналогичным образом.

Опыты проводились при нагрузке (возрастании силы Р), разгрузке (уменьшении силы Р до нуля) и повторной нагрузке.

Опытные данные, полученные в эксперименте, обрабатывались по известным методикам [14].

Результаты и их обсуждение. Проведенными исследованиями и обработкой полученных в эксперименте опытных данных по сопротивлению стеблей льна-долгунца изгибу определены показатели: изгибающий момент $M_{u\ пр}$ и угол $\Psi_{пр}$, соответствующие пределу пропорциональности приложенному моменту, а также изгибающий максимальный изгибающий момент $M_{u\ max}$ и угол изгиба Ψ_{max}, соответствующие максимальным значениям этих показателей.

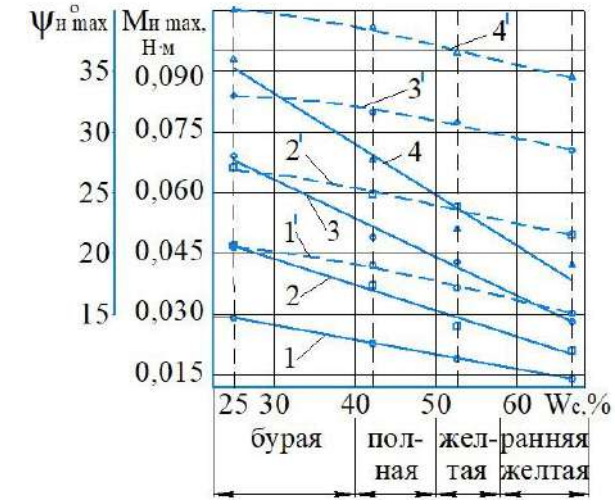
Результаты исследований сопротивления стеблей льна изгибу представлены в таблице 1, а их графическая интерпритация показана на рисунках 2 – 4.

Таблица 1 – Результаты исследований сопротивления стеблей льна

Фаза спелости $Ф_{сп}$ и интервал влажности $W_{ср}$,%	Влажность стеблей в опыте $W_{ср}$,%	Диаметр стеблей в опыте d_c, мм	Значение показателей			
			$M_{u\ пр}$, Н·м	угол изгиба $\Psi_{u\ пр}$, *град.*	$M_{u\ max}$, Н·м	угол изгиба $\Psi_{u\ пр}$, *град.*
Ранняя желтая (58 – 68)	66,8	1,0	0,006	6,5	0,014	15,1
		1,5	0,012	8,0	0,019	17,2
		2,0	0,016	9,5	0,023	19,0
		2,5	0,020	11,0	0,029	20,5
Желтая (50 – 58)	52,7	1,0	0,009	12,0	0,021	21,5
		1,5	0,017	14,7	0,027	23,8
		2,0	0,020	17,0	0,037	24,8
		2,5	0,026	18,0	0,047	27,0
Полная (35 – 50)	42,2	1,0	0,013	19,1	0,028	28,5
		1,5	0,021	20,0	0,043	30,8
		2,0	0,026	21,0	0,049	31,6
		2,5	0,031	22,4	0,069	33,0
Бурая (25 – 30)	25,0	1,0	0,016	24,2	0,042	34,5
		1,5	0,027	26,5	0,051	36,5
		2,0	0,032	28,0	0,068	38,6
		2,5	0,040	29,7	0,093	40,0

Полученные при обобщении результатов исследований закономерности изгиба стеблей, построенные как зависимость изгибающего момента $M_{u\ max}$ и угла изгиба $\Psi_{u\ max}$ от их влажности W_c (фаз спелости), показаны на рисунке 2.

Установлено, что при изменении фаз спелости культуры с уменьшением влажности W_c и увеличении d_c стеблей изгибающий момент $M_{u\ max}$ и угол изгиба $\Psi_{u\ max}$ возрастают. При этом закономерностью изменения максимального изгибающего момента $M_{u\ max}$ является линейная модель, а для угла изгиба $\Psi_{u\ max}$ – модель оптимума, обращенная интенсивностью вверх.



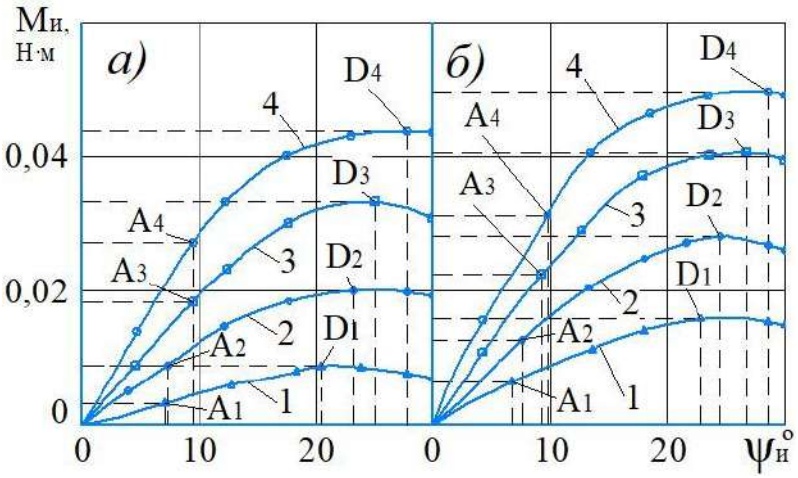
Диаметр стеблей: 1; 1^{I} – 1,0 мм; 2; 2^{I} – 1,5 мм; 3; 3^{I} – 2,0 мм; 4; 4^{I} – 2,5 мм

Рисунок 2 – Изменение изгибающего момента $M_{и\,max}$ и угла изгиба $\Psi_{u\,max}$ от влажности стеблей W_c по фазам спелости культуры

Все полученные модели адекватны экспериментальным данным. Такие закономерности изменения этих показателей объясняются тем, что с уменьшением влажности и увеличением диаметра к месту зажима стеблей возрастает их жесткость, показывающая сопротивляемость материала изгибу. Чем больше жесткость, тем сильнее материал сопротивляется изгибу [4 – 6].

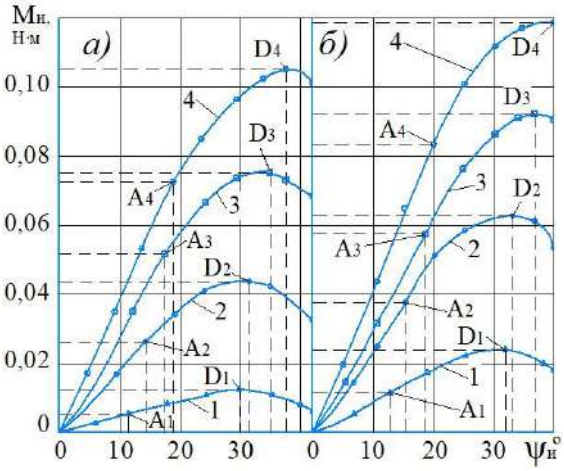
Двухфакторным дисперсионным анализом [14] установлено, что действие факторов: влажности W_c и диаметра d_c стеблей на сопротивление их излому достоверно. Наибольшее влияние на сопротивление стеблей изгибу оказывает фактор d_c (доля влияния 61,5); существенное влияние оказывает и фактор W_c (доля влияния 36,1). Межфакторное взаимодействие факторов W_c и d_c менее значительное, доля его влияния составила 6,49.

Закономерности изгиба стеблей, построенные как зависимость изгибающего момента M_u от угла изгиба Ψ_u в разных фазах спелости культуры, показаны на рисунках 3 и 4.



Диаметр стеблей: 1 – 1,0 мм; 2 – 1,5 мм; 3 – 2,0 мм; 4 – 2,5 мм

Рисунок 3 – Зависимость изгибающего момента M_u от угла изгиба Ψ_u стеблей в фазах ранней желтой (*а*) и желтой (*б*) спелостях культуры



Диаметр стеблей: 1 – 1,0 мм; 2 – 1,5 мм; 3 – 2,0 мм; 4 – 2,5 мм

Рисунок 4 – Зависимость изгибающего момента M_u от угла изгиба Ψ_u стеблей в фазах полной (*а*) и бурой (*б*) спелостях культуры

Из этих рисунков видно, что во всех рассматриваемых фазах спелости культуры и диаметрах стеблей закономерности изменения изгибающего момента M_u от угла изгиба Ψ_u одинаковые. Отличие их заключается в разных величинах изгибающего момента для каждого диаметра стеблей. С учетом ранее проведенных исследований [2, 10] установлено, что при сравнительно небольших нагружениях силой Р стебель, сохраняя свою прямолинейность на участках OA_1, OA_2, OA_3, и OA_4, изгибается на угол $\Psi_{u\ пр}$, который пропорционален приложенному изгибающему моменту $M_{u\ пр}$. Пропорциональная зависимость характеризуется тем, что при возрастании нагрузки деформация стебля также увеличивается, но при прекращении увеличения нагрузки или снятия ее, деформация стебля стремится к нулю. С увеличением нагрузки на участках A_1D_1, A_2D_2, A_3D_3 и A_4D_4 кривых, эта пропорциональность утрачивается быстрее в материале с меньшим диаметром d_c и большей влажностью W_c стебля. Положение точек D_1, D_2, D_3 и D_4 на кривых 1 – 4 соответствует максимальным изгибающим моментам $M_{u\ max}$ и максимальным углам изгиба $\Psi_{u\ max}$ стеблей, а закономерность их изменения описывается полиномиальной моделью. В этих точках происходит перегиб стебля, а после их прохождения изгибающий момент M_u резко уменьшается с увеличением угла изгиба Ψ_u. Так как у льна-долгунца, пшеницы, ячменя, овса и др. культур стебли полые, то их перегиб может происходить по двум вариантам: с разрывом его верхней стенки, и без ее разрыва, что в основном зависит от влажности стеблей и их диаметра.

Растительные материалы являются сложными реологическими телами, их поведение при деформации зависит от преобладания и проявления разных фундаментальных свойств, которые различны в разных условиях. Поэтому возникает необходимость дальнейших исследований для изучения закономерностей изменения изгибающего момента и угла изгиба стеблей от таких свойств, как размерные показатели, плотность, фрикционные свойства, липкость и др.

Заключение.

1. Установлены закономерности изменения изгибающего момента M_u и угла изгиба Ψ_u от влажности W_c и диаметра d_c стеблей в разные фазы спелости культуры. С уменьшением влажности W_c и увеличением диаметра d_c значения изгибающего момента M_u возрастают по линейной модели, а угла изгиба Ψ_u по модели оптимума. Получены закономерности изменения изгибающего момента M_u от угла изгиба Ψ_u стеблей во всех фазах спелости культуры. На начальных участках, при сравнительно небольших нагружениях силой Р, стебель, сохраняет свою прямолинейность, изгибается на угол $\Psi_{u\ пр}$, пропорциональный приложенному изгибающему моменту $M_{u\ пр}$. С увеличением нагрузки эта проплорциональность утрачивается быстрее в стеблях с меньшим диаметром d_c и большей влажностью W_c, а закономерность изменения изгибающего момента от угла изгиба описывается полиномиальной моделью. Наибольшее влияние на изгибающий момент оказывает диаметр d_c стеблей, а затем их влажность W_c.

2. При выполнении технологических процессов уборочными машинами в целях исключения излома стеблей рабочими органами угол изгиба Ψ_u не должен превышать его допустимых значений, равных 0,8 – 0,85 $\Psi_{u\ max}$. Для этого исполнительные механизмы должны предусматривать соответствующие регулировки.

3. Исследованные реологические характеристики могут быть пригодны для использования в расчетно-теоретической основе инженерных методов проектирования механизмов сельскохозяйственных машин, базирующихся на результатах изучения закономерностей поведения растительных материалов при нагружении, как деформируемых механических систем, а также использованы для регулирования параметров технологических процессов при эксплуатации технических средств.

Список литературы

1. Лукьянова И.В. Анализ видовых и сортовых особенностей устойчивости злаковых культур к полеганию с учетом их физико-механических свойств и архитектоники для использования в селекции: автореф. дис…. д-ра биол. наук: 06.01.05 / Лукьянова Ирина Владимировна; Кубанский гос. аграрный ун-т. – Краснодар, 2008. – 51 с.

2. Ковалев М.М. Делители машин для уборки лубяных культур (конструкция, теория и расчет): моногр. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 244 с.

3. Саркисян Г.М. Исследование принципа строения стеблей при конструировании сельхозмашин // Тракторы и сельхозмашины. – 1992. – № 5. – С.21 – 22.

4. Механіко – технологічні властивости сільскогосподарських матеріалів / Г.А. Хайлис, А.Ю. Горбовий, З.А. Гошко, М.М. Ковалев, О.О. Налобина, С.Ф. Юхимчук. – Луцьк: ред.-вид. ЛДТУ, 1998. – 268 с.

5. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). – М.: ИК «Родник», ж. «Аграрная наука», 1998. – 208 с.

6. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов. – Киев: изд-во УААН, 2002. – 374 с.

7. Бурмистрова М.Ф., Колюлькова Г.Г. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 360 с.

8. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений (методы исследования, приборы, характеристики). – М.: Колос, 1970. – 424 с.

9. Быков Н.Н. Исследование технологического процесса и устройств для зажима стеблей в льноуборочных комбайнах: дис…. канд. техн. наук: 05.20.01 / Быков Николай Нилович. – Торжок, 1969. – 163 с.

10. Ковалев М.М., Галкин А.В., Дмитриев В.И. Исследование сопротивления стеблей льна отгибу // Проблемы повышения технологического качества льна-долгунца: мат. Междунар. науч.-техн. конф., г. Торжок, 2 – 3 ноября 2004 г. – Торжок, 2005. – С. 224 – 229.

11. Налобина О.О. Дослідження технологічного процессу і обгрунтування параметрів затискного транспортера льнокомбайна: дис… канд. техн. наук: 05.20.01 / Налобина Олена Олександрівна. – Луцьк, 1997. – 138 с.

12. Multi-scale morphology ical characterization of flax: from the stem to the fibrils / K. Charlet, S. Jernot, M. Gomina, J.P. Breard // Carbohydrate Polymers, 2010. – Т. 82. – № 1. – С.54-61.

13. Limont A.S. Morphological indices of fiber flax stalks and machines for its harvesting // Europaische Fachhochschule. – 2015. – №1. – С. 79 – 84.

14. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Форум: Инфра – М., 2006. – 512 с.

References

1. Luk'janova I.V. Analiz vidovyh i sortovyh osobennostej ustojchivosti zlakovyh kul'tur k poleganiju s uchetom ih fiziko-mehanicheskih svojstv i arhitektoniki dlja ispol'zovanija v selekcii: avtoref. dis…. d-ra biol. nauk: 06.01.05 / Luk'janova Irina Vladimirovna; Kubanskij gos. agrarnyj un-t. – Krasnodar, 2008. – 51 s.

2. Kovalev M.M. Deliteli mashin dlja uborki lubjanyh kul'tur (konstrukcija, teorija i raschet): monogr. – M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2014. – 244 s.

3. Sarkisjan G.M. Issledovanie principa stroenija steblej pri konstruirovanii sel'hozmashin // Traktory i sel'hozmashiny. – 1992. – № 5. – S.21 – 22.

4. Mehaniko – tehnologichni vlastivosti sil'skogospodars'kih materialiv / G.A. Hajlis, A.Ju. Gorbovij, Z.A. Goshko, M.M. Kovalev, O.O. Nalobina, S.F. Juhimchuk. – Luc'k: red.-vid. LDTU, 1998. – 268 s.

5. Kovalev N.G., Hajlis G.A., Kovalev M.M. Sel'skohozjajstvennye materialy (vidy, sostav, svojstva). – M.: IK «Rodnik», zh. «Agrarnaja nauka», 1998. – 208 s.

6. Hajlis G.A. Mehanika rastitel'nyh materialov. – Kiev: izd-vo UAAN, 2002. – 374 s.

7. Burmistrova M.F., Koljul'kova G.G. Fiziko-mehanicheskie svojstva sel'skohozjajstvennyh rastenij. – M.: Sel'hozgiz, 1955. – 360 s.

8. Fiziko-mehanicheskie svojstva rastenij, pochv i udobrenij (metody issledovanija, pribory, harakteristiki). – M.: Kolos, 1970. – 424 s.

9. Bykov N.N. Issledovanie tehnologicheskogo processa i ustrojstv dlja zazhima steblej v l'nouborochnyh kombajnah: dis…. kand. tehn. nauk: 05.20.01 / Bykov Nikolaj Nilovich. – Torzhok, 1969. – 163 s.

10. Kovalev M.M., Galkin A.V., Dmitriev V.I. Issledovanie soprotivlenija steblej l'na otgibu // Problemy povyshenija tehnologicheskogo kachestva l'na-dolgunca: mat. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., g. Torzhok, 2 – 3 nojabrja 2004 g. – Torzhok, 2005. – S. 224 – 229.

11. Nalobina O.O. Doslidzhennja tehnologichnogo processu i obgruntuvanija parametriv zatisknogo transportera l'nokombajna: dis… kand. tehn. nauk: 05.20.01 / Nalobina Olena Oleksandrivna. – Luc'k, 1997. – 138 s.

12. Multi-scale morphology ical characterization of flax: from the stem to the fibrils / K. Charlet, S. Jernot, M. Gomina, J.P. Breard // Carbohydrate Polymers, 2010. – T. 82. – № 1. – S.54-61.

13. Limont A.S. Morphological indices of fiber flax stalks and machines for its harvesting // Europaische Fachhochschule. – 2015. – №1. – C. 79 – 84.

14. Kulaichev A.P. Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannyh. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Forum: Infra – M., 2006. – 512 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ковалев Михаил Михайлович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: m.kovalev@fnclk.ru.

Просолов Сергей Викторович – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: tver.dep.sela@rambler.ru.

Перов Михаил Геннадьевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: mexanikuspost@yandex.ru.

Шишин Дмитрий Александрович – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: d.shishin@fnclk.ru.

Author credentials

Affiliations

Kovalev Mixail – Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, Russia, Tver, e-mail: m.kovalev@fnclk.ru.

Prosolov Sergei – Junior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, Russia, Tver, e-mail: tver.dep.sela@rambler.ru.

Perov Mixail – Junior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, Russia, Tver, e-mail: mexanikuspost@yandex.ru.

Shishin Dmitri – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, Russia, Tver, e-mail: d.shishin@fnclk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 26.03.2021

УДК 025.48:[537:621.315.592]
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-13-17

ПРИБЛИЖЁННЫЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА

[1]Алимжанов Мурат Дуанбаевич
[2]Костюченков Николай Васильевич
[1]Берсугир Мухамади Амирович
[1]Калиев Адильбек Бекбулатович
[1]НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева»
[2]НАО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина»

Реферат. *В различных отраслях промышленности применяют вибрационные грохоты с самосинхронизирующимся приводом. В инженерных расчетах необходимо оценивать значения различных параметров движения частиц по вибрирующему наклонному ситу. Комплексные исследования процессов фракционирования и транспортирования материала по вибрационному грохоту, расчет кинетики рассева и времени пребывания частиц на сите требуют больших материальных и трудовых затрат. Разрабатывали приближённый инженерный метод выбора параметров вибрационного грохота. Рассматривали предложенную модель вибрационного грохота с самосинхронизирующимся приводом. Отметили, что особенностью привода является шарнирное соединение, позволяющее сохранять устойчивый режим синхронно-синфазного вращения дебалансов. Изучали безотрывное движение материальной частицы по вибрирующему наклонному ситу. Составлены дифференциальные уравнения относительного движения материальной частицы находящейся на наклонной платформе грохота при безотрывном режиме. В динамическом процессе учитывали силы сопротивления в виде силы сухого трения. Найдена приближенная зависимость средней скорости движения частицы от параметров системы и проведен их анализ. Установлено, что зависимости углов подъема или опускания материальной частицы от вибрации носят линейный характер. Высказаны соображения для инженерных расчетов по выбору зависимостей углов подъема, либо опускания материальной частицы от угла вибрации.*

Ключевые слова: *приближенный, метод выбора, динамическая модель, вибрационный грохот, вибровозбудитель, самосинхронизирующийся привод.*

APPROXIMATE ENGINEERING METHOD OF PARAMETERS SELECTION OF THE VIBRATING SCREEN

[1]Alimzhanov Murat
[2]Kostyuchenkov Nikolai
[1]Bersugir Muchamadi
[1]Kaliev Adilbek
[1]NJC "L.N. Gumilyov Eurasian National University"
[2]NCJSC "S. Seifullin Kazakh Agro Technical University"

Abstract. *Vibrating screens with a self-synchronizing drive are used in various industries. The values of various parameters of the movement of particles along a vibrating inclined sieve must be estimated in engineering calculations. Comprehensive studies of the processes of fractionation and transportation of material through a vibrating screen, calculation of the kinetics of sieving and the residence time of particles on the sieve require large material and labor costs. An approximate engineering method for selecting the parameters of a vibrating screen was developed. The proposed model of a vibrating screen with a self-synchronizing drive was considered. It was noted that a feature of the drive is a swivel joint, which allows maintaining a stable mode of synchronous-in-phase rotation of the unbalances. The uninterrupted movement of a material particle along a vibrating inclined sieve was studied. Differential equations of the relative motion of a material particle located on an inclined platform of a screen in a*

continuous mode are compiled. Resistance forces in the form of dry friction force were taken into account in the dynamic process. The approximate dependence of the average velocity of the particle motion on the parameters of the system is found and their analysis is carried out. It was found that the dependences of the angles of ascent or descent of a material particle on vibration are linear. Considerations for engineering calculations on the choice of the dependences of the angles of ascent or descent of a material particle on the angle of vibration are expressed.

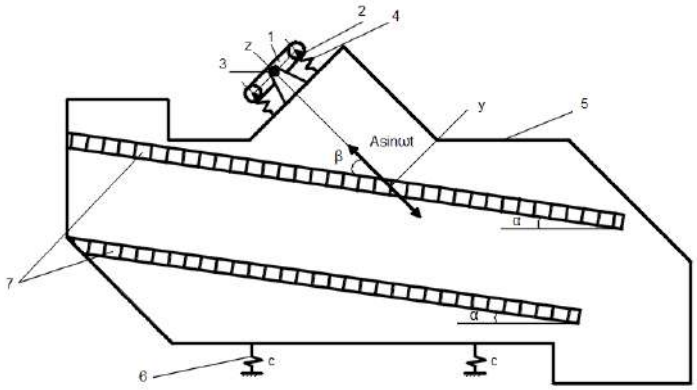
Keywords: *approximate, selection method, dynamic model, vibrating screen, vibration exciter, self-synchronizing drive.*

Введение. В различных отраслях промышленности применяют вибрационные грохоты с самосинхронизирующимся приводом. Такое оборудование находит широкое применение и в АПК для просеивания зерна, злаковых и бобовых культур. Грохочение, как механическое фракционирование сыпучей среды, привлекательно тем, что относится к малоэнергоемким процессам [1]. Обычно под грохочением понимают не менее трех связанных друг с другом процессов. Во-первых, это движение частиц под действием сегрегационного и диффузионного механизмов к поверхности сита. За счет сегрегации мелкие частицы быстрее оказываются у отверстий сита, а крупные - перемещаются в верхнюю часть сыпучего слоя. При диффузионном перемещении движение частиц равновероятно во всех направлениях. Во-вторых, это проход частиц (мелких) через отверстия сита. На этот процесс влияет размер частиц, амплитуда и частота колебаний сита, угол наклона просеивающей поверхности к горизонту, угол направления вектора скорости движения частицы к плоскости сита в момент соприкосновения и многие другие. В- третьих, это движение слоя сыпучего материала по вибрирующей поверхности.

Известны различные модели, описывающие процесс грохочения: эмпирические, детерминистические, основанные на механике сплошной среды и стохастические [1 – 8]. Большинство из них связаны с решением сложных уравнений механики многофазных сред [1 – 3]

Совершенствование существующих, а также создание новых моделей вибрационных грохотов является актуальной задачей. В инженерных расчетах необходимо оценивать значения различных параметров движения частиц по вибрирующему наклонному ситу. Комплексные исследования процессов фракционирования и транспортирования материала по вибрационному грохоту, расчет кинетики рассева и времени пребывания частиц на сите требуют больших материальных и трудовых затрат. Поэтому разработка приближённого инженерного метода выбора параметров вибрационного грохота также актуальна.

Результаты и обсуждение. Динамическая модель вибрационного грохота с самосинхронизирующимся приводом представлена на рисунке 1.



1 – двухвальный вибровозбудитель, 2 – дебалансы, 3 – шарнир, 4 – упругие элементы,
5 – корпус, 6 – опорные упругие элементы с коэффициентом жесткости С,
7 – регулируемые наклонные сита, расположенные под углом α к горизонту

Рисунок 1 – Динамическая модель вибрационного грохота

Виброгрохот включает в себя центробежный двухвальный вибровозбудитель 1 с дебалансами 2, который связан с корпусом 5 вибрационного грохота с помощью шарнира 3 и упругими элементами 4. Корпус 5 опирается на упругие элементы 6 с коэффициентом жесткости С. В корпусе 5 имеются регулируемые наклонные сита 7, расположенные под углом α к горизонту.

Работа вибрационного грохота осуществляется следующим образом. При вращении дебалансов 2 в противоположные стороны шарнирное соединение 3 позволяет сохранять режим самосинхронизации за счет угловых колебаний корпуса вибровозбудителя 1, а также менять угол вибрации. Упругие элементы 4 удерживают вибровозбудитель под заданным углом вибрации. При этом линия действия направленной возбуждающей силы $A\sin\omega t$, генерируемой вибровозбудителем, пересекает центр тяжести всей системы.

Дифференциальные уравнения относительного движения материальной частицы, находящейся на сите, при безотрывном режиме имеют вид:

$$\begin{aligned} m\ddot{z} &= mA\omega^2\cos\beta\sin\omega t - mg\sin\alpha + F; \\ m\ddot{y} &= mA\omega^2\sin\beta\sin\omega t - mg\cos\alpha + N, \end{aligned} \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний; ω – частота колебаний; m – масса материальной частицы; β – угол наклона линии действия вынуждающей силы (угол вибрации); α – угол наклона сит к горизонту; g – ускорение свободного падения; N – нормальная реакция; F – сила сопротивления перемещению материальной частицы в виде силы сухого трения ($F = fN$); f – коэффициент трения.

Исходя из инженерной практики приближенных расчетов, представим зависимость средней скорости движения материальной частицы, находящейся на наклонном сите, от параметров системы в виде [9]:

$$V = A\omega\Phi\left(\frac{A\omega^2}{g}, \alpha, \beta, f\right), \quad (2)$$

где Φ – безразмерная функция параметров системы.

Используем в дальнейшем общепринятые допущения [8, 9]. При рассмотрении поставленной частной задачи установлено, что средняя скорость движения материальной частицы зависит в основном от параметров системы A, ω, g. На изменение средней скорости основное влияние оказывает амплитуда ускорения колебаний $A\omega^2$. В нашем случае следует $\frac{A}{\omega^2}$ считать, как соответствующее $\frac{A}{m}$ и при значениях $A = const$, $\omega = const$, $\alpha = const$, когда изменяется угол вибрации β, происходит изменение средней скорости материальной частицы.

При увеличении угла наклона α средняя скорость движения материальной частицы уменьшается.

Подъем материальной частицы по наклонному ситу может осуществляться в данном случае при условии:

$$\tan\alpha \le f^2\tan\beta. \quad (3)$$

На рисунке 2 представлен приближенный график зависимостей углов подъема либо опускания материальной частицы от угла вибрации.

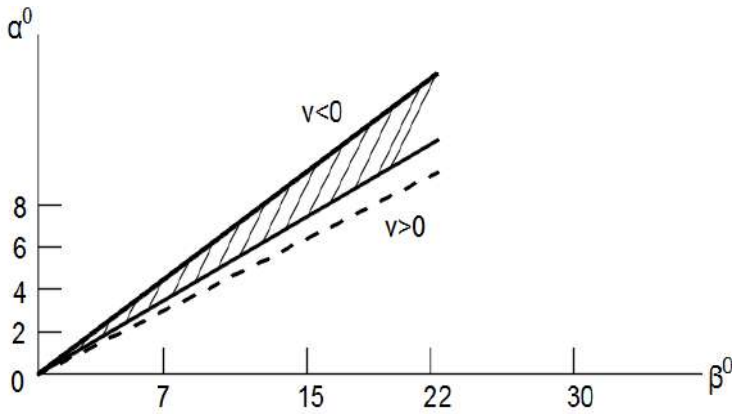


Рисунок 2 – График зависимостей углов подъема α материальной частицы от угла вибрации β

Если параметры системы соответствуют $A\omega^2 \approx \frac{A}{m} \approx 2g$, $f \approx 0{,}7$, то как следует из графика, при принятых общих допущениях область существования движения материальной частицы по наклонному вибрационному ситу расположена снизу $V > 0$.

Область существования опускания частицы расположена в верхней части графика $V < 0$.

Пунктирной линией показана найденная теоретическая прямая, которая разделяет области существования различных движений материальной частицы.

Следует отметить, что при рассмотрении других, более сложных, режимов движения частицы, в частности, режимов с подбрасыванием необходимо использовать более современный аппарат расчета, учитывающий многие параметры движения в безразмерных величинах.

Выводы. Рассмотрена упрощенная модель вибрационного грохота и описана ее динамика, на основании которой показаны графики изменения зависимостей параметров системы.

1. Несмотря на несовершенство представленной модели, тем не менее она позволяет оценить в инженерных расчетах значения параметров безотрывного движения материальной частицы по вибрирующему наклонному ситу.

2. Показано, что в пределах выбранных диапазонов изменения параметров результаты исследований согласуются с теоретическими данными.

Список литературы

1. Мизонов, В.Е. Процессы сепарации частиц в виброожиженном слое: моделирование, оптимизация, расчет / В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов, С.В. Федосов, А.В. Огурцов // ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет». – Иваново, 2010. – 192 с.

2. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Под ред. Л.А. Вайсберга. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2005. - 252 с.

3. Акулова, М.В. Моделирование процесса классификации сыпучих материалов на виброгрохотах с многоярусной компоновкой сит / М.В. Акулова, А.П. Алешина, Ал.В. Огурцов, Ан.В. Огурцов // Вестник МГСУ. – №2. – 2013. – С. 80–87.

4. Федосов, С.В. Моделирование процесса классификации полидисперсных материалов на виброгрохотах / С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов // Строит. материалы. – 2007. – № 11. – С. 26 – 28.

5. Огурцов, В.А. Моделирование кинетики виброгрохочения на основе теории цепей Маркова / В.А. Огурцов, С.В. Федосов, В.Е. Мизонов // Строит. материалы. – 2008. – № 5. – С. 33 – 35.

6. Огурцов, В.А. Расчетное исследование движения частиц по поверхности виброгрохота / В.А. Огурцов, В.Е. Мизонов, С.В. Федосов // Строит. материалы. – 2008. – № 6. – С. 74 – 75.

7. Огурцов, В.А. Моделирование движения частиц над поверхностью сита виброгрохота / В.А. Огурцов // Строит. материалы. – 2008. – № 8. – С. 72 – 73.

8. Блехман И.И. Вибрационная механика. – М., 1994. – 400 с.

9. Вибрации в технике: справочник. – Т.4: Вибрационные машины и процессы. / под ред. Э.Э. Лавендела. – М., 1981. – 509 с.

References

1. Mizonov, V.E. Processy separacii chastic v vibroozhizhennom sloe: modelirovanie, optimizacija, raschet / V.E. Mizonov, V.A. Ogurcov, S.V. Fedosov, A.V. Ogurcov // GOU VPO «Ivanovskij gosudarstvennyj jenergeticheskij universitet im. V.I. Lenina», «Ivanovskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet». – Ivanovo, 2010. – 192 s.

2. Vajsberg L.A., Kartavyj A.N., Korovnikov A.N. Proseivajushhie poverhnosti grohotov. Konstrukcii, materialy, opyt primenenija / Pod red. L.A. Vajsberga. SPb.: Izd-vo VSEGEI. 2005. - 252 s.

3. Akulova, M.V. Modelirovanie processa klassifikacii sypuchih materialov na vibrogrohotah s mnogojarusnoj komponovkoj sit / M.V. Akulova, A.P. Aleshina, Al.V. Ogurcov, An.V. Ogurcov // Vestnik MGSU. – №2. – 2013. – S. 80–87.

4. Fedosov, S.V. Modelirovanie processa klassifikacii polidispersnyh materialov na vibrogrohotah / S.V. Fedosov, V.E. Mizonov, V.A. Ogurcov // Stroit. materialy. – 2007. – № 11. – S. 26 – 28.

5. Ogurcov, V.A. Modelirovanie kinetiki vibrogrohochenija na osnove teorii cepej Markova / V.A. Ogurcov, S.V. Fedosov, V.E. Mizonov // Stroit. materialy. – 2008. – № 5. – S. 33 – 35.

6. Ogurcov, V.A. Raschetnoe issledovanie dvizhenija chastic po poverhnosti vibrogrohota / V.A. Ogurcov, V.E. Mizonov, S.V. Fedosov // Stroit. materialy. – 2008. – № 6. – S. 74 – 75.

7. Ogurcov, V.A. Modelirovanie dvizhenija chastic nad poverhnost'ju sita vibrogrohota / V.A. Ogurcov // Stroit. materialy. – 2008. – № 8. – S. 72 – 73.

8. Blehman I.I. Vibracionnaja mehanika. – M., 1994. – 400 s.

9. Vibracii v tehnike: spravochnik. – T.4: Vibracionnye mashiny i processy. / pod red. Je.Je. Lavendela. – M., 1981. – 509 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Алимжанов Мурат Дуанбаевич – кандидат технических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: murat2151@mail.ru.

Костюченков Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор акционерного общества «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: Kostyuchenkov_NV@mail.ru.

Берсугир Мухамади Амирович – кандидат физико-математических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: bersugir68@mail.ru.

Калиев Адильбек Бекбулатович – кандидат технических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: adilbekk @mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Alimzhanov Murat – Candidate of Technical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: murat2151@mail.ru.

Kostyuchenkov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of noncommercial join stock company “S. Seifullin Kazakh Agro Technical University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: Kostyuchenkov_NV@mail.ru.

Bersugir Muchamadi – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: bersugir68@mail.ru.

Kaliev Adilbek – Candidate of Technical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: adilbekk @mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 29.03.2021

УДК 631.312.63
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-17-23

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МАСШТАБНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МЕЛИОРАТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

[1]Венкова Надежда Валерьевна

[1]Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. *Применяемые современные технологии печати 3D могут обеспечить современного ученого необходимым количеством физических моделей для проведения экспериментов, значительно снизив время на производство, стоимость моделей и повысив точность изделий. Изучали применение 3D технологий для изготовления физических моделей. Проанализированы преимущества распространенных технологий печати. Подбирали оптимальный филамент для печати модели плужного каналокопателя типа МК-16 в масштабе 1:10 на 3D принтере Anycubic Predator. Показано, что многообразие филаментов и возможность обработки при печатании экспериментальных рабочих органов на 3D принтере, позволяют максимально близко подойти к*

созданию масштабных прототипов по физическим характеристикам, близким к натуральным моделям. Сравнительный анализ различных моделей показал, что точность 3D печати масштабной модели будет намного выше, чем производство равноценной модели из металла. Проведены лабораторные испытания на прочность физической модели в грунтовом канале при следующих параметрах: тип грунта – суглинок, плотность грунта – 4 удара ударника ДорНИИ, влажность 18 %. Максимальное зафиксированное усилие на модели составило 374 Н. Полученные усилия модель выдержала, никаких видимых повреждений не обнаружено. Сделан вывод, что прочность моделей из пластика сопоставима с прочностью изделий, выполненных из металла, и ее достаточно, чтоб, чтобы проводить лабораторные испытания

Ключевые слова: *эскизный проект, масштабная модель, 3D печать, качество, прочность.*

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR CONDACTING LARGE-SCALE EXPERIMENTS WITH RECLAMATION WORKING BODIES

[1]Venkova Nadezhda

[1]Institute of Amelioration, water management and construction named after A.N. Kostyakov
FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Abstract. *The applied modern 3D printing technologies can provide a modern scientist with the necessary number of physical models for conducting experiments, significantly reducing the production time, the cost of models and increasing the accuracy of products. The use of 3D technologies for the manufacture of physical models has been studied. The advantages of common printing technologies are analyzed. The optimal filament was selected for printing a model of a plow canal digger MK-16 at a scale of 1:10 using the Anycubic Predator 3D printer. It is shown that the variety of filaments and the possibility of processing when printing experimental working bodies on a 3D printer make it possible to approach as close as possible to the creation of large-scale prototypes in physical characteristics close to natural models. Comparative analysis of various models showed that the accuracy of 3D printing of a scale model will be much higher than the production of an equivalent model from metal. Laboratory tests for the strength of a physical model in a soil channel were carried out with the following parameters: soil type – loam, soil density – 4 strikes of the DorNII striker, humidity 18 %. The maximum recorded force on the model was 374 N. The model withstood the received forces, no visible damage was found. It was concluded that the strength of plastic models is comparable to the strength of products made of metal, and it is enough to carry out laboratory tests.*

Keywords: *sketch design, scale model, 3D printing, quality, durability*

Введение. Конечный потребитель, будь это производство или частное лицо, желают получить агрегат, узел или деталь наилучшего качества с наилучшими характеристиками и наименьшей стоимостью, что в свою очередь задает тенденции современного производства. Для этого производитель старается оптимизировать создание любого изделия еще на этапе получения ТЗ (технического задания), проведения НИОКР (Научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ), эскизного проекта, не говоря о последующих этапах, которые являются более ресурсоемкими и затратными.

При проведении НИОКР, создания эскизного проекта, рабочей документации, чертежи выполняются в соответствии с ГОСТом, который имеет определенные требования, при этом необходимо учитывать имеющееся оборудование, и квалификацию рабочего персонала.

Целью данной работы является подбор оптимального филамента для печати модели плужного каналокопателя типа МК-16 в масштабе 1:10 на 3D принтере Anycubic Predator и проведение лабораторных испытаний данной модели на прочность.

Для эффективного использования мощности производства инженеру необходимо использовать программное обеспечение, которое облегчит не только его труд, но и уменьшит трудозатраты с увеличением точности производства. Это программное обеспечение – САПР (Система автоматизированного проектирования – рисунок 1) программы, в которых уже заложена работа в системе ЕСКД (Единая Система Конструкторской Документации). Такие программы позволяют получить высокоточные 3D модели, выполнять расчеты МКЭ (Методом Конечных

Элементов), делать чертежи сразу с 3D моделей, выводить деталировки на станки с ЧПУ (Числовым Программным Управлением), в том числе и на 3D принтеры (рисунок 2), автоматически создавать спецификации сборок любой сложности, загружать все документы в облачное хранилище с доступом любого доверенного лица к документам в любой точке мира [11].

Рисунок 1 – САПР Компас 3D

Рисунок 2 – 3D принтер Anycubic Predator

После разработки любого агрегата, узла или детали настает момент выпуска изделия, но выпускать сразу изделие в продажу - очень неэффективный метод и поэтому сначала делают опытные образцы изделия и чтобы уменьшить расходы на предварительные изделия рационально делать масштабные модели [4]. В рамках производства на заводе можно получить изделия из металла необходимой точности, но это является очень затратно, особенно для ученых и аспирантов, которые не имеют собственного производства, финансовой поддержки и дорогостоящей аппаратуры для изготовления масштабных моделей. Не имея такого оборудования, ученые и аспиранты зачастую сталкиваются с очень низкой точностью полученных масштабных моделей, что сильно влияет на результаты, которые они получают в результате своей научной деятельности.

На данный момент одной из самой бурной развивающиеся технологий является 3D печать. 3D печать хотя и достаточно молодая технология, но уже нашла множественное применение в науке, медицине и производстве [12]. Конечно, в разных направлениях применения 3D печать может иметь, как и очень низкую стоимость – печать пластиком, так и очень дорогую – печать сталью или печать органических тканей.

Для ученых, аспирантов или студентов 3D печать является одной из самых доступных и малотрудоемких способов получить масштабные модели для своих исследований.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим две самые распространённые технологии печати: послойной укладки пластика (FDM- fused deposition modeling) и стереолитография (SLA-stereolithography apparatus) [2]. У каждой из технологий есть свои преимущества и недостатки. Ключевым недостатком SLA печати является низкая прочность полученных изделий, сверхдорогая смола, не большая область печати, токсичность и высокая цена, а из плюсов можно выделить более высокую точность относительно FDM печати.

У FDM печати прочность нити, физические свойства и токсичность зависят от материала печати – филамента, а вот прочность всей детали в целом будет зависеть, как и от выбранного материала, так и от заданных параметров и режимов печати [3, 18, 19].

Точность 3D печати масштабной модели будет намного выше, чем производство равноценной модели из металла. На рисунках 4– 6 показаны модели рабочего органа плужного каналокопателя МК-16. На рисунке 4 модель, выполненная с помощью САПР на основе НИОКР, на рисунке 5 модель, напечатанная на 3D принтере и на рисунке 6 модель, сделанная из металла. Рассмотрев эти рисунки, можно явно сказать, что модель, напечатанная на 3D принтере максимально близка к модели, сделанной в САПР, но модель из металла при изготовлении вышла за допуски всех линейных размеров, полученных в САПР.

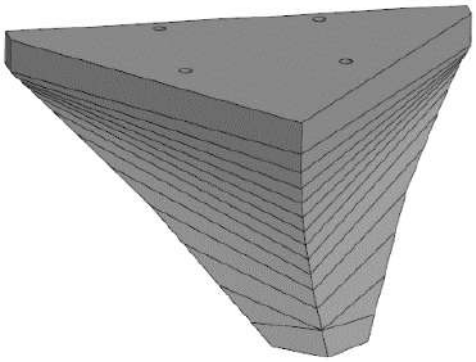


Рисунок 3 – Модель рабочего органа плужного каналокопателя МК-16, выполненная в САПР

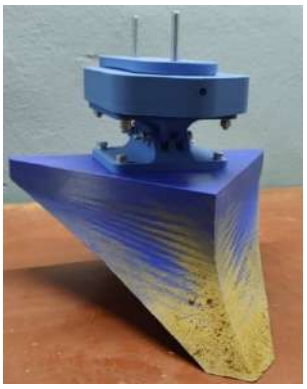


Рисунок 4 – Модель рабочего органа плужного каналокопателя МК-16, напечатанная на 3D принтере

Рисунок 5 – Модель рабочего органа плужного каналокопателя МК-16, сделанная из металла

Модель, показанная на рисунке 4, выполнена из пластика PLA фирмы FDplast и себестоимость такой модели, с учетом амортизации принтера 792 рубля, использовано пластика 690 грамм [13, 19], а модель, выполненная из металла даже с учетом низкой точности, вышла в 2750 рублей и это только цена материала без учета стоимости работ.

Для проведения экспериментов необходимы масштабные модели в большом количестве. Модели могут быть, как и в разных масштабах, так и с разными формами, именно из-за этого точность изготовления и соответствие расчетной форме играет огромную роль. 3D печать в условиях исследований может значительно сократить затрачиваемое время на готовую модель, и обеспечить экономическую эффективность.

Рассмотрим способ получения одной такой модели, на примере плужного рабочего органа каналокопателя:

1) По известной технологии определяют данные для построения проекций плужного корпуса, затем получают координаты всех точек в плоскостях X, Y, Z. [1];

2) Полученные точки переносят в 3-х мерное пространство и по этому каркасу уже строят твердое тело (рисунок 6);

3) Твердотельную модель адаптируют под необходимый масштаб (для нашей модели 1:10) и 3D печать;

4) Модель сохраняют в формате .STL (stereolithography) и загружают ее в специальную программу для послойной нарезки модели – слайсер. В этой программе задаются все параметры для печати: характеристики принтера и пластика, обеспечивается требуемая прочность детали через процент заполнения и количество линий периметров. Происходит нарезка моделей с учетом всех требований (рисунок 7), в результате получается файл с расширением .gcode;

5) Файл с расширением gcode загружается на принтер и начинается печать. Примерное время печати рассматриваемой модели – 25 часов.

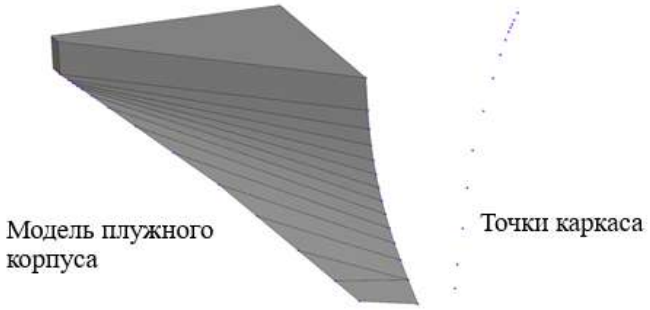


Рисунок 6 – Каркас из точек для построения модели плужного каналокопателя

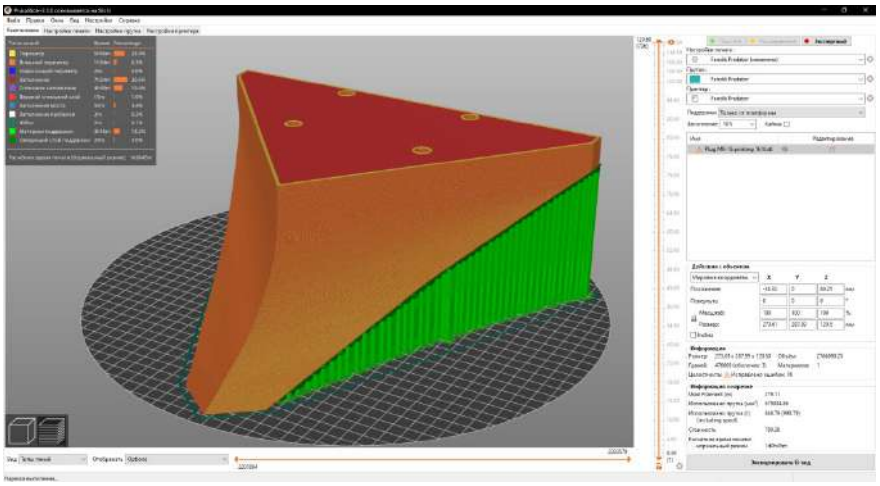


Рисунок 7 – Нарезанная модель плужного каналокопателя

Готовая модель (рисунок 8) была установлена на грунтовый лоток, где были проведены испытания [5] при следующих параметрах: тип грунта – суглинок, плотность грунта – 4 удара ударника ДорНИИ, влажность 18 %. Максимальное зафиксированное усилие на модели составило 374 Н. Полученные усилия модель выдержала, никаких видимых повреждений не обнаружено.

Рисунок 8 – Испытания напечатанной модели на грунтовом лотке

Выводы. 1. Применяемые современные технологии печати 3D могут обеспечить современного ученого необходимым количеством физических моделей для проведения экспериментов, значительно снизив время на производство, стоимость моделей и повысив точность изделий;

2. Прочность моделей из пластика сопоставима с прочностью изделий, выполненных из металла, и ее достаточно, чтоб, чтобы проводить лабораторные испытания;

3. Многообразие филаментов и возможность обработки при печатании экспериментальных рабочих органов на 3D принтере, позволяют максимально близко подойти к созданию масштабных прототипов по физическим характеристикам близким к натуральным моделям.

Список литературы

1. Ревин Ю.Г., Леонтьев Ю.П., Губер К.В. Технологические машины и оборудование природообусройства (основы теории и общий расчет мелиоративных маши). – Москва: РГАУ-МСХА, 2016.

2. Горьков Д., Холмогоров В. 3D – печать с нуля. – СПб: БХВ-Петербург, 2020.

3. Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б. 3D-печать: практ. рук. – М.: ДМК-Пресс, 2020.

4. Абезин В. Г., Сальников А.Л., Беспалова О.Н. Практикум по сельскохозяйственным и мелиоративным машинам. – М.:КНОРУС, 2016.

5. Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И. Расчет машин и оборудования природообустройства. – М.: МЭСХ, 2020. – 86 с.

6. Гарбузов З.Е., Барановская В.И. Проектирование каналостроительных машин. – М.: Машиностроение, 1995.

7. Механизация растениеводства / В.М. Халанский [и др.]. – М.: РГАУ-МСХА, 2014. – 524с.

8. Всё о 3D печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://k3d.tech/ (дата обращения: 14.02.2021).

9. Руководство по устранению распространенных проблем 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/rukovodstvo-ustraneniyu-problem-3d-pechati/ (дата обращения: 14.02.2021).

10. Настройка Klipper для Delta (Predator SKR1.4 Turbo + 2209 UART) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/blogs/sumerok/nastroyka-klipper-dlya-delta-predator-skr14-turbo-2209-uart (дата обращения: 14.02.2021).

11. Энциклопедия 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki (дата обращения: 17.03.2021).

12. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/ (дата обращения: 15.03.2021).

13. 3D печать на заказ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dmf.ru/3d-pechat/ (дата обращения: 18.03.2021).

14. Советы новичкам 3D-печати от экспертов российского 3D-рынка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/blogs/administrator/tips-for-beginners-of-3d-printing-from-the-experts-of-the-russian-3d-m/ (дата обращения: 19.03.2021).

15. Основы 3D-моделирования для 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/post/417605/ (дата обращения: 22.03.2021).

16. Проблемы качества 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dpt.ru/page/faq (дата обращения: 19.03.2021).

17. 20 наиболее распространенных проблем 3D печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://garremmash/the-203dtoday.ru/blogs-most-common-problems-of-3d-printing-part-1/ (дата обращения: 22.03.2021).

18. Плюсы и минусы применения 3D-принтера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://top3dshop.ru/blog/3D-printers-pro-e-contra-review.html (дата обращения: 22.03.2021).

19. 10 преимуществ 3D-принтера: экономим время и деньги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dpt.ru/page/3d-printer-efficiency (дата обращения: 13.03.2021).

20. Настройка и калибровка 3D-принтера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://robot-on.ru/articles/nastroyka-i-kalibrovka-3d-printera (дата обращения: 15.03.2021).

21. Филамент для 3d принтера. Разновидности 3d пластиковых нитей для печати. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dradar.ru/post/47866/ (дата обращения: 20.03.2021).

References

1. Revin YU.G., Leont'ev YU.P., Guber K.V. Tekhnologicheskie mashiny i oborudovanie prirodoobusrojstva (osnovy teorii i obshchij raschet meliorativnyh mashi). – Moskva: RGAU-MSKHA, 2016.

2. Gor'kov D., Holmogorov V. 3D – pechat' s nulya. – SPb: BHV-Peterburg, 2020.

3. Redvud B., SHofer F., Garret B. 3D-pechat': prakt. ruk. – M.: DMK-Press, 2020.
4. Abezin V. G., Sal'nikov A.L., Bespalova O.N. Praktikum po sel'skohozyajstvennym i meliorativnym mashinam. – M.:KNORUS, 2016.
5. Martynova N.B., Abdulmazhidov H.A., Balabanov V.I. Raschet mashin i oborudovaniya prirodoobustrojstva. – M.: MESKH, 2020. – 86 s.
6. Garbuzov Z.E., Baranovskaya V.I. Proektirovanie kanalostroitel'nyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1995.
7. Mekhanizaciya rastenievodstva / V.M. Halanskij [i dr.]. – M.: RGAU-MSKHA, 2014. – 524s.
8. Vsyo o 3D pechati [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://k3d.tech/ – Zaglavie s ekrana. (data obrashcheniya: 14.02.2021).
9. Rukovodstvo po ustraneniyu rasprostranennyh problem 3D-pechati [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/rukovodstvo-ustraneniyu-problem-3d-pechati/ (data obrashcheniya: 14.02.2021).
10. Nastrojka Klipper dlya Delta (Predator SKR1.4 Turbo + 2209 UART) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dtoday.ru/blogs/sumerok/nastroyka-klipper-dlya-delta-predator-skr14-turbo-2209-uart (data obrashcheniya: 14.02.2021).
11. Enciklopediya 3D-pechati [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dtoday.ru/wiki (data obrashcheniya: 17.03.2021).
12. Modelirovanie metodom poslojnogo naplavleniya (FDM) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/ (data obrashcheniya: 15.03.2021).
13. 3D pechat' na zakaz [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dmf.ru/3d-pechat/ (data obrashcheniya: 18.03.2021).
14. Sovety novichkam 3D-pechati ot ekspertov rossijskogo 3D-rynka [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dtoday.ru/blogs/administrator/tips-for-beginners-of-3d-printing-from-the-experts-of-the-russian-3d-m/ (data obrashcheniya: 19.03.2021).
15. Osnovy 3D-modelirovaniya dlya 3D-pechati [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://habr.com/ru/post/417605/ (data obrashcheniya: 22.03.2021).
16. Problemy kachestva 3D-pechati [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dpt.ru/page/faq (data obrashcheniya: 19.03.2021).
17. 20 naibolee rasprostranennyh problem 3D pechati [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://garremmash/the-203dtoday.ru/blogs-most-common-problems-of-3d-printing-part-1/ (data obrashcheniya: 22.03.2021).
18. Plyusy i minusy primeneniya 3D-printera [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://top3dshop.ru/blog/3D-printers-pro-e-contra-review.html (data obrashcheniya: 22.03.2021).
19. 10 preimushchestv 3D-printera: ekonomim vremya i den'gi [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dpt.ru/page/3d-printer-efficiency (data obrashcheniya: 13.03.2021).
20. Nastrojka i kalibrovka 3D-printera [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://robot-on.ru/articles/nastroyka-i-kalibrovka-3d-printera (data obrashcheniya: 15.03.2021).
21. Filament dlya 3d printera. Raznovidnosti 3d plastikovyh nitej dlya pechati. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://3dradar.ru/post/47866/ (data obrashcheniya: 20.03.2021).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Венкова Надежда Валерьевна – старший преподаватель института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: nvvenkova@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Venkova Nadezhda – senior lecturer of Institute of Amelioration, water management and construction named after A.N. Kostyakov Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: nvvenkova@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 05.04.2021

УДК 621.6.04
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-24-30

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИНЫ КВАЗИКАПИЛЛЯРНОГО ЭФФЕКТА В НЕПОДВИЖНОМ ПРОДУВАЕМОМ ЗЕРНИСТОМ СЛОЕ

[1]Королев Владимир Николаевич
[1]Островская Анна Валентиновна
[1]Амарская Ирина Борисовна
[2]Нагорнов Станислав Александрович
[2]Корнев Алексей Юрьевич
[1]ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н Ельцина»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Причина наличия квазикапиллярного эффекта или его отсутствия в узких трубках связана со структурой зернистого слоя и, как следствие, с величиной его средней порозности. При определении порозности в качестве твердой фазы использовали частицы различной формы и шероховатости: стеклянные, алунда и корунда. Зернистый материал засыпался в стеклянные трубки высотой 215 мм с одинаковой высоты без вибрации. Исследована средняя порозность неподвижного зернистого слоя в трубках, отношение внутреннего диаметра которых к диаметру частиц находится в пределах 1 – 25. Четкой зависимости величины средней порозности слоя частиц от внутреннего размера трубки не обнаружено. Выявлено, что причиной перемещения дисперсной среды (смесь воздуха и твердых частиц) без дополнительной затраты энергии вверх по трубке, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой, связана с повышенной порозностью слоя на расстоянии одного - полутора диаметров зерен от стенки трубки. Установлено, что, чем большая доля сечения трубки занята слоем с повышенной порозностью, то есть имеет меньшее сопротивление, тем дисперсная среда в трубке поднимается выше. Предложено возможное решение интенсификации процесса сушки зерновых культур путем размещения в плотном продуваемом теплоносителем слое зерен пучка труб с определенным отношением их диаметра к размеру зерна. За счет интенсивного фонтанирования зерен их поверхность из-за хаотического смещения будет активно контактировать с теплоносителем, что приведет к ускорению и более равномерному процессу сушки.*

Ключевые слова: *узкая трубка; твердые частицы; размер частиц; неподвижный зернистый слой; порозность слоя.*

STUDY OF THE CAUSE OF THE QUASICAPILLARY EFFECT IN THE STATIONARY BREEDING GRAIN LAYER

[1]Korolev Vladimir
[1]Ostrovskaj Anna
[1]Amarskaj Irina
[2]Nagornov Stanislav
[2]Kornev Alexey
[1]FSAEI HE "Ural Federal University named after First President of Russia Boris Yeltsin"
[2]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

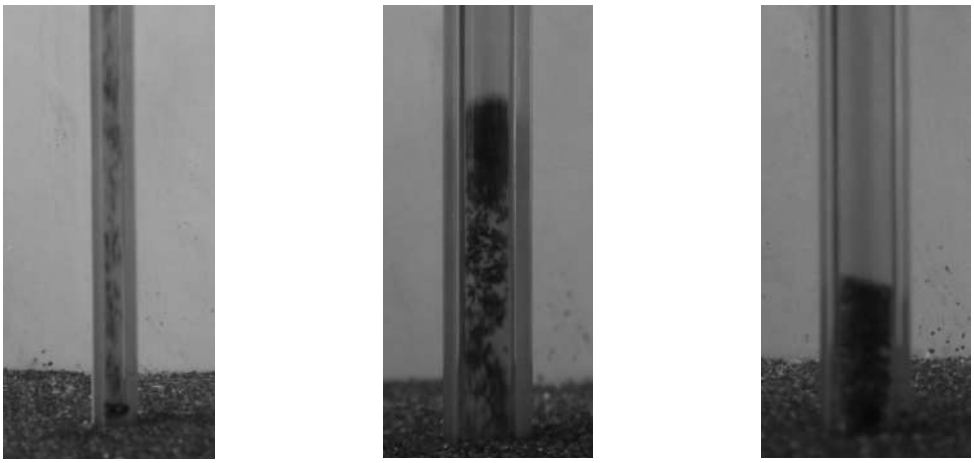
Abstract. *The reason for the presence of the quasicapillary effect or its absence in narrow tubes is associated with the structure of the granular layer and, as a consequence, with the value of its average void volume fraction. Particles of various shapes and roughness: glass, alundum and corundum were used to determine the fraction of the void volume as a solid phase. The granular material was poured into glass tubes with a height of 215 mm from the same height without vibration. The average fraction of the void volume of a fixed granular layer in tubes, the ratio of the inner diameter of which to the diameter of the particles is in the range of 1 - 25 are investigated. No clear dependence of the value of the average fraction of the void volume of the layer of particles on the internal size of the tube was found. It was found that the reason for the dispersed medium (a mixture of air and solid particles) to move without additional*

energy consumption up the tube, lowered into a stationary blown granular layer, is associated with an increased fraction of the void volume of the layer at a distance of one to one and a half grain diameters from the tube wall. It was found that the larger the fraction of the tube section is occupied by a layer with an increased fraction of the void volume, that is, has a lower resistance, the higher the dispersed medium in the tube rises. It was found that the larger the fraction of the tube section is occupied by a layer with an increased fraction of the void volume, that is, has a lower resistance, the higher the dispersed medium in the tube rises. A possible solution is proposed for intensifying the drying process of grain crops by placing a bundle of pipes with a certain ratio of their diameter to grain size in a dense layer of grains blown through by a heat carrier. The surface of the grains, due to intensive gushing due to chaotic displacement, will actively contact the coolant, which will lead to an acceleration and a more uniform drying process.

Keywords*: narrow tube; solid particles; particle size; fixed granular layer; porosity of the layer.*

Введение. Ранее [1] экспериментально исследован необычный эффект, названный нами квазикапиллярным, заключающийся в том, что если полый цилиндр (трубку) определенного внутреннего диаметра опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то дисперсная среда (смесь воздуха и частиц слоя) без дополнительной затраты энергии движется вверх по каналу сплошным потоком или поршнями, идущими друг за другом. Причем, внутренний диаметр трубки и его соотношение с размером частиц и глубиной погружения трубки в зернистый слой, определяют высоту подъема и характер движения частиц.

Визуально было установлено, что при $d_{тр}$ / $d_{ч}$ меньше 4 движения частиц по трубке не происходит. Начиная с $d_{тр}$/ $d_{ч}$ = 4 наблюдался стабильный подъем потока частиц на высоту, в десятки раз превышающую глубину погружения трубки в слой (рисунок 1а).



а *б* *в*

Рисунок – 1 Движение дисперсной среды по трубкам: *а* - $d_{тр}$/ $d_{ч}$ = 4; *б* - $d_{тр}$/ $d_{ч}$ = 10; *в* - $d_{тр}$/ $d_{ч}$ =11,5

При увеличении $d_{тр}$ / $d_{ч}$ увеличивалось и количество поднимающихся частиц, но высота их подъема уменьшалась (рисунки 1б и 1в). При $d_{тр} / d_{ч} \geq 20$ никакого эффекта, связанного с движением частиц по трубке, не наблюдалось.

Было предположено [1], что причина наличия квазикапиллярного эффекта или его отсутствия в узких трубках связана со структурой зернистого слоя и, как следствие, с величиной его средней порозности. Подробные исследования по влиянию ограничивающих слой стенок на величину средней порозности зернистого слоя при малых отношениях диаметра аппарата к размеру частиц засыпки в литературе отсутствуют. В [2] приводятся лишь единичные данные по величине порозности слоя в аппаратах, диаметр которых соизмерим с размером частиц засыпки.

Целью данного исследования являлось экспериментальное определение средней порозности неподвижного зернистого слоя в узких трубках, отношение внутреннего диаметра которых к

диаметру частиц засыпки ($d_{тр}$ / $d_ч$) изменялось от 1 до 25; установление причины необычного эффекта перемещения дисперсной среды без дополнительной затраты энергии вверх по трубке, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой, когда $4 \le d_{тр} / d_ч \le 20$, а также причины отсутствия этого явления, если $d_{тр} / d_ч$ меньше 4 и больше 20.

Материалы и методы. Порозность зернистого слоя определялась опытным путем. Стеклянные сферические частицы ($d_ч$ = 0,68 и 2 мм), а также округлые частицы алунда ($d_ч$ = 2,68 мм) и частицы корунда произвольной формы ($d_ч$ = 0,63 мм) применялись в качестве твердой фазы. Выбор частиц определялся тем, что величина порозности зернистого слоя в значительной степени зависит от формы частиц и шероховатости их поверхности, а вот от размера частиц практически не зависит [2]. Кроме того, частицы из стекла ($d_ч$ = 0,68 мм) и корунда ($d_ч$ = 0,63 мм) использовались в экспериментах по исследованию квазикапиллярного эффекта – явления самопроизвольного подъема твердых частиц в узких трубках, погруженных в неподвижный продуваемый зернистый слой [1]. При определении порозности засыпки в самых узких трубках $1 \le d_{тр} / d_ч \le 7$ использовались частицы размером 2 и 2,68 мм, так как загрузить мелкие частицы в узкие трубки (диаметр которых соизмерим с размером самих частиц) было очень затруднительно. Это было связано с тем, что засыпка частиц в узкие трубки осуществлялась практически поштучно.

Трубки, в которые насыпался зернистый материал, были выполнены из стекла и имели высоту 215 мм. Загрузка частиц в трубки осуществлялась с одинаковой высоты без вибрации. Масса насыпаемых в трубку частиц измерялась на электронных весах. По известной массе материала в слое M и измеренному объему засыпки $V_{сл}$ определялась плотность насыпного слоя $\rho_{нс} = M / V_{сл}$. Затем, зная истинную плотность частиц слоя ρ, рассчитывалась величина порозности засыпки $\varepsilon = 1 - (\rho_{нс} / \rho)$. Для каждого отношения $d_{тр} / d_ч$ опыт повторялся от трех до пяти раз. Это связано с непредсказуемостью укладки частиц при их засыпке в любой сосуд, а тем более в узкие трубки. Поэтому для достоверности результата приходилось опыт многократно повторять и по полученным в каждом из опытов значениям порозности рассчитывалась ее средняя величина для данного отношения $d_{тр} / d_ч$.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования средней порозности неподвижного зернистого слоя в трубках, отношение внутреннего диаметра которых к диаметру частиц засыпки ($d_{тр} / d_ч$) изменялось примерно от 1 до 25 представлены в таблице.

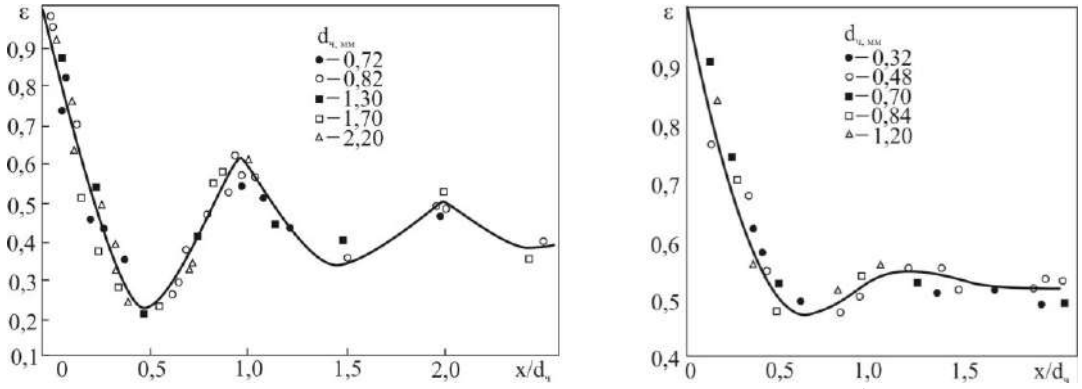
Таблица – Значение порозности слоя при различных отношениях диаметра трубки к размеру насыпанных в нее частиц

$d_{тр} / d_ч$	Сферические частицы, диаметром $d_ч$, мм (поверхность частиц гладкая)		$d_{тр} / d_ч$	Частицы округлой и произвольной формы поверхности эквивалентным диаметром $d_ч$, мм (поверхность частиц шероховатая)	
	2,0	0,68		2,68	0,63
2,0	0,55		1,1	0,34	
2,5	0,52		1,5	0,61	
3,0	0,51		1,9	0,57	
3,5	0,52		2,0	0,56	
4,0	0,53		2,2	0,57	
4,5	0,50		2,6	0,54	
5,0	0 4,5		3,0	0,52	
7,0	0,47	0,47	6,3		0,52
7,4		048	8,0		0,51
9,0		0,50	9,5		0,56
10,4		0,51	11,0		0,56
11,9		0,48	12,7		0,53
13,3		0,43	14,3		0,50
14,8		0,48	15,9		0,53
16,3		0,46	17,4		0,53
19,3		0,48	20,6		0,52
20,7		0,48	22,2		0,52
23,0		0,48	24,8		0,52

Анализ полученных данных показывает, что четкой зависимости величины средней порозности слоя частиц от внутреннего размера трубки, в которую частицы засыпались, не обнаружено. При отношения диаметра трубки к диаметру сферических частиц в интервале $2 \le d_{тр} / d_ч \le 4$ и в слоях частиц округлой и произвольной формы поверхности в интервале $1{,}5 \le d_{тр} / d_ч < 3$ величина порозности слоя несколько выше, чем для слоев при $d_{тр} / d_ч \ge 5$. Более рыхлую укладку можно объяснить влиянием ограждающих слой стенок. В таких узких трубках за счет стесненности сила трения частиц, контактирующих со стенкой, становится значительной и слой как бы зависает на стенках.

Величина порозности засыпки шероховатых частиц во всем исследованном диапазоне $1 \le d_{тр} / d_ч \le 25$ больше, чем для слоя из гладких сферических частиц. Связано это с тем, что шероховатость поверхности частиц препятствует уплотнению слоя и порозность засыпки получается выше. Как показал эксперимент, в интервале $d_{тр} / d_ч$. примерно от 5 до 17 имеют место колебания величины порозности зернистого слоя в зависимости от отношения $d_{тр} / d_ч$., причем это фиксируется, как в слоях сферических частиц, так и в слоях частиц произвольной формы поверхности. При $d_{тр} / d_ч$. $\ge$ 19 величина порозности засыпки остается практически неизменной. Следовательно, можно уверенно сделать вывод, что сосуды, поперечный размер которых превышает 20 диаметров частиц, с точки зрения структуры неподвижного слоя можно относить к аппаратам неограниченных размеров.

Ограничивающая зернистый слой стенка трубки нарушает случайную хаотическую структуру пристенного слоя и упорядочивает ее, что приводит к неравномерному сопротивлению зернистого слоя по сечению трубки вследствие чего и происходит самопроизвольный подъем твердых частиц в узкой трубке, погруженной в неподвижный продуваемый зернистый слой. Результаты экспериментального исследования [3] (рис.2) распределения локальной порозности неподвижного зернистого слоя вблизи плоской стенки в аппарате, диаметр которого на несколько порядков превышал размер частиц слоя ($d_{тр}$ / $d_ч$ > 20) показали, что локальная порозность сферических частиц у стенки (рисунок 2а) близка к единице, а на расстоянии половины диаметра частиц ее значение минимальное.



а *б*

Рисунок 2 – Распределение порозности слоя частиц сферической (*а*) и произвольной формы поверхности (*б*) у стенки

В слое частиц произвольной формы поверхности (рис.2,б) минимальное значение порозности наблюдается на расстоянии $x \approx 0{,}6 d_ч$ от стенки, а не при $x = 0{,}5 d_ч$, как в случае сферических частиц. Это объясняется тем, что шероховатые частицы, имеющие микровыступы неодинаковой длины, располагаются относительно поверхности на различных расстояниях. Среднее значение порозности слоя на расстоянии $x = 0{,}5 d_ч$ от плоской стенки, определенное методом графического интегрирования, в 1,25 раза больше, чем вдали от нее. Причем это значение практически одинаково как для зернистых слоев сферических частиц, так и частиц произвольной формы.

Как показали исследования [4], кривизна стенки аппарата не оказывает существенного влияния на структуру зернистого слоя, если только $d_{тр}$ / $d_ч$ ≥ 20. При $d_{тр}$ / $d_ч$ < 20 минимум порозности первого от вогнутой стенки ряда сферических частиц при их плотной укладке находится не на расстоянии равном 0,5 $d_ч$, как при соприкосновении с плоской стеной (рисунок 3а), а чуть дальше, т.к. точка касания сфер между собой с увеличением кривизны стенки смещается в направлении от поверхности (рисунок 3б).

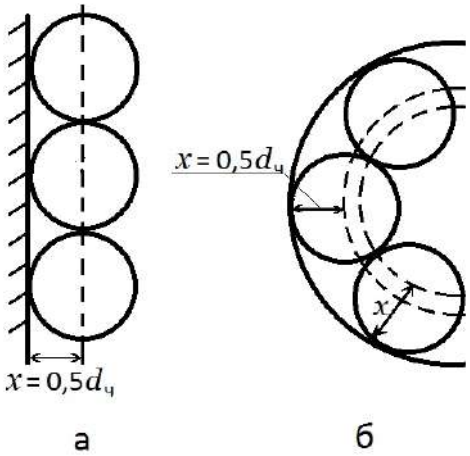


Рисунок 3 – Схема упаковки частиц сферической формы у поверхности стенки в сосудах: *а* – неограниченных размеров ($d_{тр}$ / $d_ч$ ≥ 20); *б* – ограниченных размеров ($d_{тр}$ / $d_ч$ < 20).

В работе [4] приводится формула для расчета расстояния от вогнутой стенки до точки касания плотно упакованных шаров в зависимости от $d_{тр}$ / $d_ч$. Согласно этой формулы при $d_{тр}$ / $d_ч$ = 4 расстояние (x) до точки касания шаров составляет 0,67$d_ч$, а при $d_{тр}$ / $d_ч$ = 20 x = 0,5 $d_ч$, т.е. как от плоской стенки. Если учесть это, то для узкой трубки внутренним диаметром 2,7 мм, в которой находится слой сферических частиц диаметром 0,68 мм ($d_{тр}$ / $d_ч$ = 4), доля площади сечения трубки с повышенной порозностью а, следовательно, с меньшим гидравлическим сопротивлением и большей скоростью воздуха, составляет 58,9 %. Эта макроскопическая неоднородность слоя и являться своего рода затравкой и причиной интенсивного потока смеси отдельных частиц и воздуха в трубке, погруженной в неподвижный продуваемый зернистый слой.

С увеличением отношения $d_{тр}$ / $d_ч$ доля площади сечения трубки с повышенной порозностью становится меньше. Так для трубки внутренним диаметром 3,8 мм ($d_{тр}$ / $d_ч$ = 5,6) эта доля составляет 38,8 %, для трубки 6,8 мм ($d_{тр}$ / $d_ч$ = 10) – 21,1 %. По мере снижения доли площади сечения с повышенной порозностью уменьшается высота, на которую поднимается дисперсная среда изменяется и ее структура. Для трубки внутренним диаметром 13,6 мм ($d_{тр}$ / $d_ч$ = 20) площадь сечения с повышенной порозностью составляет только 10,1 %, поэтому заметного эффекта, связанного с движением частиц слоя внутри трубки, вообще не наблюдается.

При $d_{тр}$/ $d_ч$ = 3 расстояние (x) до точки касания шаров равно 0,77$d_ч$, а доля площади сечения с повышенной порозностью составляет 73,6 %. Казалось бы должен иметь место интенсивный подъем частиц, однако этот эффект отсутствует. Объяснить это можно тем, что при засыпке зернистого материала в вертикальную трубку происходит сжатие и некоторое смещение нижележащих слоев относительно стенок трубки. Если через насыпанный в вертикальную трубку зернистый слой пропускать восходящий поток газа, то давление каждого отдельного зерна на нижележащие зерна слоя будут уменьшаться. В случае узкой трубки, когда отношение ее диаметра к высоте насыпанного слоя много меньше единицы снижение давления зерен уменьшает вертикальные напряжения, но не изменяет образовавшуюся структуру засыпанного слоя, а следовательно, и боковое сжатие зерен стенками трубки. В очень узких трубках $d_{тр} / d_ч < 4$ при возникновении сдвиговой деформации под действием сил давления со стороны воздуха существенное влияние оказывает эффект расширения слоя (дилатансионный эффект Рейнольдса)

[5], что ведет к увеличению трения между стенками трубки и частицами, соприкасающимися с ней. При расширении слоя совершается работа против сил давления и частицы «закупоривают» канал, по которому дисперсная среда должно перемещаться. Поэтому даже при больших скоростях потока, когда гидравлический напор становится больше силы тяжести слоя, засыпанного в узкую трубку, на общую картину развития процесса оказывают существенное влияние силы трения слоя о внутреннюю поверхность трубки, и эффекта движения частиц в ней не наблюдается.

Заключение. Таким образом, в результате проведенного экспериментального исследования четкой зависимости величины порозности слоя от диаметра трубки, в которую засыпался зернистый материал не обнаружено.

Причиной перемещения дисперсной среды (смесь воздуха и твердых частиц) без дополнительной затраты энергии вверх по трубке, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой, является повышенная порозность слоя на расстоянии одного - полутора диаметров зерен от стенки. Этот пристенный эффект является своего рода затравкой, которая из-за силового воздействия потока воздуха порождает макроскопическую неоднородность слоя вследствие чего дисперсная среда движется вверх по каналу сплошным потоком или поршнями, идущими друг за другом. Причем, чем большая доля сечения трубки занята слоем с повышенной порозностью, то есть имеет меньшее сопротивление, тем дисперсная среда в трубке поднимается выше. При $d_{тр} / d_{ч} \geq 20$ доля сечения слоя с повышенной порозностью очень мала поэтому никакого перемещения частиц по трубке не происходит.

Рисунок 4 – Истечение зернистого материала из трубки, опущенной в неподвижный продуваемый слой

В очень узких трубках $\left(d_{тр} / d_{ч}\right) < 4$ под действием сил давления со стороны воздуха возникающие сдвиговые деформации, приводящие к расширению слоя, существенно увеличивают силы трения частиц о поверхность трубки. Частицы слоя «закупоривают» канал и даже, когда гидравлический напор становится больше силы тяжести слоя частиц, засыпанных в трубку, эффекта движения частиц в ней не наблюдается.

Принимая во внимание причины движения дисперсной среды по трубке, погруженной в неподвижный продуваемый зернистый слой, можно показать путь решения задачи, связанной с интенсификацией процесса сушки зерновых культур. Если в плотном продуваемом теплоносителем слое зерен разместить пучок труб с определенным отношением их диаметра к размеру зерна (например, $d_{тр}/ d_{ч} = 10{,}5$, как на рисунке 4), а длина этих труб над слоем будет меньше высоты подъема дисперсной среды в них, то за счет интенсивного фонтанирования зерен их поверхность из-за хаотического смещения будет активно контактировать с теплоносителем, что приведет к ускорению процесса сушки. Зерно будет высушиваться более равномерно, чем в неподвижном продуваемом слое.

Список литературы

1. Королев В.Н., Марков В.А., Нагорнов С.А. Квазикапиллярный эффект в неподвижном продуваемом зернистом слое // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т.91, №1. – С. 256 – 259.

2. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдоожижения. – М.: Химия, 1967. – 664 с.

3. Королев В.Н., Сыромятников Н.И., Толмачев Е.М. Структура неподвижного и псевдоожиженного слоя зернистого материала вблизи погруженной в него поверхности (стенки) // Инженерно-физический журнал. – 1971. – Т.21, – № 5. – С. 973 – 978.

4. Ridgway K., Tarbuck K.J. Voidage fluctuations in randomly-packed beds of spheres adjacent to a containing wall // Chem. Eng. Sci. – 1968. – V.23. – P. 1147 – 1155.

5. Гольдштик М.А. Процессы переноса в зернистом слое / Академия наук СССР, Сибирское отделение. Институт теплофизики. – Новосибирск, 1984. – 163 с.

References

1. Korolev V.N., Markov V.A., Nagornov S.A. Kvazikapillyarnyj effekt v nepodvizhnom produvaemom zernistom sloe // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. – 2018. – T.91, №1. – S.256 – 259.
2. Gel'perin N.I., Ajnshtejn V.G., Kvasha V.B. Osnovy tekhniki psevdoozhizheniya. – M.: Himiya, 1967. – 664 s.
3. Korolev V.N., Syromyatnikov N.I., Tolmachev E.M. Struktura nepodvizhnogo i psevdoozhizhennogo sloya zernistogo materiala vblizi pogruzhennoj v nego poverhnosti (stenki) // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. – 1971. – T.21, № 5. – S. 973 – 978.
4. Ridgway K., Tarbuck K.J. Voidage fluctuations in randomly-packed beds of spheres adjacent to a containing wall // Chem. Eng. Sci. – 1968. – V.23. – P. 1147 – 1155.
5. Gol'dshtik M.A. Processy perenosa v zernistom sloe / Akademiya nauk SSSR, Sibirskoe otdelenie. Institut teplofiziki. – Novosibirsk, 1984. – 163 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Королев Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, e-mail: korolev_vn133@mail.ru.

Островская Анна Валентиновна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, e-mail: aostrov9@gmail.com.

Амарская Ирина Борисовна – инженер Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, г. Екатеринбург, e-mail: i.b.amarskaia@urfu.ru.

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

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Korolev Vladimir – Full Doctor of Technical sciences, Professor of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Ural Federal University named after First President of Russia Boris Yeltsin”, Russia, Ekaterinburg, e-mail: korolev_vn133@mail.ru.

Ostrovskaj Anna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Ural Federal University named after First President of Russia Boris Yeltsin”, Russia, Ekaterinburg, e-mail: aostrov9@gmail.com.

Amarskaj Irina – engineer of of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Ural Federal University named after First President of Russia Boris Yeltsin”, Russia, Ekaterinburg, e-mail: i.b.amarskaia@urfu.ru.

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

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 10.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 15.04.2021

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-31-39

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРИЕРНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ СЕМЯН СОРГО 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 исследований физико-механических свойств семян сорго. Дана оценка закономерностей протекания процесса триерной очистки ячменя при минимальных скоростном режиме работы (n) и настроечном параметре (γ_n) в зависимости от величины навески ($m_н$) зерносмеси в стендовом ячеистом цилиндре и ее исходной засоренности ($З_и$). Установлено, что при минимальных n и γ_n интенсивность выделения примеси в первых двух интервалах времени измерений ($t_и$ = 5 с) имеет случайный характер взаимосвязи с $m_н$ и $З_и$, а в последующих интервалах она пропорциональна остаточной засоренности сегмента зерносмеси. Продолжительность выделения примеси с ростом $З_и$ увеличивается, однако достаточный уровень степени ее выделения обеспечивается стандартной длиной ячеистого цилиндра (l = 2,2 м) при остаточной засоренности $З_{о_{ст}}$= 0,01 – 0,122 % во всем диапазоне изменения $m_н$ и $З_и$. Технологические потери также находятся в допустимых пределах – 0,036 – 0,308 %. Даны закономерности взаимосвязи динамики и качества выделения семян сорго из ячменя с n и γ_n. Установлено, что степень выделения примеси стандартной длиной ячеистого цилиндра ($С_{в_{ст}}$) при $З_и$ = 1 % падает с ростом γ_n в диапазоне 35 – 55°: при n = 40 об/мин − до 21,1 %; при n = 45 об/мин – до 32,5 %; при n = 50 об/мин – до 83,2 %; при n=55 об/мин – до 91,1 %. Технологические потери с ростом γ_n снижались во всех сериях опытов. С увеличением исходной засоренности зерносмеси $С_{в_{ст}}$ возрастает незначительно, а остаточная засоренность зерносмеси кратно возрастает до неприемлемого уровня (> 1 %). При этом технологические потери не изменялись. Установлено, что для кукольного цилиндра стандартной длины оптимальные параметры процесса обеспечиваются в диапазоне коэффициента кинематического режима К = 0,419 – 0,508 (35,4 – 38,9 об/мин) стандартного триерного блока и настройке выводного лотка − γ_n=35 – 45°.*

Ключевые слова: *зерносмесь, триер, разделение, динамика, качество, управление.*

REGULARITIES OF TRIER SEPARATION OF SORGHUM SEEDS FROM BARLEY

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

Abstract. *The results of studies of physical and mechanical properties of sorghum seeds are presented. An assessment of the regularities of the course of the process of trier cleaning of barley at the minimum speed mode of operation (n) and the setting parameter (γn), depending on the size of the weighed portion (mn) of the grain mixture in the bench cellular cylinder and its initial contamination (Zi) was given. It was found that at minimal n and γn, the intensity of impurity release in the first two intervals of measurement time (tp = 5 s) has a random relationship with mn and Zu, and in subsequent intervals it is proportional to the residual contamination of the grain mixture segment. The duration of the release of the impurity increases with an increase in Z_i, but a sufficient level of the degree of its release is provided by the standard length of the cellular cylinder (l = 2.2 m) with a residual contamination Z_{ost} = 0.01 – 0.122 % in the entire range of variation of m_n and Z_i. Technological losses are also within acceptable limits − 0.036 – 0.308 %. Regularities of interrelation of dynamics and quality of extraction of sorghum*

seeds from barley with n and γ_n are given. It has been established that the degree of impurity precipitation with a standard length of a cellular cylinder (C_{wst}) at Z_i = 1 % decreases with an increase in γn in the range 35-55°: at n = 40 rpm - up to 21.1 %; at n = 45 rpm - up to 32.5 %; at n = 50 rpm - up to 83.2 %; at n = 55 rpm - up to 91.1 %. Technological losses with increasing γ_n decreased in all series of experiments. C_{wst} increases slightly with an increase in the initial contamination of the grain mixture, and the residual contamination of the grain mixture multiplies to an unacceptable level (> 1 %). At the same time, technological losses did not change. It has been found that for a doll cylinder of standard length, the optimal process parameters are provided in the range of the kinematic mode coefficient K = 0.419-0.508 (35.4-38.9 rpm) of a standard grating unit and setting the output tray − γ_n = 35-45°.

Keywords: *grain mixture, trier, separation, dynamics, quality, management.*

Введение. Авторы работ [1 – 4] предпринимали попытки расчетным путем оценить динамику процесса выделения частиц из зерносмеси. Однако, эти попытки не позволили получить объективные оценки процесса и не могли послужить основой проектирования триерных технологий. Без экспериментальных данных авторы не имели возможности учитывать специфические физические эффекты, значимо влияющие на степень заполнения ячей и производительность триеров. Павловский Г.Т. [5, 6] экспериментально получил усредненные оценки динамики процесса триерного разделения зерносмесей, которую оценивал коэффициентом использования ячеистой поверхности, представляющего собой отношение фактически выделенных частиц к теоретически возможному количеству. Эти результаты не могут служить основой оптимизации и эффективного управления триерными технологиями. Летошнев М.Н. в своей основополагающей работе [7] назвал результаты исследований Павловского Г.Т. «предположительными оценками». Из-за недостатка знаний о динамике триерных процессов в последующие годы авторами работ [8 – 11] для расчета производительности триеров использовались «нормативы» по удельной нагрузке на единицу площади ячеистых поверхностей, которые исключали взаимосвязь оценок с режимами работы и настроечными параметрами. В ФГБНУ ВНИИТиН было создано стендовое оборудование [12 – 14], которое позволило получать объективные знания о динамике триерных процессов по длине ячеистой поверхности [15, 16]. С использованием этого оборудования получены экспериментальные данные о разделении зерносмесей на основе пшеницы. Вместе с тем физико-механические свойства зерносмесей на основе ячменя существенно отличаются от ранее исследованных, а результаты по их разделению с детализацией, необходимой для эффективного управления триерной технологией, в литературе отсутствуют.

Материалы и методы. В работе использованы приборы и стенды циклического действия [12 – 14], позволяющие заменить пространственную модель процесса на перспективную временную (рисунок 1), метод идентификации производительности триера по результатам стендовых испытаний, метод расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности, решетный классификатор, электронные весы, приборы для определения физико-механических свойств компонентов зерносмеси.

Рисунок 1 – Прибор для выделения примесей из зерносмесей (Патент РФ № 2647526 [13])

Результаты и обсуждение. Сорго (суданская трава) широко распространена в различных климатических зонах земного шара, она используется на кормовые цели. Зерно сорго перерабатывают в крупу, муку и крахмал, из соломы изготовляют плетенные изделия, бумагу, веники. Физико-механические свойства семян сорго следующие: насыпная плотность – 816 кг/м^3; линейные размеры – длина 3,6 – 4,7 мм, ширина 3,0 – 3,7 мм, толщина – 2,0 – 2,6 мм; угол естественного откоса – 33,2°; влажность – 12,4 %; масса 1000 семян – 22,1 г.

Из приведенных выше данных видно, что максимальный размер зерновок сорго (их длина) превышает (l_{max} = 4,7 мм) наиболее распространенный в производстве размер ячей кукольного цилиндра ($d_я$ = 4,5 мм). Однако число зерновок сорго в выборке с размерами $l > d_я$ составляет лишь 11,7 %, рисунок 2. Принимая во внимание границы распределений других линейных размеров зерновок сорго (ширина 3,0 – 3,7 < 4,5 мм; толщина – 2,0 – 2,67 < 4,5 мм), можно считать долю зерновок (11,7 %) с превышением $d_я$ несущественной при общей оценке устойчивости их размещения в ячеях.

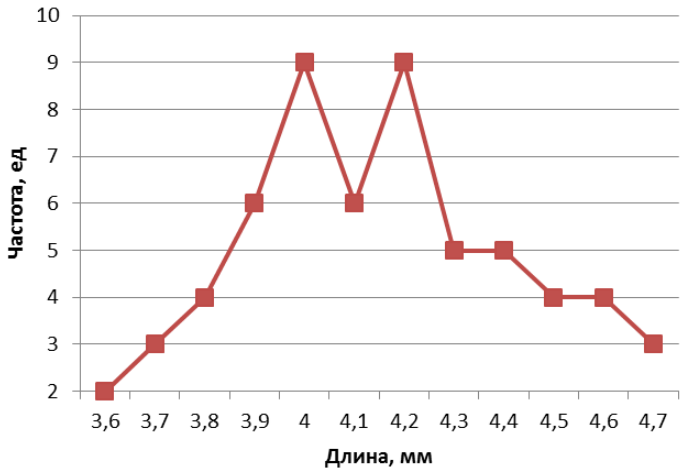


Рисунок 2 – Полигон распределения признака длины зерновок сорго

Динамика выделения семян сорго из ячменя в зависимости от величины навески ($m_н$) в ячеистом цилиндре стенда и минимальных значениях n, $\gamma_п$ и $З_и$ представлены на рисунке 3.

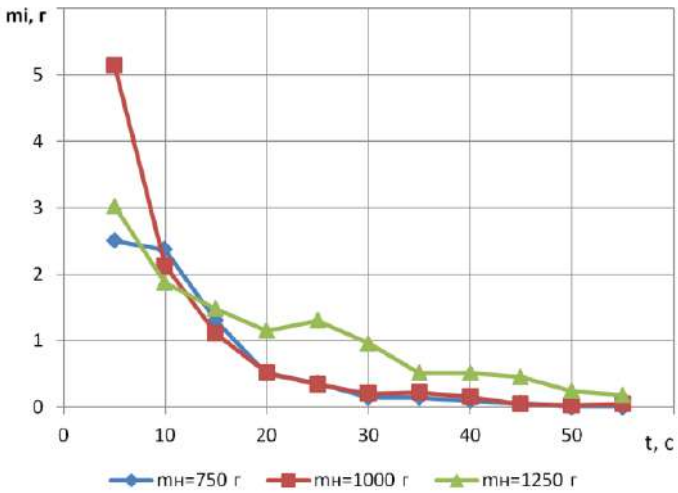


Рисунок 3 – Динамика выделения сорго в зависимости от толщины слоя при засоренности 1%, n=40 об/мин, $\gamma_п$=35°

Аналогичные закономерности получены экспериментально и для более высоких концентраций примеси ($З_и$ = 2 и 3%). Общим для всех закономерностей выделения примеси на минимальных n, $\gamma_п$ являются два обстоятельства:

− интенсивность выделения семян сорго из ячменя в первых двух интервалах времени измерений ($t_и$=5 с) носит случайный характер взаимосвязи с рассматриваемыми факторами;

− в последующих интервалах времени замеров интенсивность выделения примеси пропорциональна абсолютному ее содержанию в навеске зерносмеси ($m_н$).

Первое обстоятельство объясняется недостаточной воспроизводимостью сопоставимых условий опыта и случайным характером протекания процесса динамической сегрегации сорго в циркулирующих слоях сегмента зерносмеси в начальный период. Так из навески $m_н$ = 1000 г (рисунок 3) в первом интервале времени замеров выделилось в 2 раза больше, чем из навески $m_н$ = 1250 г, а в последующих интервалах соотношение выделяемых масс примеси меняется на противоположное.

Второе обстоятельство объясняется тем, что физико-механические свойства примесного компонента обеспечивают высокий уровень его положительной (движение к ячеистой поверхности) динамической сегрегации в циркулирующих слоях ячменя. Ранее нами было подтверждено [16], что концентрация легковыделяемой примеси в зерносмеси определяет потенциал динамической сегрегации. Особенно четко эта закономерность проявляется при $З_и$ = 3 %, где с 3-го по 11-ый интервал интенсивность выделения примеси не зависит от толщины сегмента. Однако продолжительность процесса увеличивается с ростом абсолютного количества примеси в навеске зерносмеси, таблица 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь динамики и качества выделения семян сорго из ячменя с $m_н$ и $З_и$ при n = 40 об/мин и $\gamma_п$ = 35°

№ п/п	Условия опытов		Показатели динамики и качества процесса				
	$m_н$, г	$З_и$, %	$t_в$, с	$C_{в_{ст}}$, %	$З_{о_{ст}}$, %	$П_{ст}$, шт	$П_{ст}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	750	1	75	98,8	0,0120	45	0,308
2	1000	1	75	99,0	0,0100	26	0,133
3	1250	1	100	92,9	0,0710	21	0,086
4	750	2	60	99,87	0,0027	9	0,062
5	1000	2	70	99,05	0,0190	7	0,036
6	1250	2	95	97,6	0,0490	20	0,082
7	750	3	70	99,4	0,0140	12	0,082
8	1000	3	100	97,5	0,0750	14	0,072
9	1250	3	100	95,9	0,1220	21	0,086

Из столбца 5 таблицы 1 видна меньшая степень выделения примеси стандартной длиной ячеистой поверхности ($C_{в_{ст}}$) при $m_н$ = 1250 г, указывающая на большую продолжительность процесса полного выделения примеси при больших навесках ($m_н$).

Остаточная засоренность зерносмеси обеспечивается стандартной длиной ячеистой поверхности на приемлемом уровне. Технологические потери в опытах изменялись случайным образом. При $З_и$ = 1 % они снижались с увеличением $m_н$. В последующих опытах при $З_и$ = 2 и 3 % отмечалась обратная тенденция. Однако, во всех опытах уровень технологических потерь не высок – он не превышает 0,31 %.

Увеличение n с 40 об/мин до 45 об/мин позволяет в 1,9 раз увеличить выделенную массу семян сорго из ячменя в первом интервале времени замеров при прочих равных условиях. Однако, дальнейшее увеличение скоростного режима работы на 22 % привело к росту выделенной примеси в 1-ом интервале времени замеров лишь на 11 %. Это объясняется тем, что при минимальном подъеме верхней кромки передней стенки выводного лотка ($\gamma_п$ = 35°) скоростной режим n = 45 об/мин уже обеспечивает подачу большей части факела выброса выделенных частиц в выводной лоток, таблица 2.

Таблица 2 – Взаимосвязь динамики и качества выделения семян сорго из ячменя с n и $\gamma_п$ при $m_н$ = 750 г $З_и$ = 1 %

№ п/п	Условия опытов		Показатели динамики и качества процесса				
	n, об/мин	$\gamma_п$, град	$t_в$, с	$C_{вст}$, %	$З_{остт}$, %	$П_{ст}$, шт	$П_{ст}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	40	35	75	98,8	0,012	45	0,308
2	40	45	75	71,9	0,281	38	0,260
3	40	55	150	22,0	0,780	32	0,220
4	40	65	150	21,1	0,789	25	0,171
5	45	35	35	100	0	26	0,178
6	45	45	55	100	0	15	0,103
7	45	55	105	58	0,420	10	0,068
8	45	65	200	32,5	0,675	6	0,041
9	50	35	35	100	0	46	0,315
10	50	45	35	100	0	17	0,116
11	50	55	91	91,2	0,088	24	0,164
12	50	65	190	83,2	0,168	22	0,150
13	55	35	35	100	0	68	0,465
14	55	45	30	100	0	38	0,260
15	55	55	30	100	0	27	0,185
16	55	65	65	91,1	0,089	30	0,205

Из таблицы 2 видно, что при n = 45 об/мин и минимальном $\gamma_п$ примесь выделяется полностью за 35 с, что эквивалентно 63,6 % рабочей длины стандартного ячеистого цилиндра. С увеличением $\gamma_п$ до 45° также обеспечивается 100 %-ное выделение примеси на скоростном режиме n = 45 об/мин, но при этом используется вся длина стандартного ячеистого цилиндра. При $\gamma_п$ = 55° степень выделения примеси не превышает 58 % на стандартной длине ячеистой поверхности. Еще более неприемлемым для скоростного режима работы n = 45 об/мин является настройка выводного лотка − $\gamma_п$ = 65°. При этом $C_{вст}$= 32,5 %, а $З_{остт}$= 0,675 %.

Повышение скоростного режима работы (50 и 55 об/мин) обеспечивает 100 % выделение примеси: первый – при $\gamma_п$ = 35 – 45°; второй – при $\gamma_п$ = 35 – 55°.

В анализируемой серии опытов технологические потери закономерно снижаются с ростом $\gamma_п$ на всех скоростных режимах работы: n = 40 об/мин → с 0,308 до 0,171 %; n = 45 об/мин → с 0,178 до 0,041 %; n = 50 об/мин → с 0,315 до 0,150 %; n = 55 об/мин → с 0,465 до 0,205 %.

Следует обратить внимание на то, что при минимальном $\gamma_п$ повышенная величина технологических потерь объясняется неустойчивым размещением зерновок основной культуры в ячеях кукольного цилиндра и их ранним выпадением, позволяющим преодолеть кромку лотка, поднятую на угол 35°. Еще большие технологические потери на скоростных режимах n = 50 – 55 об/мин объясняются эффектом инерционного удержания даже неустойчиво размещенных в ячеях зерновок основной культуры, обеспечивающего приращение их выброса в отводной лоток.

С увеличением навески зерносмеси в ячеистом цилиндре до $m_н$ = 1000 г и концентрации примеси до $З_и$ = 2 % в сравнении с условиями ($m_н$ = 750 г, $З_и$ = 1 %) существенно меняются динамика и качество процесса выделения семян сорго из ячменя (таблица 3), ее выделение оказывалось более продолжительным.

Выделение примеси в условиях ($m_н$ = 750 г, $З_и$ = 1 %) до $С_в$ = 100 % продолжалось 55 с на режиме n = 45 об/мин и настройке выводного лотка $\gamma_п$ = 45°. На тех же режиме и настройке при $m_н$ = 1000 г и $З_и$ = 2% продолжительность выделения примесного компонента составила 150 с. Причем за этот продолжительный период времени (в 2,7 раза больший) достигнута степень выделения примеси лишь на уровне $С_в$ = 96,8 %. При максимальном повороте кромки выводного лотка ($\gamma_п$ = 65°) на режиме работы n = 45 об/мин динамика процесса по продолжительности и степени выделения также существенно отличается.

Таблица 3 – Взаимосвязь динамики и качества выделения семян сорго из ячменя с n и $\gamma_п$ при $m_н$ = 1000 г $З_и$ = 2%

№ п/п	Условия опытов		Показатели динамики и качества процесса				
	n, об/мин	$\gamma_п$, град	$t_в$, с	$C_{вст}$, %	$З_{остм}$, %	$П_{ст}$, шт	$П_{ст}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	40	35	70	99,05	0,019	7	0,036
2	40	45	200	63,50	0,731	13	0,067
3	40	55	300	31,70	1,367	–	–
4	40	65	400	23,95	1,521	4	0,021
5	45	35	50	100,00	0	26	0,133
6	45	45	150	96,75	0,065	11	0,056
7	45	55	300	41,80	1,164	8	0,041
8	45	65	400	33,70	1,327	4	0,021
9	50	35	35	100,00	0	48	0,246
10	50	45	55	100,00	0	49	0,251
11	50	55	165	91,10	0,178	18	0,092
12	50	65	400	45,70	1,087	5	0,026
13	55	35	50	100,00	0	90	0,462
14	55	45	55	100,00	0	32	0,164
15	55	55	105	99,60	0,006	15	0,077
16	55	65	260	92,30	0,154	14	0,072

При $m_н$ = 750 г и $З_и$ = 1 % продолжительность выделения семян сорго из ячменя до степени выделения $C_в$ = 87,5 % составила 200 с, а в случае $m_н$ = 1000 г и $З_и$ = 2 % − 400 с при меньшей степени выделения − 85,8 %. На режиме работы n = 50 об/мин и настройке выводного лотка $\gamma_п$ = 45° продолжительность процесса оказалась в 1,6 раза больше, чем при $m_н$ = 750 г и $З_и$ = 1 %.

По результатам исследований, представленным в таблице 3 видно, что для кукольного цилиндра стандартной длины оптимальная динамика процесса обеспечивается на скоростных режимах работы в диапазоне коэффициента кинематического режима K = 0,419 – 0,508, что соответствует диапазону скоростей натурного ячеистого цилиндра диаметром 0,6 м – n = 35,4 – 38,9 об/мин (на стенде этот диапазон – n = 50 – 55 об/мин). Диапазон настройки выводного лотка при этом составляет $\gamma_п$=35 – 45°.

Относительно технологических потерь установлено, что с уменьшением числа циркулирующих слоев (с уменьшением $m_н$) они возрастают. Абсолютное число потерь при $m_н$ = 750 г в 16-ти опытах составило 424 зерновки основной культуры, а при $m_н$ = 1000 г – 344 зерновки, что в 1,23 раза меньше. Причем во втором случае 344 зерновки выделены в отводной лоток за суммарную продолжительность 16-ти опытов в 2995 с, а в первом случае – 424 зерновки основной культуры выведены в отводной лоток за 1356 с, что 2,2 раза меньше.

Сопоставление результатов опытов показывает, что величина технологических потерь является случайной. Так в опытах 10 и 11 (таблица 2) величины потерь зерновок основной культуры имеют обратную связь с величиной $\gamma_п$ относительно ожидаемой. Большему значению $\gamma_п$ в 11-ом опыте соответствовали большие потери зерновок (24 шт.), чем в 10-ом опыте при меньшем $\gamma_п$ (17 шт.). И в 12-ом опыте потерь больше даже при максимальном значении $\gamma_п$.

На рисунке 4 показана динамика выделения семян сорго из ячменя при оптимальных режимах работы стенда (n = 55 об/мин, $\gamma_п$ = 45°) в зависимости от величины исходной засоренности зерносмеси ($З_и$). Выделенные навески в опытах приведены к равному интервалу времени замеров ($t_и$ = 10 с).

Из рисунка 4 видно, что интенсивность выделения примесных частиц пропорциональна величине исходной засоренности ($З_и$). В первом интервале числовому ряду исходных концентраций примеси (1 – 2 – 3) соответствует числовой ряд соотношений выделенных масс примеси (1 – 2,1 – 2,9). Во втором интервале времени замеров ($t_и$=10 с) соответствующий числовой ряд соотношений выделенных масс примеси выглядит так: 1 – 1,55 – 3,6.

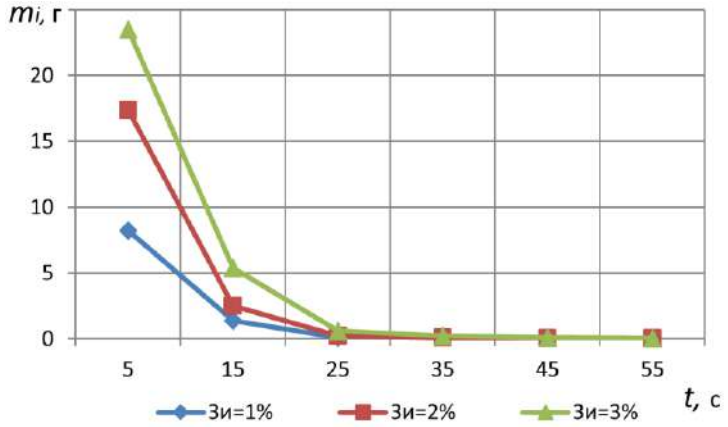


Рисунок 4 – Динамика выделения сорго из ячменя в зависимости от $З_и$
при n=55 об/мин, $m_н$=1000 г и $\gamma_п$=45° в зависимости от $З_и$

Для второго интервала характерны большие отклонения от соответствия указанным выше числовым пропорциям, но суммарно (по всем интервалам) эти пропорции сохраняются, так как величины контролируемых периодов времени отличаются незначительно. Они изменяются в диапазоне 40 – 60 с. В этом диапазоне сохраняется и пропорциональность продолжительности 100 %-го выделения примесного компонента и величины исходной засоренности зерносмеси.

С ростом навески до $m_н$ = 1250 г при тех же скоростном режиме (n = 55 об/мин) и настройке выводного лотка ($\gamma_п$ = 45°) продолжительность выделения увеличивается до $t_в$ = 70 с, хотя за $t_в$ = 55 с, соответствующее продолжительности движения сегмента зерносмеси на всю длину стандартного кукольного цилиндра выделяется 99,7 % примеси при $З_и$ = 2 %. Визуально динамика выделения семян сорго из ячменя при указанных выше условиях представлена на рисунке 5.

Рисунок 5 – Динамика выделения семян сорго из ячменя
при $m_н$=1250 г; $З_и$=2%; n=55 об/мин; $\gamma_п$=45°

Из рисунка 5 видно, что в первых двух интервалах времени измерений по $t_и$ = 10 с выделяется 94,4 % примеси. Интенсивная динамика процесса в его начале объясняется ярко выраженным для этого вида примеси эффектом динамической сегрегации в циркулирующих слоях зерносмеси.

Выводы. При минимальных n и $\gamma_п$ динамика выделения семян сорго из ячменя имеет случайный характер взаимосвязей с числом циркулирующих слоев в сегменте и исходной засоренностью зерносмеси. При оптимальных значениях скоростного режима работы (n =

55 об/мин) и настроечного параметра ($\gamma_n = 45°$) процесс протекает лавинообразно – в первых двух интервалах времени замеров выделяется 94,4 % примеси, а величина выделяемых масс примеси пропорциональна исходной засоренности зерносмеси. Технологические потери носят случайный характер, но со снижением числа циркулирующих слоев зерносмеси в сегменте они возрастают.

Список литературы

1. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3-х томах. – М.: Колос. – 1965. – Т. 1. – С. 244-253; – Т. 2. – С. 179-185.

2. Летошнев М.Н. О движении зерна внутри горизонтального вращающегося цилиндра // Сборник науч.-техн. работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Сельхозгиз, 1950. – Вып. 7.

3. Полетаев С.В. Применение, устройство и расчет триеров // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / ВНИИ с/х машиностроения. – М., Л.: Сельхозиздат., 1936. – Т. 3. – С. 587-627.

4. Блох З.Ш. Теория триера //Сельскохозяйственные машины. – 1935. – № 2. – С. 17-20.

5. Павловский Г.Т. Экспериментальное обоснование выбора параметров цилиндрических триеров // Сборник трудов по земледельческой механике. – М. – Л.: Сельхозгиз, 1952. – С. 231-248.

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

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

8. Урханов Н.А. Технология очистки зерна и основы расчета рабочих органов зерноочистительных машин: учебу. пос. – Иркутск, Улан-Удэ, 1984. – 167 с.

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

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

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

12. Патент РФ № 2616201 Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. – № 2016108182; заявл. 09.03.2016, опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11.

13. Патент РФ № 2647526 Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. – № 2017114302; заявл. 24.04.2017, опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.

14. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Модернизированный прибор для выделения примесей из зерносмесей – “ТИАН – 1” // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 4-5.

15. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмесей с длинными примесями // Вестник АПК Верхневолжья. . – 2019. – №3 (47). – С. 74-77.

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

References

1. Goryachkin, V.P. Sobranie sochinenij: v 3-h tomah. – M.: Kolos. – 1965. – T. 1. – S. 244-253; – T. 2. – S. 179-185.

2. Letoshnev M.N. O dvizhenii zerna vnutri gorizontal'nogo vrashchayushchegosya cilindra // Sbornik nauch.-tekhn. rabot Leningradskogo instituta mekhanizacii sel'skogo hozyajstva. – Sel'hozgiz, 1950. – Vyp. 7.

3. Poletaev S.V. Primenenie, ustrojstvo i raschet trierov // Teoriya, konstrukciya i proizvodstvo sel'skohozyajstvennyh mashin / VNII s/h mashinostroeniya. – M., L.: Sel'hozizdat., 1936. – T. 3. – S. 587-627.

4. Bloh Z.SH. Teoriya triera //Sel'skohozyajstvennye mashiny. – 1935. – № 2. – S. 17-20.

5. Pavlovskij G.T. Eksperimental'noe obosnovanie vybora parametrov cilindricheskih trierov // Sbornik trudov po zemledel'cheskoj mekhanike. – M. – L.: Sel'hozgiz, 1952. – S. 231-248.

6. Pavlovskij G.T. Issledovanie tekhnologicheskogo processa v cilindricheskih trierah // Sbornik nauch. tr. VIM. –1952. – T.17.

7. Letoshnev M.N. Sel'skohozyajstvennye mashiny, teoriya, raschet, proektirovanie i ispytanie. – M., L.: Sel'hozgiz, 1955. – 856 s.

8. Urhanov N.A. Tekhnologiya ochistki zerna i osnovy rascheta rabochih organov zernoochistitel'nyh mashin: ucheb. pos. – Irkutsk, Ulan-Ude, 1984. – 167 s.

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

10. Sokolov A.YA. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatij po hraneniyu i pererabotke zerna. – 4-e izd.: dop. i pererab. – M.: Kolos, 1975. – 495 s.

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

12. Patent RF № 2616201 Stend dlya ispytanij yacheistyh poverhnostej / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin. – № 2016108182; zayavl. 09.03.2016, opubl. 13.04.2017, Byul. № 11.

13. Patent RF № 2647526 Pribor dlya vydeleniya primesej iz zernosmesej / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin. – № 2017114302; zayavl. 24.04.2017, opubl. 16.03.2018, Byul. № 8.

14. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Modernizirovannyj pribor dlya vydeleniya primesej iz zernosmesej – "TIAN – 1" // Sel'skij mekhanizator. – 2019. – № 1. – S. 4-5.

15. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Intensivnost' vydeleniya zernovok osnovnoj kul'tury iz zernosmesej s dlinnymi primesyami // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. . – 2019. – №3 (47). – S. 74-77.

16. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Kachestvo vydeleniya semyan gorchicy i sorgo iz pshenicy yacheistymi poverhnostyami // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 3 (27). – S. 42-48.

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.

Alshinayyin Haider – lead 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): 11.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 637.1:658.511.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-40-48

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Доровских Владимир Иванович
[1]Милушев Ринат Келимулович
[2]Кийко Елена Ильинична
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]Управление сельского хозяйства Администрации Тамбовской области

Реферат. *Анализ отечественного и зарубежного опыта производства молока показал, что повышение эффективности производства в молочном скотоводстве связано с повышением уровня использования биологического потенциала животных и адаптирования к условиям конкретных товаропроизводителей. Выявлено, что инновационное развитие животноводства осуществляется по пути совершенствования биологических и технических процессов, рационального использования труда и оптимизации управления техникой. При проведении исследований применялись абстрактно-логический, статистико-экономический, монографический, расчетно-конструктивный методы. Установлена возможность перехода на управление качеством функционирования биотехнической системы путем регулирования параметров ее биологического звена. Предложено использовать информацию о функциональных особенностях каждого животного, полученных на основе тестирования, для управления процессом доения и корректировки функциональных характеристик животного. В результате сравнительного исследования было сформировано представление об основных элементах технологий содержания животных, доения и кормления оказывающих влияние на эффективность производства молока. Показано, что в большинстве хозяйств Тамбовского региона преобладает привязное содержание скота (82,3 %), а прогрессивная технология беспривязного содержания, обеспечивающая значительный рост продуктивности используется только в 17,7 %. Среди доильных технологий, преобладает доение в ведро (48,3 %), доильные роботы используется только в 1,3 % хозяйств. Установлено, что суточный надой повышается с увеличением интенсивности молоковыведения, причем зависимость носит степенной характер. В кормлении молочного скота преобладает раздельная раздача компонентов рациона (85,9 %).*

Ключевые слова: *технологический процесс, доение, качество, система управления, доильная установка, доильный робот, биотехническая система, алгоритм, механизация*

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL LEVEL OF DAIRY CATTLE BREEDING IN THE TAMBOV REGION

[1]Dorovskih Vladimir
[1]Milushev Rinat
[2]Kiiko Elena
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]Department of Agriculture of the Administration of the Tambov Region

Abstract*: Analysis of domestic and foreign experience in milk production showed that an increase in production efficiency in dairy farming is associated with an increase in the level of use of the biological potential of animals and adaptation to the conditions of specific commodity producers. It was revealed that the innovative development of animal husbandry is carried out along the path of improving biological and technical processes, rational use of labor and optimization of equipment management. Abstract-logical, statistical-economic, monographic, computational-constructive methods were used in research. The possibility of transition to quality control of the functioning of the biotechnical system by regulating the parameters of its biological link has been established. It is proposed to use information on the functional characteristics of each animal, obtained on the basis of testing, to control the milking*

process and adjust the functional characteristics of the animal. The concept of the main elements of technologies for keeping animals, milking and feeding influencing the efficiency of milk production was formed as a result of a comparative study. It is shown that in most farms in the Tambov region, tethered livestock (82.3%) predominates, and the progressive technology of loose housing, providing a significant increase in productivity, is used only in 17.7%. Milk bucket milking (48.3%) prevails among milking technologies; milking robots are used only in 1.3% of farms. It was found that the daily milk yield increases with an increase in the intensity of lactation, and the dependence is of a power-law nature. Separate distribution of ration components (85.9%) prevails in feeding dairy cattle

***Keywords**: technological process, milking, quality management system, milking machine, milking robot, biotechnical system, the algorithm, mechanization.*

Введение. Молочное скотоводство является стратегической отраслью народного хозяйства Российской Федерации. Молоко ценнейший продукт питания, оно практически незаменимо для человека, особенно для детей и пожилых людей. Продукт обладает высокими питательными и вкусовыми качествами [1].

Организационно-экономические условия развития этой отрасли животноводства определяются уровнем применяемых технологий, состоянием кормопроизводства, качеством племенной работы, ветеринарно-санитарного обслуживания, технической оснащенностью животноводческих помещений, применяемых информационных технологий и современных систем организации, управления и планирования [2 – 4]. Кроме того, в молочном скотоводстве практикуется замкнутый цикл производства молока, который предусматривает как производство молока, так и выращивание племенного молодняка для замены выбракованных коров.

Для достижения высоких технологических и экономических показателей необходимо правильно организовать технологический процесс, строго соблюдать технологическую дисциплину, ввести современные принципы управления [5].

Материалы и методы исследования. Для проведения исследований особенностей функционирования новейших современных технологий «точного животноводства» сначала необходимо проанализировать использующиеся в настоящее время, их параметры и технические характеристики. При выборе направления совершенствования технологии необходимо учитывать уровень существующего технического состояния отрасли. Его характеристики могут оказывать влияние на все стороны производственных процессов в молочном скотоводстве, что влияет на целесообразность использования в конкретных условиях именно рассматриваемой модели [5].

При проведении исследований применялись абстрактно-логический, статистико-экономический, монографический, расчетно-конструктивный методы. При подготовке статьи использовались публикации в российских периодических научных изданиях и монографиях, данные годовой отчетности сельскохозяйственных организаций разных форм собственности Тамбовской области.

Результаты и их обсуждение. Для достижения высокого уровня использования генетического потенциала животных необходимо управлять всеми факторами производства и реализации продукции. Рацион кормления должен строго соответствовать уровню интенсивности технологии, животные должны не только обладать высокой продуктивностью, но и соответствовать принятой технологии по уровню устойчивости к стрессам, морфологическим признакам и функциональным свойствам вымени [6 – 9].

Квалификация обслуживающего персонала должна быть достаточной для качественного управления всеми технологическими процессами, животным должны быть созданы комфортные условия содержания [10]. Основные показатели отрасли представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Поголовье коров и производство молока

Поголовье коров			Произведено молока, тонн			Реализовано молока, тонн		
1/1/2015	1/1/2019	1/1/2020	2014	2018	2019	2014	2018	2019
17157	19054	17789	81100	103000	103600	68227	84786	84182

Из таблицы следует, что с 2015 до 2019 года поголовье молочного скота в Тамбовской области увеличилось на 11 %, но с 2019 к 2020 году оно уменьшилось на 1265 голов (7 %), почти нивелируя предыдущий рост. Такое положение сказалось на производстве молока – оно

практически не увеличилось к 2019 году. В области снизились с 2018 к 2019 году реализация и переработка молока. Такого объема продукции явно не достаточно. Установленные нами факты согласуются с исследованиями А.Ю.Сытовой [1], которые установили, что уровень производства молочной продукции в регионе не покрывает потребности населения области. Фактическое потребление молока и молокопродуктов в 2014 г. по данным этих исследователей составило 179 кг на душу населения в год при рациональной норме 320 – 340 кг. Уровень обеспеченности региона молочной продукцией собственного производства – 97,9 %. С другой стороны, О.Б. Филиппова и Г.А. Симонов [9] отмечают тенденцию увеличения продуктивности молочного скота в регионе. Однако по новейшим данным Н.П. Касторного [2] в Тамбовской области существует недостаток молока и продуктов его переработки, даже с учетом ввоза их значительной части из других регионов. Обеспеченность населения области молоком и молочными продуктами составила в 2017 году 161 кг в расчете на 1 человека, что на 58,7 % ниже рациональной нормы потребления и на 70 кг меньше среднероссийского уровня (231 кг). О.Е. Пирогова [4] в своем исследовании отмечают, что в еще СССР норма потребления молока и молочных продуктов составляла 390 кг на человека в год. В стране при этом в конце 80-х годов прошлого века производилось 380 кг на человека.

В результате сравнительного исследования было сформировано представление об основных элементах технологий, оказывающих влияние на эффективность производства молока и широко использующихся в сельскохозяйственных предприятиях, действующих в настоящее время в регионе. Эта информация представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технологии, применяемые в молочном скотоводстве

Количество организаций в процентах							
Технология содержания		Технология доения				Технология кормления	
привязное	беспривязное	доение в ведро	доение в молокопровод	доильный зал	робот	раздельная раздача	полнорационная кормосмесь
82,3	17,7	48,3	42	8,4	1,3	85,9	14,1

Из таблицы видно, что в большинстве хозяйств региона преобладает привязное содержание скота (82,3 %), а прогрессивная технология беспривязного содержания, обеспечивающая значительный рост продуктивности используется только в 17,7 %.

Рентабельность производства молока тесно связана с продуктивностью животных. Эта зависимость по крупным хозяйствам Тамбовской области представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Зависимость рентабельности производства молока от продуктивности животных по хозяйствам Тамбовской области

Из графика видно, что рост рентабельности производства молока до уровня продуктивности животных 5,0 – 5,5 тонн молока в год носит линейный характер, дальнейший рост продуктивности приводит к резкому повышению рентабельности.

Эффективное производство и качество молока прямо зависят от технологии доения. Однако среди доильных технологий, используемых в области (таблица 2), преобладает доение в ведро. Она применяется у большинства производителей (48,3 %). Доильные залы используются только в 8,4 % хозяйств. Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что современный подход к этому вопросу, в основе которого лежит применение доильных роботов, используется только в 1,3 % хозяйств Тамбовской области.

Анализ зависимости продуктивности животных от интенсивности молоковыведения при доении в молокопровод на линейной доильной установке в АО «Голицыно» (рисунок 2) показал существенную корреляционную связь между указанными параметрами. Суточный надой повышается с увеличением интенсивности молоковыведения, причем зависимость носит степенной характер. С увеличением интенсивности молоковыведения прирост продуктивности снижается.

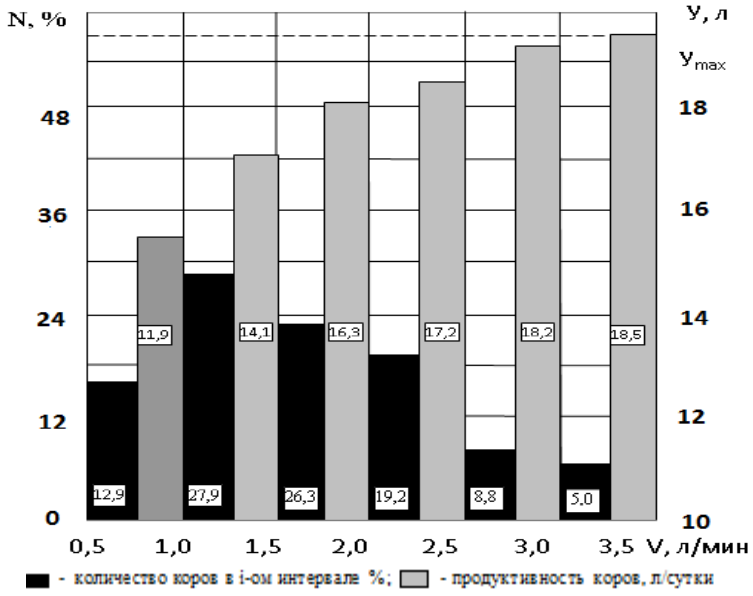


Рисунок 2 – Распределение коров в стаде по интенсивности молоковывения и соответствующей продуктивности

Результаты оценки влияния показателей молокоотдачи на уровень использования потенциальных возможностей стада применительно к производственным условиям АО «Голицыно» представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка влияния режима доения на уровень использования потенциальных возможностей стада

Показатели	Значение показателя
Количество коров, гол	268
Фактический суточный надой ($Q_ф$), л	3826
Средний суточный надой на корову, л	14,3
Потенциальный суточный надой($Q_п$), л	5236
Разница $\Delta Q = Q_п - Q_ф$, л	1410
Уровень использования потенциала стада ($У_{ип}$), %	73,1
Резерв ($У_р$), %	26,9

При переходе в АО «Голицыно» на доение роботами с увеличением кратности доения улучшился раздой животных. На графике (рисунок 3) представлено распределение коров по средней интенсивности молоковыведения.

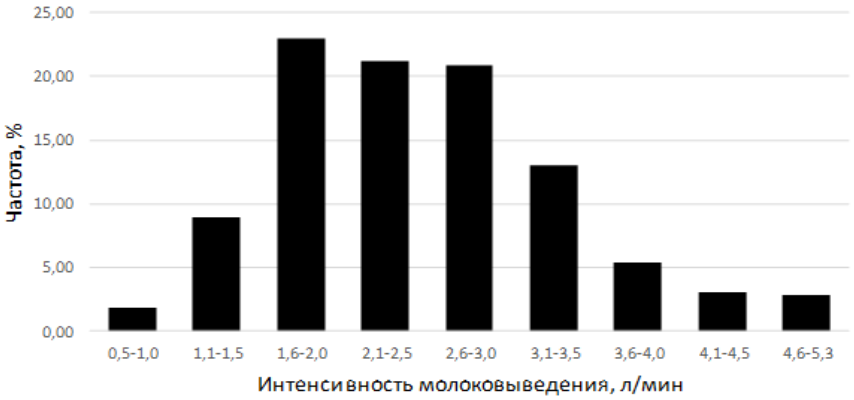


Рисунок 3 – Распределение коров по средней интенсивности молоковыведения

Установлено, что доение роботами благотворно сказывается на молокоотдаче. У 66% коров средняя интенсивность молоковыведения превышает 2 л/мин, а у 24 % она выше 3 л/мин.

Суточный удой с увеличением интенсивности молоковыведения до 2,5 л/мин повышается, и далее, в отличие от зависимости представленной на рисунке 2 находится на уровне 35-38 л (рисунок 4).

Рисунок 4 – Средний суточный удой коров по группам интенсивности молоковыведения

Таким образом, резерв продуктивности, представленный в таблице 3, при переходе на доение роботами практически реализуется за счет улучшения качества режимов доения.

Из таблицы 2 можно так же сделать вывод о том, что в кормлении молочного скота пока преобладает раздельная раздача компонентов рациона. Она используется в большинстве хозяйств (85,9 %). Эти факты не способствуют интенсификации молочного скотоводства. Такой вывод согласуется с мнением И.М. Власовой [5] считающей, что уровень интенсивности молочного скотоводства на предприятиях Тамбовской области низкий. О низком в регионе удельном весе ферм с современными технологиями и оборудованием сообщает и М.В. Азжеурова [11].

В совершенствовании технологий, использующихся в молочном скотоводстве, главным звеном является автоматизация всех процессов, а именно внедрение элементов прецизионного (точного) животноводства [12 – 14]. Благодаря использованию электроники, датчиков, специального программного обеспечения, доильных роботов, компьютеров делается возможной точная идентификация отдельных особей [15, 16]. Это позволяет осуществлять индивидуальное

обслуживание животных. В настоящее время применяется на практике автоматическое кормление с индивидуальным дозированием корма, используются электронные системы контроля движения животных для определения больных животных или животных в охоте. Автоматически документируется индивидуальная молочная продуктивность, а также качество молока. Давно научно обоснована и доказана экономическая эффективность и перспективность такого подхода к интенсификации молочного скотоводства [17 – 21]. Дальнейшее развитие этих систем будет направлено на универсализацию, обуславливающую совместимость различных систем, сопоставимость собранных данных, охват всей производственной цепочки [22].

Главным резервом роста эффективности производства молока является обеспечение качества технологических процессов, позволяющее повысить уровень использования биологического потенциала животных. Понятие «качество технологии», как совокупность потребительских свойств, носит двойственный характер. С одной стороны потребности товаропроизводителя сводятся к получению возможно большего количества продукции, которая должна обладать заданным качеством при минимальных затратах. С другой стороны достичь этого можно только путем удовлетворения физиологических потребностей животных [23]. Эта специфика должна учитываться при оценке эффективности использования средств механизации, разработке и внедрении систем управления качеством технологических процессов в молочном скотоводстве [8, 24]. Важным условием для дальнейшего развития молочного скотоводства в Тамбовской области является увеличение государственной поддержки отрасли. На территории Тамбовской области необходимо продолжать работу по увеличению количества племенных хозяйств, занимающихся разведением молочного скота [25].

В молочном скотоводстве Тамбовской области сложилось противоречие, проявляющееся между уровнем используемых технологий и потребностью обеспечения продовольственной безопасности страны путем наращивания объемов производства молочной продукции. Прогресс этой отрасли животноводства возможен только с ее техническим перевооружением и использованием новейших цифровых технологий. Однако такой подход потребует от сельскохозяйственных предприятий серьезных затрат. Собственные источники инвестиций сельхозпроизводителей крайне ограничены, а условия получения кредитов трудновыполнимы. Поэтому потребуется поддержка со стороны государства.

Заключение.

1. Повышение эффективности производства в молочном скотоводстве в первую очередь должно быть связано с переходом на интенсивные технологии «точного животноводства”, использующих биотехнические системы высшего порядка, которые могут обеспечивать высокий уровень использования биологического потенциала животных и хорошо адаптироваться к условиям конкретных товаропроизводителей.

2. Инновационное развитие животноводства осуществляется по четырём основным путям - это совершенствование биологических процессов, технических процессов, рациональное использование труда и оптимизация управления техникой.

3. Адаптация машинных технологий к условиям конкретных товаропроизводителей должна основываться на научно обоснованной оценке эффективности их использования, которая послужит основой для разработки алгоритмов управления технологическими процессами в биологическом звене современных биотехнических систем, применяемых в молочном скотоводстве.

Список литературы

1. Сытова А.Ю., Минаков И.А., Азжеурова М.В. Развитие молочного скотоводства в Тамбовской области // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК: продукты здорового питания. – 2016. – № 2. – С. 93 – 102.

2. Касторнов Н.П. Развитие отрасли молочного скотоводства Тамбовской области: состояние, тенденции, эффективность // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3. – С. 127 – 131.

3. Использование современных технологий в молочном животноводстве / Ф.Ф. Ситдиков, Б.Г. Зиганшин, Р.Р. Шайдуллин и др. // Вестник Казанского ГАУ. – 2020. – № 1. – С. 81 – 85.

4. Пирогова О.Е., Быковская Н.В. Влияние факторов на развитие молочного скотоводства // Вестник Российского Государственного Аграрного Заочного Университета. – 2014. – № 17. – С. 129 – 135.

5. Власова И.М., Новиков В.Г. Молочное скотоводство Тамбовской области: состояние и направления развития // Вестник РГАЗУ. – 2009. – № 3. – С. 1 – 7.

6. Буряков Н.П., Бурякова М.А. Рациональное кормление молочного скота. – М.: РГАУ-МСХА, 2015. – 314 с.

7. Рекомендации по детализированному кормлению молочного скота / А.В. Головин, А.С. Аникин, Н.Г. Первов и др. – Дубровицы, 2016. – С. 66 – 68.

8. Предпосылки для создания алгоритма управления доильным процессом / В.И. Доровских, О.Б. Филиппова, Е.И. Кийко, О.А. Аткешов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 4(23), Ч.1. – С. 101 – 102.

9. Филиппова О.Б., Симонов Г.А. Состояние молочного скотоводства в Тамбовской области // Проблемы и перспективы развития органического сельского хозяйства. – Махачкала, 2020. – С. 279 – 288.

10. Костомахин Н.М., Костомахин М.Н. Технологии доения коров с целью получения высококачественного молока // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2020. – № 4. – С. 12 – 19.

11. Азжеурова М.В. Современное состояние развития молочного скотоводства в Тамбовской области // Пища. Экология. Качество. – Красноярск, 2016. – С. 25 – 30.

12. Труфляк Е.В. Точное животноводство: состояние и перспективы. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – С. 13.

13. Truflyak, E.V., Daybova, L.A. A patent review in the field of precision agriculture // British Journal of Innovation in Science and Technology. – 2017. – № 5. – P. 41 – 59.

14. Маринченко Т.Е. Перспективные разработки в области молочного скотоводства // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2 (38). – С. 124 – 129.

15. Особенности роботизированной технологии доения высокопродуктивных коров на современных комплексах / Е.А. Тяпугин, С.Е. Тяпугин, В.К. Углин, В.Е. Никифоров // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 2. – С. 57 – 58.

16. Исследование биотехнических систем в животноводстве / В.С. Бурлаков, С.Ф. Вольвак, В.Н. Наумкин и др. // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2019. – № 4. – С. 94 – 103.

17. Зыков А.В., Юнин В.А., Захаров А.М. Использование робототехнических средств в АПК // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 3 (81). – С. 8 – 11.

18. Симонов Г.А., Никифоров В.Е., Филиппова О.Б. Преимущество роботов перед традиционной технологией доения коров // Наука в центральной России. – 2020. – № 4. – С. 53 – 62.

19. Филиппова Е.Е. Автоматическое и роботизированное доение: сравнительный анализ // Молочная промышленность. – 2020. – № 7. – С. 61 – 63.

20. Роботизированная технология доения коров повышает эффективность производства молока / Г.А. Симонов, В.Е. Никифоров, Д.А. Иванова, О.Б. Филиппова // Наука в Центральной России. – 2020. – №5. – С. 74 – 81.

21. Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution: [Electronic resource] // Animal. – 2016. – No. 1(9). – P. 1484-1492. – Access mode: https://www.cambridge.org/core/journals/animal/article/abs/review-milking-robot-utilization-a-successful-precision-livestock-farming-evolution/5DC59CA250E35DD009C7A67F321D58A4.

22. Кийко Е.И., Филипова О.Б. Современное состояние племенной базы молочного скотоводства в Тамбовской области // Наука в Центральной России. – 2016. – № 5. – С. 19 – 24.

23. Доровских В.И., О.А. Аткешов Совершенствование управления процессом доения животных // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – № 6. – С. 20 – 21.

24. Влияние роботизированного доения на качество молока / Г.А. Симонов, В.Е. Никифоров, И.С. Сереброва и др. // Наука в центральной России. – 2020. – № 2. – С. 117 – 124.

25. Кийко Е.И.Технология повышения качества молочных коров симментальской породы Тамбовской области / Е.И. Кийко, О.Б. Филиппова // Наука в Центральной России. – 2018. – № 3. – С. 42 – 48.

References

1. Sytova A.YU., Minakov I.A., Azzheurova M.V. Razvitie molochnogo skotovodstva v Tambovskoj oblasti // Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK: produkty zdorovogo pitaniya. – 2016. – №2. – S. 93-102.

2. Kastornov N.P. Razvitie otrasli molochnogo skotovodstva Tambovskoj oblasti: sostoyanie, tendencii, effektivnost' // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – №3(58). – S. 127-131.

3. Ispol'zovanie sovremennyh tekhnologij v molochnom zhivotnovodstve / F.F. Sitdikov, B.G. Ziganshin, R.R. SHajdullin i dr. // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2020. – № 1(57). – S. 81-85.
4. Pirogova O.E., Bykovskaya N.V. Vliyanie faktorov na razvitie molochnogo skotovodstva // Vestnik Rossijskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Zaochnogo Universiteta. – 2014. – №17(22). – S. 129-135.
5. Vlasova I.M., Novikov V. G. Molochnoe skotovodstvo Tambovskoj oblasti: sostoyanie i napravleniya razvitiya // Vestnik RGAZU. – 2009. – № 3. – S. 1-7.
6. Buryakov N.P., Buryakova M.A. Racional'noe kormlenie molochnogo skota. – M.: RGAU-MSKHA, 2015. – 314 s.
7. Rekomendacii po detalizirovannomu kormleniyu molochnogo skota / A.V. Golovin, A.S. Anikin, N.G. Pervov i dr. – Dubrovicy, 2016. – S.66-68
8. Predposylki dlya sozdaniya algoritma upravleniya doil'nym processom / V.I. Dorovskih, O.B. Filippova, E.I. Kijko, O.A. Atkeshov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2014. – №4(23), CH.1. – S. 101–102.
9. Filippova O.B., Simonov G.A. Sostoyanie molochnogo skotovodstva v Tambovskoj oblasti // Problemy i perspektivy razvitiya organicheskogo sel'skogo hozyajstva. – Mahachkala, 2020. – S. 279-288.
10. Kostomahin N.M., Kostomahin M.N. Tekhnologii doeniya korov s cel'yu polucheniya vysokokachestvennogo moloka // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. – 2020. – №4. – S.12 -19.
11. Azzheurova M.V. Sovremennoe sostoyanie razvitiya molochnogo skotovodstva v Tambovskoj oblasti // Pishcha. Ekologiya. Kachestvo. – Krasnoyarsk, 2016. – S.25-30.
12. Truflyak E.V. Tochnoe zhivotnovodstvo: sostoyanie i perspektivy. – Krasnodar: KubGAU, 2018. – C. 13.
13. Truflyak, E.V., Daybova, L.A. A patent review in the field of precision agriculture // British Journal of Innovation in Science and Technology. – 2017. –№ 5. – R. 41-59.
14. Marinchenko T.E. Perspektivnye razrabotki v oblasti molochnogo skotovodstva // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. – 2020. – №2 (38). – S.124-129.
15. Osobennosti robotizirovannoj tekhnologii doeniya vysokoproduktivnyh korov na sovremennyh kompleksah / E.A. Tyapugin, S.E. Tyapugin, V.K. Uglin, V.E. Nikiforov // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2015. – № 2. – S. 57-58.
16. Issledovanie biotekhnicheskih sistem v zhivotnovodstve / V.S. Burlakov, S.F. Vol'vak, V.N. Naumkin i dr. // Aktual'nye voprosy sel'skohozyajstvennoj biologii. – 2019. – №4(14). – S. 94 -103.
17. Zykov A.V., YUnin V.A., Zaharov A.M. Ispol'zovanie robototekhnicheskih sredstv v APK // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2019. – № 3 (81). – S.8-11.
18. Simonov G.A., Nikiforov V.E., Filippova O.B. Preimushchestvo robotov pered tradicionnoj tekhnologiej doeniya korov // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 4 (46). – S. 53 - 62.
19. Filippova E.E. Avtomaticheskoe i robotizirovannoe doenie: sravnitel'nyj analiz // Molochnaya promyshlennost'. – 2020. – № 7. – S. 61-63.
20. Robotizirovannaya tekhnologiya doeniya korov povyshaet effektivnost' proizvodstva moloka / G.A. Simonov, V.E. Nikiforov, D.A. Ivanova, O.B. Filippova // Nauka v Central'noj Rossii. – 2020. – №5 (47). – S. 74 - 81.
21. Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution: [Electronic resource] // Animal. – 2016. – No. 1(9). – P. 1484-1492. – Access mode: A.J. John, C.E.F. Clark, M.J. Freeman, K. Kerrisk.
22. Kijko E.I., Filipova O.B. Sovremennoe sostoyanie plemennoj bazy molochnogo skotovodstva v Tambovskoj oblasti // Nauka v Central'noj Rossii. – 2016. – № 5. – S. 19-24.
23. Dorovskih V.I., O.A. Atkeshov Sovershenstvovanie upravleniya processom doeniya zhivotnyh // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2012. – № 6. – S.20-21.
24. Vliyanie robotizirovannogo doeniya na kachestvo moloka / G.A. Simonov, V.E. Nikiforov, I.S. Serebrova i dr. // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 2. – S. 117-124.
25. Kijko E.I.Tekhnologiya povysheniya kachestva molochnyh korov simmental'skoj porody Tambovskoj oblasti / E.I. Kijko, O.B. Filippova // Nauka v Central'noj Rossii. – 2018. – № 3. – S. 42-48.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Доровских Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Милушев Ринат Келимулович – доктор сельскохозяйственных 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: july1931@yandex.ru.

Кийко Елена Ильинична – кандидат биологических наук, главный специалист управления сельского хозяйства Администрации Тамбовской области, Россия, г. Тамбов, e-mail: alenakiiko@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Vladimir – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Milushev Rinat – Full Doctor of Agricultural Sciences, 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: july1931@yandex.ru.

Kiiko Elena – Candidate of Biological Sciences, leading specialist Department of Agriculture Administration Tambov Region, Russia, Tambov, e-mail: alenakiiko@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 637.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-48-54

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЕМКОСТЕЙ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

[1]Анохин Сергей Александрович
[1]Гуськов Артем Анатольевич
[1]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1]Родионов Юрий Викторович
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Известна проблема мойки молочного оборудования после длительного простоя. Отдельной задачей является осуществление бактериологической очистки внутренних поверхностей в подготовке оборудования к повторному использованию. В работе в ходе эксперимента были исследованы показатели бактериологического загрязнения внутренней поверхности оборудования хранения и транспортирования молока, используемого в малых фермерских хозяйствах. Исследовались показатели обсемененности наиболее вероятных видов бактерий, распространенных в условиях производства сырого молока на животноводческих фермах. Использовались экспериментальные методы с реализацией физического моделирования процессов дезинфекции оборудования и бактериологического исследования. В ходе поставленного эксперимента имитировались процессы сбора, хранения и транспортирования молочного сырья. Подготовленные образцы подвергались дезинфекции методами обработки вакуумом, паром, озоном, ультрамалым объемом моющего раствора и мойки горячей водой. Полученные смывы с поверхностей были исследованы на остаточную патогенную микрофлору, по результатам которых было установлены наиболее энерго- и ресурсоэффективные способы и режимы дезинфекции молочного оборудования фермерских хозяйств. Одинаковую по качеству дезинфекцию показали методы обработки паром и ультрамалым объемом моющего раствора при температуре от 65° С. Однако более энерго- и ресурсоэффективным методом показал метод обработки ультрамалым объемом моющего раствора с температурой 65° С. Данный эффект был достигнут за счет меньшего потребления энергии на подогрев моющей жидкости и меньшего ее расхода. Данный метод рекомендуется применять в условиях подготовки оборудования сбора, хранения и транспортирования в производстве молочного сырья в малых фермерских хозяйствах с целью экономии энергетических ресурсов производства.*

Ключевые слова: *агротехнологии, технологии мойки, дезинфекция, молоко.*

PERSPECTIVE METHODS FOR THE INTERNAL SURFACES DISINFECTION OF COLLECTION, STORAGE AND TRANSPORTATION OF MILK RAW

[1]Anokhin Sergey
[1]Guskov Artem
[1]Nikitin Dmitriy
[1]Rodionov Yuriy

[1]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *There is a known problem with washing dairy equipment after long periods of inactivity. A separate task is the bacteriological cleaning implementation of internal surfaces in the equipment preparation for reuse. In the work were investigated, during the experiment, the bacteriological contamination indicators of the equipment inner surface for storing and transporting milk used in small farms. The contamination indexes of the most probable species of bacteria common in the raw milk production conditions on livestock farms were studied. Experimental methods were used with the physical modeling of equipment disinfection processes implementation and bacteriological research. In the experiment course, the processes of collection, storage and transportation of raw milk were simulated. The prepared samples were disinfected by vacuum, steam, ozone, ultra-low volume washing solution and hot water washing. The obtained washings from the surfaces were examined for residual pathogenic microflora, based on the results of which the most energy and resource efficient methods and disinfection modes of dairy farms equipment were established. Disinfection of the same quality was shown by the treatment methods with steam and an ultra-low volume of a washing solution at a temperature 65 ° C. However, the method of processing an ultra-low volume of a washing solution with a temperature 65 ° C showed a more energy- and resource-efficient method. This effect was achieved due to lower energy consumption per heating of the washing liquid and its lower consumption. This method is recommended to be applied in preparation conditions of equipment for collection, storage and transportation in the production of dairy in small farms in order to save energy and resources production.*

Keywords: *agricultural technologies, washing technology, disinfection, milk.*

Введение. Существует проблема подготовки оборудования к повторному использованию при производстве сырого молока в фермерских хозяйствах. Основная задача заключается в очистке поверхностей оборудования, непосредственно контактирующего с молоком. К таким относятся внутренние поверхности емкостей для сбора, хранения и транспортирования молока. Данное оборудование контактирует с уже охлажденным молоком до 4° С, что может вызывать определенные затруднения в процессе мойки при удалении жировых частиц с поверхности [1, 2].

Особое внимание следует уделить тому факту, что в небольших фермерских хозяйствах возможны длительные (более 4 часов) простои данного оборудования, что может привести к бактериологическому загрязнению поверхности [2]. Такое загрязнение существенно снижает качество молочного сырья вплоть до некондиционного.

В тоже время применению традиционных методов подготовки оборудования к повторному использованию (обработка паром и мойка горячей водой) является энерго- и ресурсозатратным [2, 3]. Требуется затраты энергии на подогрев моющей жидкости и большой ее расход [4], которые существенны для малых фермерских хозяйств, что особенно характерно для южных регионов России с дефицитом пресной воды [5, 6].

В связи с чем актуальной является задача предварительной дезинфекции внутренних поверхностей молочного оборудования с меньшими затратами энергии и ресурсов.

Материалы и методы. Для исследования методов дезинфекции поверхностей емкостей хранения и транспортирования молочного сырья был поставлен эксперимент, целью которого является оценка эффективности обеззараживания на разных режимах поверхности сельскохозяйственного оборудования молочных ферм после длительного простаивания без мойки. В качестве объекта исследования выступал показатель колониеобразующих единиц бактерий группы кишечных палочек и стафилококки, а также Pseudomonas aeruginosa [7]. Предметом исследования выступали пластины из пищевой нержавеющей стали AISI 316, рисунок 1.

а) до обработки молоком б) после обработки молоком в) после выдержки

Рисунок 1 – Пластины

Проверялись следующие режимы дезинфекции: выдерживание под вакуумом; озонирование; мойка горячей водой; пропаривание; распыление моющего дезинфицирующего раствора ультрамалым объемом (УМО).

Подготовка к эксперименту осуществлялась следующим образом: десять пластин с площадью исследуемой поверхности 25 см^2 (размер пластин 50 мм х 50 мм) погружались в молоко, жирностью 3,4 %, с массовой долей белка не менее 2,8 %, кислотностью 18°Т, плотностью не менее 1028 кг/м^3 (ТУ 9222-242-00419785-04) и предварительно загрязненное патогенными бактериями (бактерии группы кишечной палочки, стафилококками и Pseudomonas aeruginosa). Затем излишки молока с пластин удалялись самотеком, путем расположения пластин под углом 60°. Пластины оставлялись в помещении, имитирующим цех по сбору и хранению молочного сырья с соответствующей окружающей воздушной средой, на сутки. В результате бактериологически загрязненное молоко на пластине высохло, что позволяло смоделировать процесс простоя оборудования.

Испытания методов и режимов дезинфекции проводилось по однотипному алгоритму для каждой пластины. В алюминиевую флягу, объемом 5 л с вмонтированным электронагревателем (ТЭН 01.102 D13 R30, мощностью 1 кВт), на подставку, изменяющую высоту в пределах 40 – 150 мм, помещалась пластина, с последующим на нее воздействием заданного метода и режима дезинфицирования. Крышка фляги с вмонтированными вакуумметром, термопарой и выходами для подключения трубных магистралей вакуумного насоса и элементов ультразвукового генератора закрывалась с учетом способа воздействия. Уровень жидкости (вода, моющий дезинфицирующий раствор) составлял 50 ± 5 мм. Нагрев жидкости до заданной температуры производился посредством терморегулятора (на базе RS-485 ОВЕН ТРМ101) на основании данных изменения показаний с термопары. Время воздействия каждого типа составляло 15 минут. В качестве моющего дезинфицирующего средства применялся водный раствор хлора и каустической соды в пропорциях 3 % и 0,5 % соответственно. Для испытаний применялась вода централизованной системы питьевого водоснабжения, соответствовавшая СанПиН 2.1.4.1074-01. Общий вид экспериментальной установке представлен на рисунке 2.

После обработки пластин соответствующим методом и режимом дезинфекции со всей площади ее поверхности брался смыв алюминиевым стержнем со стерильной ватой. Полученный смыв помещался в стеклянную пробирку с физиологическим раствором и запечатывался. Оборудование для взятия смывов было предварительно стерилизовано в автоклаве. Все образцы смывов были переданы для анализа в Испытательный лабораторный центр ФБУ здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Тамбовской области» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека не позднее 2 ч с момента получения первого смыва. Анализ проводился путем посева на питательную среду в соответствии с МУК 4.2.2942-11.

Отличия испытаний заключались в методах и режимах дезинфицирующего воздействия. Метод выдержки пластины под вакуумом заключался в воздействии на нее давлением 56,9 ± 2 кПа. Метод мойки – воздействие на пластину путем ее погружение в моющий дезинфицирующий раствор температурой 65° С. Метод пропаривания – воздействие на пластину горячим паром, образованным при кипячении воды с температурой около 100° С.

Рисунок 2 – Лабораторная установка, общий вид

Метод озонирования – пластина подвергалась воздействию озона, образованного из атмосферы закрытой фляги с помощью помещенного в нее озонатора, поддерживавшего концентрацию озона на уровне 16 ± 1,5 мг/л. Метод распыления моющего дезинфицирующего раствора УМО – пластина помещалась в закрытую флягу с аэрозольной средой (холодный пар), полученной в результате работы ультразвукового генератора. При этом аэрозольная среда отличалась температурными режимами: 35° С, 45° С, 55° С, 65° С, 75° С. Ход обработки методом распыления представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Процесс дезинфекции методом распыления ультрамалого объема моющего раствора

Концентрация горячего и холодного пара ограничивалась пределом насыщения.

Анализ образцов смывов, согласно заключению Испытательного лабораторного центра, показал результаты, таблица 1. На рисунке 4 показано изменение эффективности применения метода распыления УМО моющего раствора в зависимости от температурных режимов.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№ стр.	Метод и режим	Результаты		
		БГКП, КОЕ/см^3	Стафилококки, КОЕ/см^3	Pseudomonas aeruginosa
1	Контрольный образец	473	121	не обнаружено
2	Вакуумирование	402	93	не обнаружено
3	Мойка горячей водой	134	21	не обнаружено
4	Озонирование	14	8	не обнаружено
5	Пропаривание	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
6	УМО, 35° С	21	13	не обнаружено
7	УМО, 45° С	16	4	не обнаружено
8	УМО, 55° С	не обнаружено	3	не обнаружено
9	УМО, 65° С	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
10	УМО, 75° С	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено

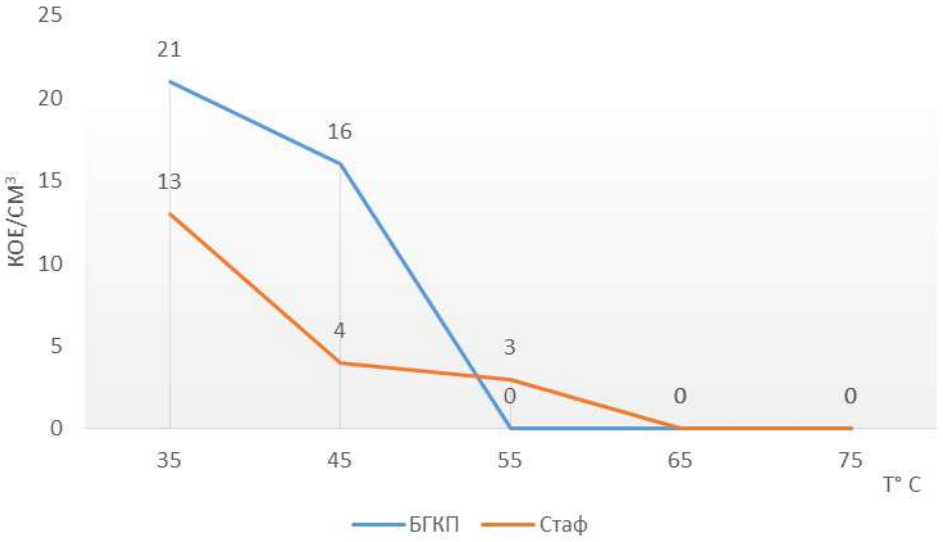


Рисунок 4 – Изменение эффективности метода УМО

Как можно заметить из таблицы 1, заражение поверхностей бактерией Pseudomonas aeruginosa не состоялось, что следует по результатам контрольного образца. Возможной причиной является отсутствие питательных веществ или недостаточное их количество в испытываемом молоке. В связи с чем, можно сделать вывод о том, что данный вид бактерий не представляет особой опасности в заражении сырья. По другим видам исследуемых бактерий наибольшую эффективность показали методы обработки поверхности паром и УМО моющего раствора с температурным режимом 65° С.

Близкие значения к оптимальным показали и методы озонирования и обработки УМО моющего раствора с температурным режимами 45° С и 55° С. При увеличении продолжительности обработки поверхности данными методами возможно достижении оптимальных результатов, то есть отсутствие патогенной микрофлоры.

Сравнительный анализ метода обработки паром и УМО 65° С показал, что затраты электроэнергии на подогрев и удержание температурных режимов оказались выше для пара, 0,24 кВт против 0,16 кВт. Наибольший расход воды и моющего реагента оказался у метода мойки горячей водой, так как остальные методы либо не использовали данные ресурсы (обработка вакуумом и озоном), либо в силу замкнутости системы расход был минимален (в пределах погрешности, связанной с утечкой газообразной жидкости).

К недостаткам обработки паром можно отнести тот факт, что разогретая емкость требует большего времени для охлаждения до температуры окружающей среды, чем при УМО. Данный факт усложняет процесс дезинфекции путем внедрения этапа охлаждения [8, 9]. Кроме того, это негативно влияет на износостойкость применяемых материалов [10, 11].

Заключение. Необходимость поиска энерго- и ресурсоэффективных технологий обуславливается ростом цен на все виды энергии и ресурсы. В области мойки оборудования сельскохозяйственного молочного производства малых фермерских хозяйств перспективными направлениями являются методы, основанные на обработке поверхностей УМО моющего средства. Данная технология может быть применена самостоятельно на этапе дезинфекции и как подготовительный этап перед основной мойкой.

Чистое, но не используемое достаточно длительное время оборудование можно не мыть повторно, а лишь провести дезинфекцию путем УМО или озонированием, что существенно экономит ресурсы и энергию.

Список литературы

1. Петрашев А.И., Клепиков В.В., Князева Л.Г., Зарапина И.В. Экспресс-метод оценки смачивающих свойств консервационных составов // Наука в центральной России. – 2018. – № 4. – С. 73 – 85.

2. Результаты исследований чистоты поверхности тарелок бактофуги альфалаваль с применением моющего средства «Термоклин» / А.И. Завражнов, П.А. Матушкин, С.М. Кольцов, С.В. Дьячков // Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера: матер. Всерос. науч.-практ. конференции. – Мичуринск: Мичуринск. гос. аграр. ун-т, 2020. – С. 156 – 161.

3. Доровских В.И., Доровских Д.В. Анализ влияния качества технологических процессов на эффективность производства молока // Наука в центральной России. – 2018. – № 3. – С. 37 – 41.

4. Feldung Damkjær N., Adler-Nissen J., Jensen B.B.B., Wilson D.I. Flow pattern and cleaning performance of a stationary liquid jet operating at conditions relevant for industrial tank cleaning // Food and Bioproducts Processing, Volume 101, January 2017, Pages 145 – 156.

5. Доровских В.И., Доровских Д.В., Альлами С.Ф.Х. Обоснование критериев оценки эффективности использования оборудования для первичной обработки молока // Наука в центральной России. – 2016. – № 5. – С. 62 – 69.

6. Матушкин П.А., Завражнов А. И. Обработка молочного оборудования с помощью пены // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья [Электронный ресурс]: матер. I Всерос. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Ю. В. Родионова; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издат. центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 222 – 226.

7. Ушакова В.Н. Мойка и дезинфекция: Пищевая промышленность, торговля, общественное питание. – СПб.: Профессия, 2009. – 288 с.

8. Removal of UHT dairy fouling – An efficient cleaning process by optimizing the rate controlling alkaline cleaning step / Carin Hagsten, Fredrik Innings, Christian Trägårdh, Lars Hamberg, Marie Paulsson, Tommy Nylander // Food and Bioproducts Processing, Volume 113, January 2019, Pages 101-107.

9. Thermophile Survival in Milk Fouling and on Stainless Steel During Cleaning / A.R. Hinton, K.T. Trinh, J.D. Brooks, G.J. Manderson // Food and Bioproducts Processing, Volume 80, Issue 4, December 2002, Pages 299 – 304.

10. Dürr H. Milk Heat Exchanger Cleaning: Modelling of Deposit Removal II // Food and Bioproducts Processing, Volume 80, Issue 4, December 2002, Pages 253 – 259

11. Cleanability of milk deposits on inner stainless steel tubing surfaces prepared by magnetic abrasive finishing / Ikko Ihara, Erina Nakano, Eric McLamore, John K. Schueller, Kiyohiko Toyoda, Kazutaka Umetsu, Hitomi Yamaguchi // Engineering in Agriculture, Environment and Food, Volume 10, Issue 1, January 2017, Pages 63 – 68.

References

1. Petrashev A.I., Klepikov V.V., Knjazeva L.G., Zarapina I.V. Jekspress-metod ocenki smachivajushhih svojstv konservacionnyh sostavov // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 4. – S. 73–85.

2. Rezul'taty issledovanij chistoty poverhnosti tarelok baktofugi al'falaval' s primeneniem mojushhego sredstva «Termoklin» / A.I. Zavrazhnov, P.A. Matushkin, S.M. Kol'cov, S.V. D'jachkov // Innovacionnye podhody k razrabotke tehnologij proizvodstva, hranenija i pererabotki produkcii rastenievodcheskogo klastera: mater. Vseros. nauch.-prakt. konferencii. – Michurinsk: Michurinsk. gos. agrar. un-t, 2020. – S. 156-161.

3. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V. Analiz vlijanija kachestva tehnologicheskih processov na jeffektivnost' proizvodstva moloka // Nauka v central'noj Rossii. - 2018. - № 3. - S. 37-41.

4. Feldung Damkjær N., Adler-Nissen J., Jensen B.B.B., Wilson D.I. Flow pattern and cleaning performance of a stationary liquid jet operating at conditions relevant for industrial tank cleaning // Food and Bioproducts Processing, Volume 101, January 2017, Pages 145-156.

5. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V., Al'lami S.F.H. Obosnovanie kriteriev ocenki jeffektivnosti ispol'zovanija oborudovanija dlja pervichnoj obrabotki moloka // Nauka v central'noj Rossii. - 2016. - № 5. - S. 62-69.

6. Matushkin P.A., Zavrazhnov A. I. Obrabotka molochnogo oborudovanija s pomoshh'ju peny // Importozameshhajushhie tehnologii i oborudovanie dlja glubokoj kompleksnoj pererabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja [Jelektronnyj resurs]: mater. I Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem / pod obshh. red. Ju. V. Rodionova; FGBOU VO «TGTU». – Tambov : Izdat. centr FGBOU VO «TGTU», 2019. – S. 222-226.

7. Ushakova V.N. Mojka i dezinfekcija: Pishhevaja promyshlennost', torgovlja, obshhestvennoe pitanie. – SPb.: Professija, 2009. – 288 s.

8. Removal of UHT dairy fouling – An efficient cleaning process by optimizing the rate controlling alkaline cleaning step / Carin Hagsten, Fredrik Innings, Christian Trägårdh, Lars Hamberg, Marie Paulsson, Tommy Nylander // Food and Bioproducts Processing, Volume 113, January 2019, Pages 101-107.

9. Thermophile Survival in Milk Fouling and on Stainless Steel During Cleaning / A.R. Hinton, K.T. Trinh, J.D. Brooks, G.J. Manderson // Food and Bioproducts Processing, Volume 80, Issue 4, December 2002, Pages 299-304.

10. Dürr H. Milk Heat Exchanger Cleaning: Modelling of Deposit Removal II // Food and Bioproducts Processing, Volume 80, Issue 4, December 2002, Pages 253-259

11. Cleanability of milk deposits on inner stainless steel tubing surfaces prepared by magnetic abrasive finishing / Ikko Ihara, Erina Nakano, Eric McLamore, John K. Schueller, Kiyohiko Toyoda, Kazutaka Umetsu, Hitomi Yamaguchi // Engineering in Agriculture, Environment and Food, Volume 10, Issue 1, January 2017, Pages 63-68.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Анохин Сергей Александрович – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: fwut@mail.ru.

Гуськов Артем Анатольевич – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: tyoma-1@mail.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

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

Author credentials

Affiliations

Anokhin Sergey – Senior lecturer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: fwut@mail.ru.

Gus’kov Artem – Senior lecturer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: tyoma-1@mail.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: vacuum2008@yandex.ru.

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

Поступила в редакцию (Received): 11.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 15.03.2021

УДК 631.017.3: 621.181
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-55-61

ЭНЕРГОЭКОНОМНЫЙ ВАРОЧНЫЙ КОТЁЛ С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ РАСХОДА ГАЗА

[1]Шувалов Анатолий Михайлович
[1]Машков Алексей Николаевич
[1]Чернов Денис Серафимович
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Выявлена проблема отсутствия специального отечественного кормоприготовительного оборудования для фермерских и личных подсобных хозяйств. Установлено, что применение природного газа при термической обработке кормов снижает себестоимость животноводческой продукции и повышает конкурентоспособность на внешнем рынке. Анализ различных модификаций газоиспользующих варочных котлов с широким диапазоном по производительности и конструктивному исполнению, предлагаемых внешним рынком, показал, что их общим недостатком является отсутствие автоматического регулирования расхода газа пропорционально тепловому потоку, идущему на нагрев корма до кипения и в процессе кипения. Занимались модернизацией существующих варочных котлов для сокращения перерасхода природного газа. Разработан энергоэкономный кормоварочный котёл с автоматической системой регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку. Создан экспериментальный образец кормоварочного котла, в котором автоматизированная система регулирования расхода газа, выполненная на базе полупроводниковых термоэлектрических элементов, воздействует на исполнительный механизм без промежуточных усилителей выходного сигнала. Оценивали эффективность работы автоматизированной системы энергообеспечения по экспериментальным исследованиям динамики расхода газа в процессе термической обработки корма в автоматическом и ручном режиме. Установили, что суммарное потребление газа на приготовление 100 кг корма при работе котла в ручном режиме составляет 0,744 м^3, при работе в автоматическом режиме с регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку – 0,588 м^3. Применение автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности обеспечивает экономию газа до 21 %.*

Ключевые слова: *варочный котел, тепловой поток, регулирование, газ.*

ENERGY-SAVING DIGESTER WITH SMOOTH GAS FLOW CONTROL

[1]Shuvalov Anatoliy
[1]Mashkov Alexey
[1]Chernov Denis
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. *The problem of the lack of special domestic feed preparation equipment for farms and personal subsidiary plots has been identified. It has been established that the use of natural gas in the thermal processing of feed reduces the cost of livestock products and increases competitiveness in the foreign market. Analysis of various modifications of gas-powered digesters with a wide range of productivity and design offered by the external market has shown that their common disadvantage is the lack of automatic regulation of gas flow proportional to the heat flux used to heat feed to boiling and during boiling. We were engaged in the modernization of the existing digesters to reduce the overconsumption of natural gas. An energy-saving feed boiler with an automatic gas flow control system proportional to the consumed heat flow has been developed. An experimental sample of a fodder boiler was created in which an automated gas flow control system based on semiconductor thermoelectric elements acts on an actuator without intermediate amplifiers of the output signal. The efficiency of the automated power supply system was assessed by experimental studies of the dynamics of gas consumption*

in the process of heat treatment of feed in automatic and manual modes. It was found that the total gas consumption for the preparation of 100 kg of feed when the boiler is operating in manual mode is 0.744 m^3, when operating in automatic mode with gas flow rate control proportional to the consumed heat flow – 0.588 m^3. The use of an automated power supply system for the digester with smooth power control provides gas savings of up to 21 %

Keywords: *digester, heat flow, regulation, gas.*

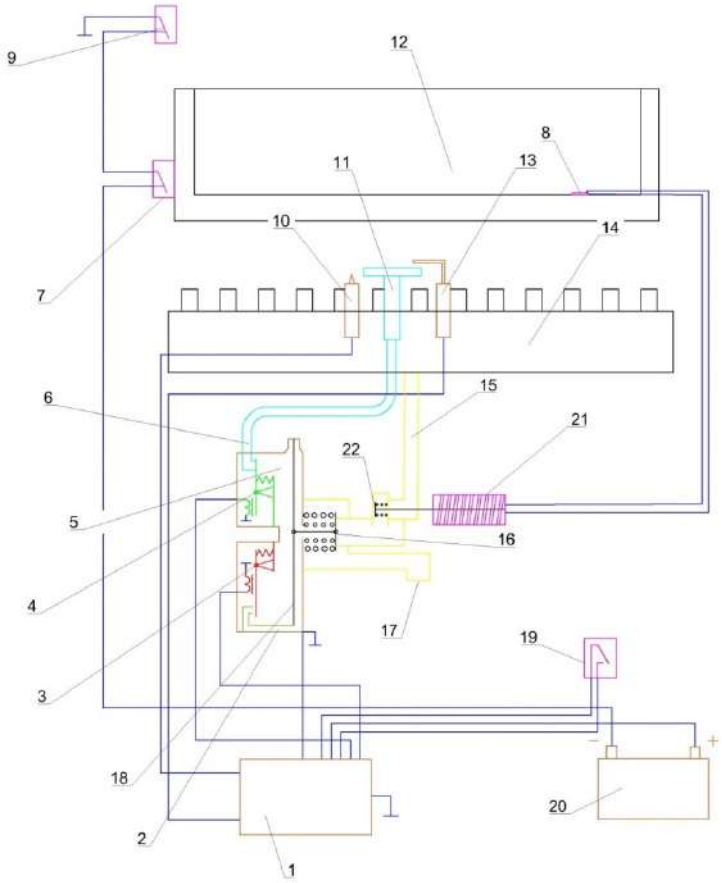
Введение. В России, в том числе в Тамбовской области проводится широкомасштабная газификация сельхозпредприятий, фермерских хозяйств, сельских домов с личными подсобными хозяйствами [1 – 3]. Общеизвестно, что природный газ самый дешевый энергоноситель и интенсивно развивающаяся газификация села позволяет переводить отопление контор сельхозпредприятий, сельских школ, больниц, индивидуальных домов и приготовление пищи, кормов на природный газ. Для этого используют газовые отопительные котлы и газовые плиты [4], а где нет газа, широкое применение находят электрические плиты. Следует отметить, что почти каждый домовладелец в сельской местности имеет личное подсобное хозяйство (ЛПХ) и там значительная доля природного газа используется для приготовления пищи, кормов животным и птицам. Однако в крупных ЛПХ и в фермерских хозяйствах, где содержат 2 – 3 коровы, выращивают 3 – 5 голов свиней, а так же 15 – 20 кур выгодно приготовлять корм не на газовых, плитах с варочными бачками, а в варочных котлах. На внешнем рынке предлагаются различные модификации газоиспользующих варочных котлов с широким диапазоном по производительности и конструктивному исполнению. Общим недостатком таких котлов является отсутствие в их конструктивно-технологической схеме автоматического регулирования расхода газа пропорционально тепловому потоку, идущему на нагрев корма до кипения и в процессе кипения [5]. Это приводит к перерасходу газа на процесс приготовления корма [6]. Поэтому актуальность модернизации существующих варочных котлов с применением перспективных средств регулирования расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку сомнений не вызывает.

Материалы и методы. В работе использованы аналитический, статистический, сравнительный методы и материалы экспериментов.

Результаты и их обсуждение. Следует отметить, что режимы работы варочных котлов имеют свои особенности: в начальный период работы котла мощность (расход газа в единицу времени) системы его энергообеспечения должна быть максимальной, так как в этот момент идёт разогрев металлических конструкций, воды до кипения в пароводяной камере, производство пара и подача его в паровую рубашку. Кроме того в этот момент наблюдается максимальный температурный напор (разность температуры между паром и поверхностью варочной ёмкости), что так же требует максимального теплового потока. И лишь когда в варочной ёмкости нагревается корм (продукт), то есть когда начинает уменьшаться тепловой напор, за счет средств автоматизации должна пропорционально уменьшаться потребляемая мощность котла [6]. Это уменьшение мощности заканчивается в процессе закипания продукта, так как температура корма в этот момент почти равна температуре пара в паровой рубашке. Дальнейшая варка продукта должна осуществляться на минимальной мощности, требуемой на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду и на поддержание процесса кипения. При работе котла в ручном режиме мощность системы энергообеспечения его постоянная, то есть не уменьшается в процессе разогрева корма, и излишки вырабатываемой теплоты выбрасываются в атмосферу.

В ФГБНУ ВНИИТиН для снижения расхода энергии в процессе приготовления корма разработан варочный котёл с плавным регулированием расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку [7, 8]. Автоматизированная система энергообеспечения кормоварочного котла разработана на базе серийно выпускаемых средств автоматики для бытовых отопительных котлов типа НЕВА с применением в ней дополнительной схемы для плавного регулирования расхода газа и с использованием для этих целей перспективных полупроводниковых термоэлектрических элементов [9].

Рассмотрим порядок работы системы энергообеспечения, показанной на схеме (рисунок 1). В начальный момент времени до начала работы газовой горелки газ из питающего газового патрубка свободно поступает через газовый патрубок и нормально открытый управляющий клапан в замембранную область к управляющим клапанам. Газовый клапан к основной горелке перекрыт.



1 – блок управления; 2 – газовый канал в замембранную область; 3 – управляющий газовый клапан; 4 – газовый клапан к запальной горелке; 5 – замембранная область; 6 – газовый патрубок запальной горелки; 7 – датчик перегрева воды; 8 – термоэлектрические элементы; 9 – датчик контроля тяги; 10 – электрод розжига; 11 – запальная горелка; 12 – варочная емкость; 13 – датчик контроля наличия пламени; 14 – основная горелка; 15 – газовый патрубок к основной горелки; 16 – газовый клапан основной горелки; 17 – питающий газовый патрубок; 18 – эластичная мембрана; 19 – микровыключатель; 20 – аккумулятор; 21 – соленоид управляющего клапана; 22 – задвижка

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема пропорционального регулирования расхода газа

Напряжение от термоэлектрического элемента не подается на соленоид управляющего клапана, и связанная с ним через металлический шток задвижка находится в отрытом положении под действием пружины. Процесс запуска и работы газовой горелки начинается после срабатывания микровыключателя. При срабатывании и удержании микровыключателя в замкнутом положении напряжение от аккумулятора поступает к блоку управления, датчику перегрева и датчику тяги. В том случае, если датчики замкнуты, а так же датчик контроля наличия пламени не подает напряжение на контроллер, последний подает напряжение на управляющий газовый клапан к запальной горелке и он открывается, пропуская газ к запальной горелке. Параллельно с этим блок управления подает высокое напряжение на электрод розжига в виде импульсов. Газ проходит через управляющий газовый клапан к запальной горелке и происходит розжиг газовоздушной смеси. Датчик контроля наличия пламени нагревается и подает напряжение на блок управления, тем самым блок управления фиксирует состоявшийся розжиг. После этого блок управления подает напряжение на управляющий нормально открытый газовый клапан

закрывая его. Управляющий газовый клапан к запальной горелке при этом находится в открытом состоянии и оставшийся в замембранной области газ выходит через газовый патрубок к запальной горелке и сгорает. В этот момент давление в замембранной области уменьшается и становится меньше давления газа в питающем газовом патрубке. Под действием разницы давлений происходит открытие газового клапана к основной горелке и газ поступает на основную горелку. При этом газ в замембранной области заканчивается, запальная горелка гаснет, а блок управления при этом перестает подавать напряжение на управляющий газовый клапан к запальной горелке. Газовый клапан к основной горелке остается открытым в максимальном положении. В данной конструктивно-технологической схеме отсутствует датчик температуры и блок управления удерживает управляющий газовый клапан в максимально открытом положении. В процессе работы основная горелка нагревает теплообменник пароводяной камеры и вместе с ним нагревается термоэлектрический элемент, прикрепленный к его поверхности. Наличие перепада температур между верхней и нижней поверхностями термоэлектрического элемента является причиной возникновения напряжения на его выходных контактах, и чем больше разница температур, тем выше уровень напряжения между контактами. Термоэлектрический элемент соединен с соленоидом управляющего клапана с помощью проводов. При изменении напряжения на контактах соленоида управляющего клапана его сердечник, который также является штоком задвижки, начинает перемещаться и закрывать задвижку, преодолевая сопротивление пружины. Зазор между задвижкой и газовым патрубком к основной горелке, через который проходит газ к основной горелке уменьшается. Также снижается температура нагрева теплообменника и термоэлектрического элемента. Перепад температур на верхней и нижней поверхностях термоэлектрического элемента перестает увеличиваться и движение штока соленоида управляющего клапана и задвижки прекращается, фиксируя тем самым расход газа в определенном положении. При увеличении или уменьшении перепада температур соответственно прямо пропорционально меняется и положение задвижки, и расход газа. Физические параметры задвижки, пружины и соленоида подобраны таким образом, чтобы при достижении температуры кипения нагреваемого продукта перепад температур между верхней и нижней поверхностями термоэлектрического элемента соответствовал напряжению на соленоиде управляющего клапана, при котором зазор между задвижкой и газовым патрубком к основной горелке будет минимально возможным для прохождения достаточного количества газа, чтобы основная горелка не погасла и находилась в режиме поддержания температуры тихого кипения воды.

При срабатывании датчика тяги, датчика перегрева или выключении микровыключателя прекращается питание блока управления, управляющие клапаны приходят в нормальное состояние (открытое или закрытое). В этом случае, как и в начальном положении, газ заполняет замембранную область, давление в замембранной области и в питающем газовом патрубке выравнивается и газовый клапан к основной горелке закрывается под действием силы пружин двухходового клапана. В данной конструктивно-технологической схеме блок управления вместе с управляющими газовыми клапанами выполняют функцию розжига и обеспечения безопасности, контролируя сигналы с датчиков тяги, перегрева и контроля наличия пламени. Функции управления расходом газа и процессом нагрева полностью выполняются системой: термоэлектрический элемент – соленоид управляющего клапана – задвижка. Система энергообеспечения построена таким образом, что процесс регулирования выполняется самостоятельно, без промежуточных усилителей управляющего сигнала.

Для оценки эффективности работы автоматизированной системы энергообеспечения проведены экспериментальные исследования.

В варочную ёмкость заливали 100 литров холодной воды, заполняли технологической водой пароводяную камеру, открывали подачу газа из газового баллона, включали горелку и осуществляли замеры через 5 минут температуры воды, температуры пара в паровой рубашке, напряжение термоэлектрических элементов, расход газа. Замеры снимались до начала кипения воды. А так же после закипания воды отдельно осуществляли замеры расхода газа на компенсацию теплопотерь и поддержание температуры воды в режиме тихого кипения.

Исследования показали, что в начальный период времени (до 5 минут 20 секунд) происходит нагрев воды в пароводяной камере до кипения. После начала кипения технологической воды пар начинает интенсивно поступать в паровую рубашку котла и фиксируется при этом резкий рост температуры пара в паровой рубашке (рисунок 2).

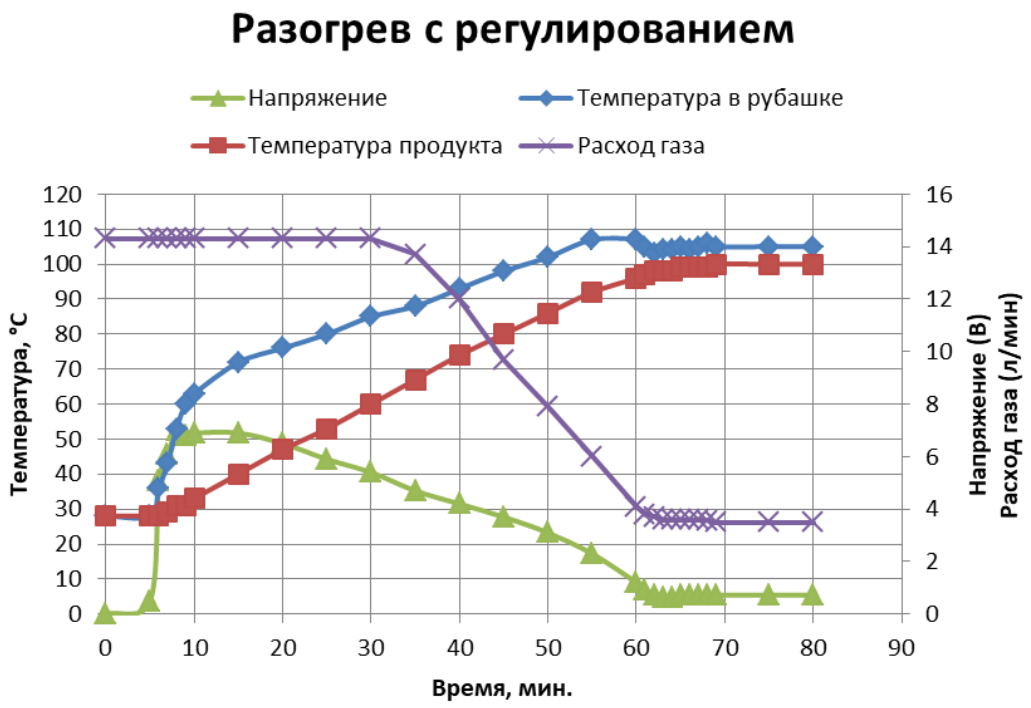


Рисунок 2 – Динамика расхода газа и температуры продукта с горелкой НЕВА

Так как полупроводниковые термоэлектрические элементы прикреплены к поверхности варочной ёмкости, то на одной поверхности их температура равна температуре пара, а на другой поверхности равна температуре продукта (воды) в варочной ёмкости. И так как в начальный период нагрева прдукта температура его минимальная, то на поверхностях термоэлектрических элементов наблюдается максимальный перепад температуры. В результате этого на контактах термоэлектрических элементов возникает максимальное напряжение (рисунок 2). В процессе нагрева продукта происходит уменьшение разности температур между поверхностями термоэлектрических элементов. Этому уменьшению перепада температур соответствует уменьшение напряжения на выходе термоэлектрических элементо. И через 30 минут начинается снижение расхода газа прямо пропорционально изменению температуры на поверхностях термоэлектрических элементов, которое длится в течение 39 минут. После закипания воды в варочной ёмкости расход газа становится минимальным (3,3 л/мин) для поддержания температуры кипения продукта и для компенсации потерь теплоты в окружающую среду. Исследованиями установлено, что суммарный расход газа в автоматическом режиме работы на нагрев 100 литров воды до температуры кипения составил 0,588 м^3. Опыты показали, что суммарный расход газа в ручном режиме работы котла при разогреве этого же количества воды до кипения составил 0,744 м^3. Таким образом экономия газа за счет применения автоматизированной системы энергообеспечения процесса приготовления корма в варочном котле составляет 21%.

Достоинствами автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла являются:

– применена энергонезависимая от централизованного электроснабжения (от аварийных режимов работы, плановых отключений электрических сетей, подстанций) система энергообеспечения варочного котла;

– автоматизированная система регулирования расхода газа, выполненная на базе полупроводниковых термоэлектрических элементов воздействует на исполнительный механизм без промежуточных усилителей выходного сигнала;

Выводы.

1. Применение автоматизированной системы энергообеспечения варочного котла с плавным регулированием мощности обеспечивает экономию газа до 21 %.

2. Энергонезависимость системы энергообеспечения варочного котла от централизованной системы электроснабжения повышает надёжность процесса приготовления корма.

3. Использование в схеме автоматики полупроводниковых нагревательных элементов для плавного регулирования расхода газа позволяет упростить её и сократить затраты на комплектацию.

Список литературы

1. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Оценка потребностей сельского хозяйства РФ в энергоресурсах, их структура на период до 2030 г // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 28. – С. 101 – 109.

2. Государственная программа развития сельского хозяйства на 2013 – 2020 годы. – М., 2013. – 388 с.

3. Шувалов А.М., Калинин В.Ф., Набатов К.А. Мониторинг энергопотребления сельхозпредприятий Тамбовской области // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 6-й междунар. конф. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 260 – 265.

4. Беляев М.И. Тепловое оборудование. – М. Экономика, 1999. – 559 с.

5. Ануфриев В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов // Научный журнал НИУ ИТМО. – Сер. «Процессы и аппараты пищеварочных производств». – 2007. – № 1.

6. Шувалов А.М., Машков А.Н., Тихомиров Д.А. Анализ теплоэнергетических процессов в системе энергообеспечения газоиспользующего кормоварочного котла // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 1 (38). – С. 71 – 77.

7. Патент №2708097 РФ. СПК А47 27/06. Котёл кормоварочный: опубл. 04.12.2019. Бюл. №34. / Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН.

8. Патент №79025 Котёл кормоварочный: опубл. 20.12.2008, бюл № 35 / Шувалов А.М., Иконников А.

9. Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г. Методика расчета термоэлектрической установки для осушения воздуха // Инновации в сельском хозяйстве. – №3(32). – 2019. – С. 261 – 271.

References

1. Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Ocenka potrebnostej sel'skogo hozyajstva RF v energoresursah, ih struktura na period do 2030g // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – 2018. – №28. – C.101-109.

2. Gosudarstvennaya programma razvitiya sel'skogo hozyajstva na 2013-2020 gody. – M., 2013. – 388 s.

3. SHuvalov A.M., Kalinin V.F., Nabatov K.A. Monitoring energopotrebleniya sel'hozpredpriyatij Tambovskoj oblasti // Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom hozyajstve: tr. 6-j mezhdunar. konf. – M.: GNU VIESKH, 2008. – S.260-265.

4. Belyaev M.I. Teplovoe oborudovanie. – M. Ekonomika, 1999. -559 s.

5. Anufriev V.T. Koncepciya sovershenstvovaniya gazovyh pishchevarochnyh kotlov // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. – Ser. «Processy i apparaty pishchevarochnyh proizvodstv». – 2007. – №1.

6. SHuvalov A.M., Mashkov A.N., Tihomirov D.A. Analiz teploenergeticheskih processov v sisteme energoobespecheniya gazoispol'zuyushchego kormovarochnogo kotla // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2020. – T. 67, № 1 (38). – S. 71-77.

7. Patent №2708097 RF. SPK A47 27/06. Kotyol kormovarochnyj: opubl. 04.12.2019. Byul. №34. / SHuvalov A.M., Mashkov A.N., CHernov D.S.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN.

8. Patent №79025. Kotyol kormovarochnyj: opubl. 20.12.2008, byul № 35 / SHuvalov A.M., Ikonnikov A.

9. Trunov S.S., Tihomirov D.A., Lamonov N.G. Metodika rascheta termoelektricheskoj ustanovki dlya osusheniya vozduha // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – № 3(32). – 2019. – S. 261-271.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шувалов Анатолий Михайлович – 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: vniiti@mail.ru.

Машков Алексей Николаевич – 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: vniiti@mail.ru.

Чернов Денис Серафимович – 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: vniiti@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Shuvalov Anatoliy – 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: vniiti@mail.ru.

Mashkov 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: vniiti@mail.ru.

Chernov Denis – 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: vniiti@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 22.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 26.03.2021

УДК 621.43
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-61-70

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВПРЫСКА ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ

[1]Канищев Александр Сергеевич
[2]Сазонов Сергей Николаевич
[3]Родионов Юрий Викторович
[1]Ломовских Александр Егорович
[1]Борисов Сергей Владимирович

[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»
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Применение водно-топливных смесей без дорогостоящего эмульгатора весьма актуально. Исследуются процессы образования топливной струи при впрыскивании топлива из распылителя форсунки с использованием стенда Т-9161-115. В качестве образцов использовали дизельное топливо (ДТ) и водно-дизельную смесь (ВДС), приготовленную на его основе с добавлением 17 % водной фазы с применением разработанного роторно-пульсационного аппарата (РПА). При добавлении воды происходит насыщение ДТ воздухом за счет происходящих в РПА процессов кавитации и равномерное распределение микрогетерогенных капелек воды (менее 2 мкм) по всему объему ДТ. Путем лабораторных исследований определяли плотность и фракционный состав данных образцов. Полученные результаты показали преимущество применения ВДС, по сравнению с обычным ДТ. В результате кавитационной обработки в РПА плотность ВДС выше, чем у ДТ. После осуществления 100 циклов впрыска, при одинаковых условиях проведения эксперимента (температура воздуха 15–17 °С, атмосферное давление 745 мм. рт. ст.), при впрыске ВДС цикловая подача увеличилась на 2,22 % по сравнению с обычным ДТ. Визуальное сравнение показало, что при распыле ВДС увеличились: дальнобойность струи на 5-10 %, угол раскрытия конуса струи на 3 – 5 градусов, ширина до 10 %. Наблюдается более насыщенная туманообразность распыливания за счет увеличения объема топливного факела. Проводенные натурные исследования по определению расхода топлива двигателем Д-241 трактора МТЗ-80 при работе на ДТ и на ВДС при проведении транспортных работ по перевозке сахарной свеклой весом 1600 кг показали снижение удельного расхода топлива двигателем Д-241 трактора МТЗ-80 при работе на ВДС до 17 %.*

Ключевые слова: *дизельные двигатели, система питания, водно-дизельная смесь, эксплуатационные показатели двигателя, автотракторная техника, дисперсность дизельной смеси, расход топлива.*

EXPERIMENTAL STUDIES TO DETERMINE INDICATORS WATER-DIESEL MIXTURE INJECTION

[1]Kanishchev Alexandr
[2]Sazonov Sergey
[3]Rodionov Yuri
[1]Lomovskih Alexandr
[1]Borisov Sergey

[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"
[3]FSBEI HE "Tambov state technical university"

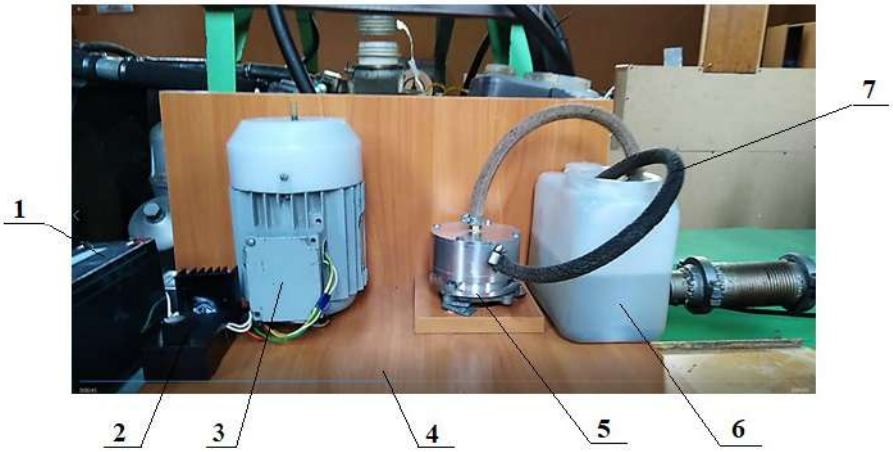
Abstract. *The use of water-fuel mixtures without an expensive emulsifier is very important. The processes of the formation of a fuel jet when fuel is injected from a nozzle atomizer using the T-9161-115 stand are investigated. Diesel fuel (DF) and a water-diesel mixture (WDS) prepared on its basis with the addition of 17 % of the aqueous phase using the developed rotary-pulsating apparatus (RPA) were used as samples. The saturation of the DF with air upon the addition of water occurs due to the cavitation processes occurring in the RPA and the uniform distribution of microheterogeneous water droplets (less than 2 microns) throughout the entire volume of the DF. The density and fractional composition of these samples were determined by laboratory studies. The results obtained showed the advantage of using VDS in comparison with conventional diesel fuel. The density of VDS is higher than that of diesel fuel as a result of cavitation treatment in RPA. With the injection of high-pressure gas, the cyclic feed increased by 2.22 %, compared with a conventional diesel fuel, after 100 injection cycles, under the same experimental conditions (air temperature 15 – 17 ° C, atmospheric pressure 745 mm Hg). A visual comparison showed that when spraying, the VDS increased: the range of the jet by 5 – 10 %, the angle of opening of the cone of the jet by 3 – 5 degrees, the width up to 10 %. A more saturated fogging of spraying is observed due to an increase in the volume of the fuel flame. Conducted field studies to determine the fuel consumption of the D-241 engine of the MTZ-80 tractor when working on diesel fuel and on VDS during transport operations for the transportation of sugar beets weighing 1600 kg showed a decrease in the specific fuel consumption of the D-241 engine of the MTZ-80 tractor when working on VDS up to 17 %.*

Keywords: *diesel engines, power system, water-diesel mixture, engine performance, automotive equipment, diesel mixture dispersion, fuel consumption.*

Введение. В настоящее время применение водно-топливных эмульсий (ВТЭ) с применением эмульгирующей системы исследованы достаточно, а вот применение ВТЭ без применения дорогостоящего эмульгатора мало изучены. Следует отметить, что стоимость такой эмульсии снижается, так как не используется эмульгирующая система, которая существенно удорожает общую стоимость топлива. Поэтому если приготавливать ВТЭ перед ее использованием, то есть непосредственно на транспортном средстве, пока не произошло ее расслоение, то можно не использовать дорогостоящие эмульгаторы. В данном случае жизнеспособность ВТЭ будет достаточной всего несколько минут (3…5 минут), чтобы полностью израсходовать ее. Для реализации данной задачи была разработана и запатентована система приготовления и подачи ВТЭ в ДВС [1]. Также был разработан и запатентован способ обработки углеводородного топлива [2] непосредственно на автомобиле и устройство для его реализации [3]: струйно-кавитационный эжектор (дозатор) [4] и роторно-пульсационный аппарат [5]. Реализация разработанных устройств подробно описана в работах [6, 7, 8].

В связи с этим, при работе дизельного двигателя водно-дизельной смеси (ВДС) необходимо исследовать процесс ее распыливания через отверстия в распылителе форсунки, что является актуальной задачей, требующей дальнейшего решения. В системе питания двигателя подача дизельного топлива в камеру сгорания осуществляется форсунками. Их основным критерием работы является качественное распыление топлива, которое создаёт условия для воспламенения горючей смеси при достижении рабочего давления при такте сжатия в камере сгорания двигателя.

Материалы и методы. Перед проведением исследований был приобретен образец летнего дизельного топлива (ДТ) марки ЕВРО, сорта «С», экологического класса К5 (ДТ-Л-К5) по ГОСТ 32511-2013 на автозаправочной станции, а также исследовался образец ВДС, приготовленной на основе этого дизельного топлива, с применением разработанного технического устройства – установки для приготовления ВДС, представленной на рисунке 1.



1 – источник питания АКБ; 2 – регулятор оборотов электродвигателя; 3 – электродвигатель; 4 – платформа установки; 5 – РПА; 6 – смесительная емкость с электрическим насосом внутри; 7 – топливные шланги

Рисунок 1 – Внешний вид установки для приготовления ВДС

Следует отметить, что в состав ВДС входят два компонента: летнее дизельное топливо – 83 % от всего объема топлива, дистиллированная вода – 17 % соответственно. Данные компоненты заливаются в смесительную емкость 6, затем с помощью электрического насоса, установленного в данной емкости (на рисунке 1 не показан) компоненты подаются в роторно-пульсационный аппарат 5 (РПА), через топливный шланг 7, где подвергаются кавитационной обработке. Приготовление ВДС происходит циклично по кругу в течении одной минуты. После чего, приготовленная эмульсия сливается в емкость.

Внешний вид полученной ВДС и летнего дизельного топлива представлен на рисунке 2. Визуально сравнивая образец ВДС и ДТ, можно сделать вывод, что происходит насыщение топлива воздухом за счет происходящих в РПА процессов кавитации (после приготовления ВДС интенсивно выделяются пузырьки с воздухом в течении 1…2 минут) и равномерное распределение микрогетерогенных капелек воды (средний размер капель менее 2 мкм) по всему объему топлива, за счет чего цвет ДТ меняется на молочный.

а) дизельное топливо

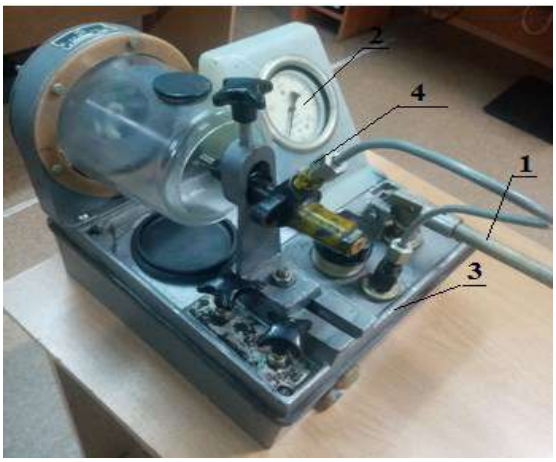
б) водно-дизельная смесь

Рисунок 2 – Внешний вид испытуемых образцов

Затем образцы были переданы в «Испытательную лабораторию нефтепродуктов» г. Воронеж, с целью проведения лабораторных исследований по определению плотности и фракционного состава данных образцов.

Согласно протоколу испытаний № 27/21 от 22 января 2021 г. по результатам анализа было сделано следующее заключение. Топливо дизельное марки ЕВРО, сорта «С», экологического класса К5 (ДТ-Л-К5) по ГОСТ 32511-2013 не соответствует требованиям данного ГОСТ по плотности дизельного топлива ($\rho_{дт}$), так как составляет 819 кг/м^3, а должно составлять в пределах 820 – 845 кг/м^3. А вот плотность ВДС, имеющей в своем составе 17 % воды, по результатам проведенного анализа составила 824 кг/м^3, что соответствует требованиям ГОСТ 32511-2013. Повышение плотности ВДС можно объяснить, тем, что плотность воды больше, чем у дизельного топлива (при температуре 20 °С она составляет около 998 кг/м^3). Поэтому, в результате кавитационной обработки дизельного топлива с добавкой 17% водного компонента в роторно-пульсационном аппарате (РПА), плотность ВДС повышается.

Экспериментальные исследования по определению качественных и количественных показателей впрыска дизельного топлива и ВДС через отверстия в распылителе форсунки проводились согласно ГОСТ 10579-2017 [9], с использованием испытательного стенда Т-9161-115, представленного на рисунке 3.



1 – насос рычажного типа для нагнетания давления, 2 – манометр для снятия показаний давления, 3 – ёмкость для исследуемой жидкости, 4 – муфта для соединения штуцера с форсункой

Рисунок 3 – Внешний вид испытательного стенда Т 9161-115

Результаты и их обсуждение. Цель данных экспериментальных исследований заключается в проведении визуально-сравнительного анализа количественных показателей впрыска ДТ и водно-дизельной смеси, с добавлением 17 % водной фазы, приготовленной разработанными устройствами.

В результате проведенных экспериментальных исследований на стенде Т-9161-115 были получены значения количественных показателей цикловой подачи дизельного топлива и ВДС, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественные показатели цикловой подачи дизельного топлива и ВДС, полученные за 100 циклов впрыска

№ эксперимента	Цикловая подача топлива		Разница цикловой подачи ДТ и ВДС, %
	ДТ, г	ВДС, содержащая 17 % воды, г	
1	21,32	21,95	2,95
2	21,89	22,23	1,55
3	21,64	22,11	2,17
Среднее значение распыла	21,62	22,10	2,22

После сравнения полученных результатов можно сделать вывод, что после осуществления 100 циклов впрыска, при одинаковых условиях проведения эксперимента (температура воздуха 15–17 °С, атмосферное давление 745 мм. рт. ст.), при впрыске ВДС цикловая подача увеличилась на 2,22 % по сравнению с обычным дизельным топливом.

На основании полученных результатов (таблица 1), определялась цикловая подача одного впрыска исследуемых жидкостей (ДТ и ВДС) через форсунку, которая вычислялась по формуле:

$$q = \frac{V}{i}, \quad (1)$$

где q – цикловая подача жидкости, г/цикл; V – количество жидкости, собранное мерной колбой, мм^3/г; i – число циклов.

Цикловая подача дизельного топлива ($q_{дт}$) составляет:

$$q_{дт} = \frac{21{,}62}{100} = 0{,}210 \text{ г/цикл}. \quad (2)$$

Цикловая подача водно-дизельной смеси ($q_{вдс}$) составляет:

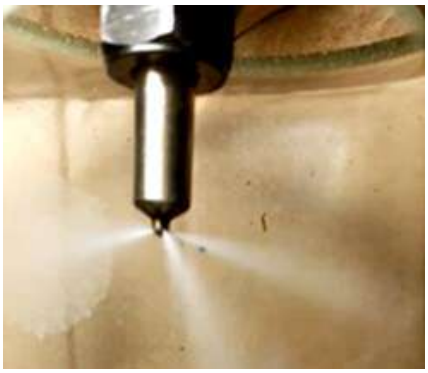
$$q_{вдс} = \frac{22{,}1}{100} = 0{,}221 \text{ г/цикл}. \quad (3)$$

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что цикловая подача ВДС на 0,011 грамм больше, чем ДТ, за счет увеличения плотности ВДС на 4 кг/м^3.

Параметры впрыскиваемой через отверстия в распылителе форсунки струи определяются следующими показателями: дальнобойность струи; углом раскрытия конуса струи; дисперсность распыливания топлива.

Качество распыления, согласно ГОСТ 105179-2017, как описано в работе [10] при визуальном наблюдении должно быть туманообразным, без сплошных струй и легко различимых сгущений.

Для проведения исследований процесса распыливания ДТ и ВДС через отверстия распылителя форсунки был применен метод кинорегистрации. На рисунке 4 показан внешний вид форсунки, распыляющей ДТ и ВДС.



а) впрыск дизельного топлива

б) впрыск водно-дизельной смеси

Рисунок 4 – Внешний вид распылителя форсунки

Сравнивая визуально показатели струи, представленные на рисунке 4, можно сделать вывод, что при распыле ВДС дальнобойность струи увеличилась на 5 – 10 %, угол раскрытия конуса струи увеличился на 3 – 5 градуса, увеличивается его ширина до 10 % и наблюдается более насыщенная туманообразность распыливания за счет увеличения объема топливного факела. Как видно из фотографии, представленной рисунке 4, диспергирование пузырьков воздуха в ВДС приводит к разрушению ядра распыливаемой струи.

На основании результатов, полученных в работе [11] можно предположить, что в результате разрушения ядра струи происходит существенное увеличение периферийной зоны, содержащей более мелкие капли чем «сердцевина» струи.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при распыле ВДС происходят физические процессы, которые способствуют улучшению качества распыла, за счет насыщения ДТ воздухом и водой. В результате такого насыщения происходят схлопывания воздушных пузырьков при выходе из отверстия распылителя форсунки, что свидетельствует о возможности

организации более качественного процесса смесеобразования в цилиндрах двигателя. Поэтому существует оптимальное, порядка 40 – 50 % объемных воздуха насыщение ($S_{В\ опт.}$) топлива воздухом, при котором достигается максимум улучшения экономических и экологических показателей работы дизеля. При таком оптимальном насыщении топлива воздухом происходит уменьшение (до 2 градусов поворота коленчатого вала) периода задержки воспламенения, что описывается во многих источниках [11 – 14].

После анализа данных работ можно сделать вывод, что воду целесообразно подавать не с топливом в виде ВТЭ, а отдельно желательно во впускной коллектор. Такое введение воды приведет к снижению δ_{wr} – потерь, связанных с теплообменом, по причине уменьшения температуры рабочего тела.

Также снижение периода задержки самовоспламенения приведет к повышению температуры и давления в камере сгорания двигателя, это объясняется улучшением теплообмена между воздухом и ВДС в цилиндре двигателя. Все перечисленное выше позволяет сделать вывод, что такое распыление ВДС существенно улучшит процесс смесеобразования в камере сгорания дизельного двигателя, что приведет к улучшению экономических и экологических показателей его работы.

Для подтверждения полученных выше результатов были проведены натурные испытания трактора МТЗ-80, которые являются ключевыми во всем исследовании. Объектом испытаний выбран трактор МТЗ-80 1990 года выпуска, с дизельным двигателем Д-241, на момент начала испытаний наработка составляла 9362 моточасов, техническое обслуживание данного агрегата проводилось согласно регламенту при подготовке к весенне-полевым работам. Для этих целей использовался дизельный двигатель Д-241 трактора МТЗ-80, который перед проведением натурных испытаний подвергался комплексной диагностики, на основании чего двигатель был признан технически исправным и самое главное пригодным к проведению полевых испытаний с применением ВДС, приготовляемой по разработанной технологии с помощью технических средств и ее последующей параллельной подачи в штатную систему питания данной силовой установки.

Измерения израсходованного топлива производились с помощью тарированной мерной колбы. Величина топлива, которое необходимо для наполнения емкости до отметки, соответствующей началу испытаний и есть показатель израсходованного топлива в ходе проведения испытаний, которое измеряется в миллилитрах и при необходимости переводится в килограммы [15].

Для корректного проведения испытаний под нагрузкой, прицеп загружается сахарной свеклой весом 1600 кг, далее производится взвешивание для определения фактической массы прицепа и груза, которая составляет 3400 кг, что соответствует техническим характеристикам грузоподъемности трактора МТЗ-80, равной 3650 кг [16].

Условия проведения испытаний. Для осуществления равномерного движения и минимизации факторов, влияющих на снижение скорости при проезде, выбирается ровный участок дороги, который не имеет больших дефектов асфальтного покрытия, выбоин, ям, перепадов рельефа местности и поворотов. Выбранный для натурных испытаний участок дороги длиной 7,5 км в одну сторону между населенными пунктами Верхняя Плавица и Малый Самовец Эртильского района относится к дороге 3 класса, соответствующей по качеству покрытия ГОСТ Р 50597–93. Маршрут изображен на рисунке 5.

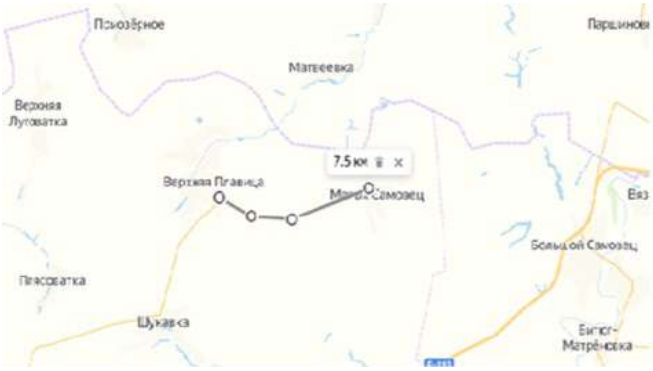


Рисунок 5 – Маршрут для испытаний трактора МТЗ-80

Перед началом измерений трактор прогревается до рабочей температуры, и глушится, установленная на время испытаний топливная емкость заполняется до уровня верхней отметки. Далее осуществляется один проезд на участке длиной 15 км, согласно маршруту представленного на рисунке 5 [17].

При обнаружении неисправностей трактора или нарушении режима его движения испытания считаются выполненными некорректно. После устранения поломки или причины нарушения режима движения транспортное средство устанавливается на исходную позицию и проведение испытаний повторяется.

Данное натурное исследование производилось в течении 6 повторений. Три – на тракторе с применением обычного дизельного топлива и три – с применением ВДС, приготовленной установленными на тракторе техническими устройствами. Результаты по измерению параметров трактора МТЗ-80, при проведении натурных испытаний на дизельном топливе, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры трактора МТЗ-80, при проведении натурных испытаний на дизельном топливе

№ эксперимента	Расход топлива по заправке	Пройденная дистанция, км.	Давление в шинах, МПа.	Атмосферное давление, мм. рт. ст.	Влажность, %	Температура воздуха, °С
1	9,2	15	0,2	745	58	19
2	9,4	15	0,2	745	60	19,5
3	9,3	15	0,2	743	59	20
4	20	32,6	0,2	741	60	19,5

На следующем этапе испытаний трактор МТЗ-80, оснащенный двигателем Д-241 оборудовался техническими устройствами для приготовления и параллельной подачи ВДС в штатную систему питания, и испытания повторялись заново только уже при работе ДВС на ВДС.

Полученные результаты данных исследований представлены в таблице 3. И подтверждают эффективность применения технологии приготовления ВДС и технических средств для ее реализации в системе питания ДВС.

Таблица 3 – Параметры трактора МТЗ-80, при проведении натурных испытаний на ВДС

№ эксперимента	Расход топлива по заправке, л	Пройденная дистанция, км	Давление в шинах, МПа	Атмосферное давление, мм.рт. ст.	Влажность, %	Термература воздуха, °С
1	7,7	15	0.2	744	60	19
2	7,6	15	0.2	744	56	19,5
3	7,8	15	0,2	745	58	20
4	20	38,9	0,2	747	60	19,5

В результате проведенных натурных испытаний, были получены средние численные показатели расхода топлива в режиме работы двигателя трактора МТЗ-80 под нагрузкой, с тракторном прицепом 2 ПТС-4 и массой груза 1600 кг., при работе на обычном дизельном топливе и ВДС, содержащей 83% дизельного топлива и 17% воды, без применения эмульгатора, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сводная таблица результатов испытаний

Параметр	Двигатель, работающий на ДТ	Двигатель, работающий на ВДС	Разница в единицах	Разница в %
Средний расход топлива	9,2	7,70	1,6	16,4
Средний расход топлива	9,2	7,68	1,62	16,5

По результатам проведенных натурных испытаний трактора МТЗ-80 построена диаграмма по сравнению расхода ДТ и ВДС двигателем Д-241, представленная на рисунке 6.

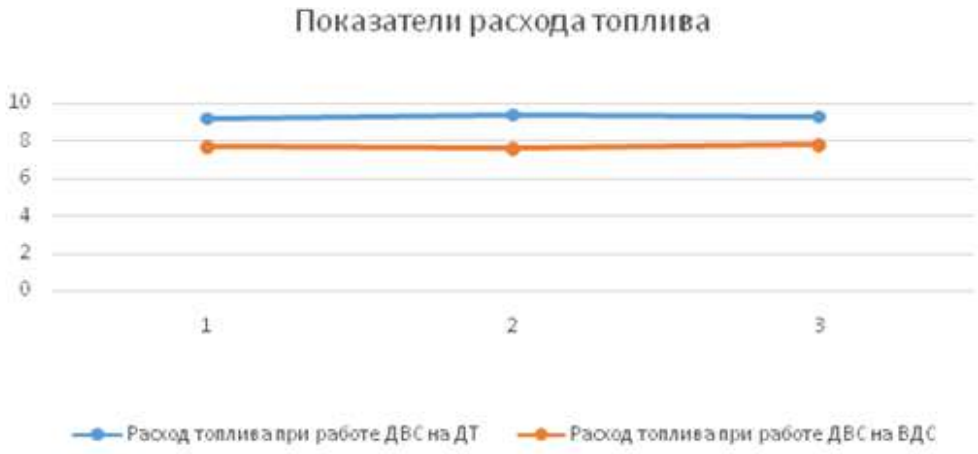


Рисунок 6 – Диаграмма сравнения расхода топлива дизельного двигателя

Заключение. Таким образом, полученные результаты по улучшению качественных и количественных показателей впрыска ВДС через отверстия в распылителе форсунки подтверждаются проведенными натурными экспериментами силовой установки Д-241 трактора МТЗ-80, оборудованного техническими устройствами для приготовления и подачи ВДС в систему питания дизельного двигателя Д-241, при проведении транспортных работ. При проведении которых было зафиксировано существенное снижение расхода при работе ДВС на ВДС до 17 %.

Список литературы

1. Патент №2390649 Российская Федерация, МПК F02M 25/00, F02B47/02. Система для приготовления и подачи ВТЭ в ДВС: №2007127031: опубл. 16.07.07. /Ломовских А.Е., Воробьев Ю.В., Тетюриков В.Б. – 18 с.

2. Патент на изобретение № 2498094 Российская Федерация. Способ обработки углеводородного топлива для двигателей внутреннего сгорания: № 2011133257: заявл. 08.08.2011: опубл. 10.11.2013 / Борисов С.В., Иванов В.П., Ломовских А.Е., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. – 14 с.

3. Патент №2469199 Российская Федерация, МПК 7 F 02B47/02. Устройство для обработки углеводородного топлива: №2011132517/06: опубл. 10.12.2012 / А.Е. Ломовских, В.П. Иванов, Д.Е. Капустин и др. – 7 с.

4. Патент №2352805 Российская Федерация, МПК F02 M 25/00. Струйно-кавитационный эжектор для приготовления ВТЭ: №2007139864: опубл. 30.10.07. / Ломовских А.Е., Воробьев Ю.В., Дупляк В.П. – 26 с.

5. Патент № 2509602 Российская Федерация, МПК B01F 7/14. Роторно-пульсационный аппарат для приготовления водно-топливной эмульсии: №2011132519/15: опубл. 10.02.2013. / А.Е. Ломовских, В.П. Иванов и др. – 6 с.

6. Ломовских А.Е. Использование водно-топливной эмульсии в карбюраторных ДВС // Инженерная физика. – 2010. – № 3. – С.37–39.

7. Влияние топливных эмульсий на экологические и экологические характеристики ДВС / Ломовских А.Е. Иванов В.П., Илларионов В.В., Капустин Д.Е. // Вестник ВАИУ. – 2010. – № 4(11). – С.159–164.

8. Приготовление топливных эмульсий для двигателей внутреннего сгорания военной техники на основе роторно-пульсационного аппарата / Ломовских А.Е., Иванов В.П., Илларионов В.В., Татаринов В.В. // Наукоемкие технологии. – 2012. – № 3. – С.65–68.

9. ГОСТ 10579-2017. Форсунки дизелей. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 8 с.

10. Буклагина Г.В. Опыт модернизации тракторов МТЗ в Батыревской сельхозтехнике Чувашской Республики // Инженерно-техническое обеспечение АПК: РЖ. – 2002. – № 2. – С. 391.

11. Свистула А.Е. Повышение показателей рабочего процесса дизеля улучшением смесеобразования и сгорания: автореф. дис. … д-ра. техн. наук. – Барнаул, 2007. – 35 с.

12. Улучшение экологических показателей автомобильных дизелей путем применения водно-топливных эмульсий / Ложкин В.Н., Пименов Ю.А., Сафиуллин Р.Н., Акодес А.А. // Матер. науч.-практ. конф. – 2005. – 67–76 С.

13. 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.

14. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Принципы разработки новых энергосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии // Пром. теплотехника. – 1997. – Т.19, № 4–5. – С. 13–25.

15. ГОСТ 22576–1990. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 20 с.

16. ГОСТ 54810–2011. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 46 с.

17. ГОСТ 19677-87. Тракторы сельскохозяйственные. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 9 с.

References

1. Patent №2390649 Rossijskaja Federacija, MPK F02M 25/00, F02B47/02. Sistema dlja prigotovlenija i podachi VTJe v DVS: №2007127031: opubl. 16.07.07. /Lomovskih A.E., Vorob'ev Ju.V., Tetjurikov V.B. – 18 s.

2. Patent na izobretenie № 2498094 Rossijskaja Federacija. Sposob obrabotki uglevodorodnogo topliva dlja dvigatelej vnutrennego sgoranija: № 2011133257: zajavl. 08.08.2011: opubl. 10.11.2013 / Borisov S.V., Ivanov V.P., Lomovskih A.E., Kapustin D.E., Sysoev I.P. – 14 s.

3. Patent №2469199 Rossijskaja Federacija, MPK 7 F 02B47/02. Ustrojstvo dlja obrabotki uglevodorodnogo topliva: №2011132517/06: opubl. 10.12.2012 / A.E. Lomovskih, V.P. Ivanov, D.E. Kapustin i dr. – 7 s.

4. Patent №2352805 Rossijskaja Federacija, MPK F02 M 25/00. Strujno-kavitacionnyj jezhektor dlja prigotovlenija VTJe: №2007139864: opubl. 30.10.07. / Lomovskih A.E., Vorob'ev Ju.V., Dupljak V.P. – 26 s.

5. Patent № 2509602 Rossijskaja Federacija, MPK V01F 7/14. Rotorno-pul'sacionnyj apparat dlja prigotovlenija vodno-toplivnoj jemul'sii: №2011132519/15: opubl. 10.02.2013. / A.E. Lomovskih, V.P. Ivanov i dr. – 6 s.

6. Lomovskih A.E. Ispol'zovanie vodno-toplivnoj jemul'sii v karbjuratornyh DVS // Inzhenernaja fizika. – 2010. – № 3. – S.37–39.

7. Vlijanie toplivnyh jemul'sij na jekologicheskie i jekologicheskie harakteristiki DVS / Lomovskih A.E. Ivanov V.P., Illarionov V.V., Kapustin D.E. // Vestnik VAIU. – 2010. – № 4(11). – S.159–164.

8. Prigotovlenie toplivnyh jemul'sij dlja dvigatelej vnutrennego sgoranija voennoj tehniki na osnove rotorno-pul'sacionnogo apparata / Lomovskih A.E., Ivanov V.P., Illarionov V.V., Tatarinov V.V. // Naukoemkie tehnologii. – 2012. – № 3. – S.65–68.

9. GOST 10579-2017. Forsunki dizelej. Tehnicheskie trebovanija i metody ispytanij. – M.: Izd-vo standartov, 2018. – 8 s.

10. Buklagina G.V. Opyt modernizacii traktorov MTZ v Batyrevskoj sel'hoztehnike Chuvashskoj Respubliki // Inzhenerno-tehnicheskoe obespechenie APK: RZh. – 2002. – № 2. – S. 391.

11. Svistula A.E. Povyshenie pokazatelej rabochego processa dizelja uluchsheniem smeseobrazovanija i sgoranija: avtoref. dis. … d-ra. tehn. nauk. – Barnaul, 2007. – 35 s.

12. Uluchshenie jekologicheskih pokazatelej avtomobil'nyh dizelej putem primenenija vodno-toplivnyh jemul'sij / Lozhkin V.N., Pimenov Ju.A., Safiullin R.N., Akodes A.A. // Mater. nauch.-prakt. konf. – 2005. – 67–76 S.

13. 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.

14. Dolinskij A.A., Ivanickij G.K. Principy razrabotki novyh jenergosberegajushhih tehnologij i oborudovanija na osnove metodov diskretno-impul'snogo vvoda jenergii // Prom. teplotehnika. – 1997. – T.19, № 4–5. – S. 13–25.

15. GOST 22576–1990. Avtotransportnye sredstva. Skorostnye svojstva. – M.: Izd-vo standartov, 1990. – 20 s.

16. GOST 54810–2011. Avtotransportnye sredstva. Toplivnaja jekonomichnost'. Metody ispytanij. – M.: Izd-vo standartov, 2011. – 46 s.

17. GOST 19677-87. Traktory sel'skohozjajstvennye. Obshhie tehnicheskie uslovija. – M.: Izd-vo standartov, 1987. – 9 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Каницев 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.

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

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

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.

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.

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.

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): 01.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 15.04.2021

УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-71-77

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СМАЗКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ МНОГОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ

[1]Нагдаев Владимир Константинович
[1]Вязинкин Виктор Сергеевич
[1]Забродская Алла Владимировна
[1,2]Остриков Валерий Васильевич
[3]Сафонов Валентин Владимирович
[4]Першин Владимир Фёдорович

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»
[4]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *При высоких нагрузках в изношенных механизмах смазка Литол-24 не всегда обеспечивает высокие противоизносные свойства, способствующие продлению сроков службы подшипников скольжения. С целью повышения эксплуатационных свойств проведены исследования по модификации смазки графенами и осуществлены сравнительные испытания на машине трения МИ-1М. Структура углеродной пленки определялась методом комбинационного рассеивания (КР) света на спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific. Установлено, что массовый износ деталей снижается на 43 % при переходе с товарной смазки Литол-24 на смазку, модифицированную графенами. Определено, что в спектре от углеродной пленки присутствуют приблизительно одинаковые по интенсивности G-линия – 1565 см$^{-1}$ и D -линия – 1340 см$^{-1}$ и мало интенсивная 2D- линия – 2700 см$^{-1}$. Данный спектр идентичен КР - спектру аморфного углерода. Перечисленные линии от металлической поверхности ролика в КР-спектре отсутствуют. В процессе испытания на машине трения пластической смазки Литол 24 с наполнителем из многослойного графена наблюдается разрушение структуры графена и преобразование его в аморфный углерод. В результате определения шероховатости ролика и толщины углеродной пленки профилометром установлено, что шероховатость поверхности с углеродной пленкой меньше по сравнению с чистой металлической поверхностью ролика: (0,176 – 0,168 = 0,008 мкм) и (0,566 – 0,485 = 0,071 мкм), глубина впадин профиля на поверхности с углеродной пленкой уменьшилась на 0,116 мкм. Высота выступов профиля на поверхности с углеродной пленкой увеличилась на 0,161 мкм. При этом определено расчетным путем, что ориентировочная толщина углеродной пленки составляет 0,138 мкм. На основании проведенных исследований можно утверждать, что модификация товарной смазки Литол-24 графенами способствует образованию защитной противоизносной пленки на поверхности трения, тем самым снижая износ и увеличивая срок службы деталей машины.*

Ключевые слова*: пластичная смазка, модификация, графены, машина трения, износ, углеродная пленка, спектр, профиль.*

RESULTS OF STUDIES OF A LUBRICANT MODIFIED WITH MULTI-LAYER GRAPHENE

[1]Nagdaev Vladimir
[1]Vyazinkin Viktor
[1]Zabrodskaya Alla
[1,2]Ostrikov Valery
[3]Safonov Valentin
[4]Pershin Vladimir

[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"
[3]FSBEI HE "Saratov State Vavilov Agrarian University"
[4]FSBEI HE "Tambov state technical university"

***Abstract**. Litol-24 grease does not always provide high antiwear properties that contribute to the prolongation of the service life of plain bearings at high loads in worn mechanisms. Studies on the modification of grease with graphenes were carried out in order to improve the operational properties and comparative tests on a MI-1M friction machine were carried out. Структура углеродной пленки определялась методом комбинационного рассеивания (КР) света на спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific. Установлено, что массовый износ деталей снижается на 43 % при переходе с товарной смазки Литол-24 на смазку, модифицированную графенами. Определено, что в спектре от углеродной пленки присутствуют приблизительно одинаковые по интенсивности G-линия – 1565 см$^{-1}$ и D -линия – 1340 см$^{-1}$ и мало интенсивная 2D- линия – 2700 см$^{-1}$. This spectrum is identical to the Raman spectrum of amorphous carbon. The listed lines from the metal surface of the roller are absent in the Raman spectrum. The destruction of the graphene structure and its transformation into amorphous carbon is observed during testing on a friction machine for Litol 24 grease filled with multilayer graphene. As a result of determining the roughness of the roller and the thickness of the carbon film with a profilometer, it was found that the surface roughness with a carbon film is less compared to the clean metal surface of the roller: (0.176 – 0.168 = 0.008 μm) and (0.566 - 0.485 = 0.071 μm), the depth of the profile depressions on the surface with a carbon film decreased by 0.116 microns. The height of the profile protrusions on the surface with the carbon film increased by 0.161 μm. At the same time, it was determined by calculation that the approximate thickness of the carbon film is 0.138 microns. It can be argued on the basis of the studies that the modification of commercial Litol-24 grease with graphenes promotes the formation of a protective antiwear film on the friction surface, thereby reducing wear and increasing the service life of machine parts.*

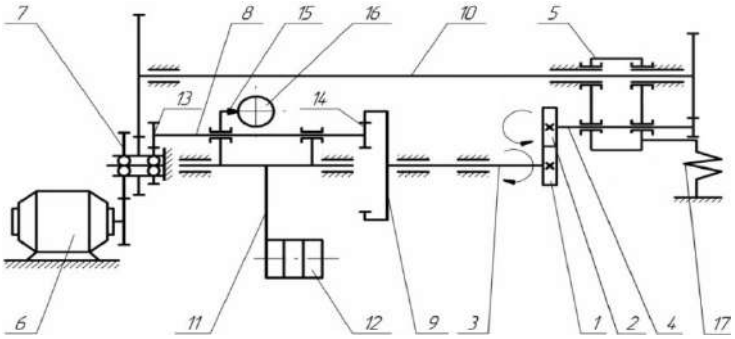
***Keywords:** grease, modification, graphenes, friction machine, wear, carbon film, spectrum, profile.*

Введение. Пластичная смазка Литол-24, используемая в узлах трения сельскохозяйственной техники обладает рядом преимуществ по сравнению со смазкой Солидол – Ж [1]. При этом на протяжении последних 10 лет учеными и разработчиками пластичных смазок ведутся исследования по повышению эксплуатационных свойств смазки Литол-24 [2, 3]. Представляет интерес возможность увеличения противоизносных свойств смазки, модифицированной наноструктурированными добавками металлов, их сплавов и т.д. [4, 5].

Особенно следует отметить развитие направления по использованию графенов в качестве добавки к смазке, способствующей при определенных условиях формировать на поверхности трения противоизносную пленку [6, 7].

Целью работы является повышение противоизносных свойств товарной смазки для продления сроков службы узлов трения сельскохозяйственной техники.

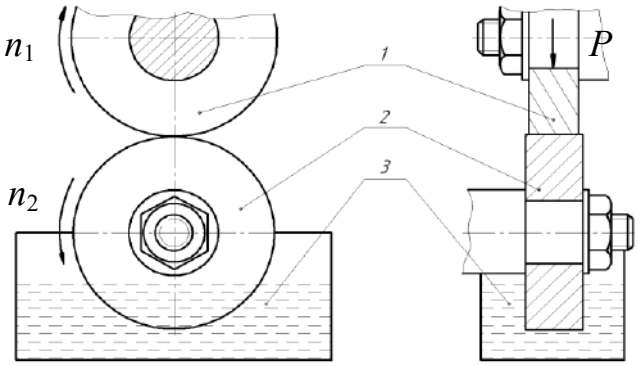
Методика проведения исследований. Сравнительные испытания исследуемых смазочных материалов проводили на машине трения МИ-1М (рисунок 1).



1 – нижний ролик; 2 – верхний ролик; 3 – шпиндель; 4 – вал каретки; 5 – корпус каретки; 6 – электродвигатель; 7 – блок зубчатых колес; 8, 10 – валы; 9 – зубчатое колесо с внутренним зацеплением; 11 – маятник; 12 – грузы; 13, 14 – зубчатые колеса; 15 – маркер; 16 – миллиметровая бумага; 17 – нагрузочное устройство.

Рисунок 1 – Кинематическая схема машины трения МИ-1М

Перед проведением испытаний машину трения тарировали по нагрузке и моменту трения. Оценку процессов, происходящих при взаимодействии пар трения проводили на элементах «ролик – ролик» (рисунок 2), изготавливаемых из стали ШХ-15.



1 – верхний ролик; 2 – нижний ролик; 3 – ёмкость с испытуемым смазочным материалом

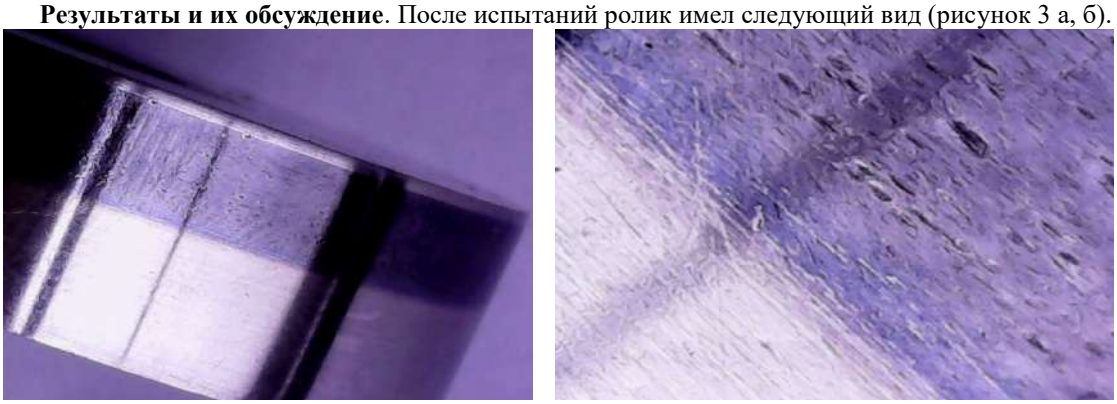
Рисунок 2 – Схема контактирования пары трения «ролик – ролик»

Параметры роликов составляют: ширина верхнего ролика – 10 мм, нижнего – 12 мм, наружный диаметр – 50 мм, шероховатость поверхностей трения R_a – 0,8 мкм, твёрдость – 60 – 62 HRC. Для получения более достоверных результатов ролики предварительно проходили процесс приработки на смазке Литол-24 в течение 3 часов. Приработанные ролики погружали на 1/3 диаметра в смазочную ванну со смазкой. Далее проводили приработку при температуре среды 20 – 23 ^{o}C, частоте вращения ролика – 500 мин$^{-1}$. Нагрузочный режим регулировался от 0 до 0,25 кН. При этом время работы под нагрузкой насчитывало 0,5 ч на каждой ступени. Оценкой эффективности приработки являлось значение стабилизации момента трения. Приработанные ролики промывали в бензине для удаления смазки. После чего их высушивали, время сушки составляло 24 часа. Далее ролики взвешивали на аналитических весах HR-250AZG с точностью до 0,1 мг.

Подготовленный к испытаниям ролик устанавливался в крепление машины трения, проводилась его обработка исследуемым составом модифицированной смазки. Износ поверхностей трения определялся простым взвешиванием на аналитических весах. Запуск машины трения проводили при нулевой нагрузке. После чего увеличивали нагрузку до выбранного значения. Время процесса составляет 2 – 5 минут, а общая продолжительность испытаний заняла 6 часов. После завершения процесса испытаний ролики вновь промывались и взвешивались.

Изменение температуры на поверхностях трения контролировалось прибором MS 6530. Момент силы трения регистрировался автоматически.

Результаты и их обсуждение. После испытаний ролик имел следующий вид (рисунок 3 а, б).



а) увеличение х1 б) увеличение в100 раз

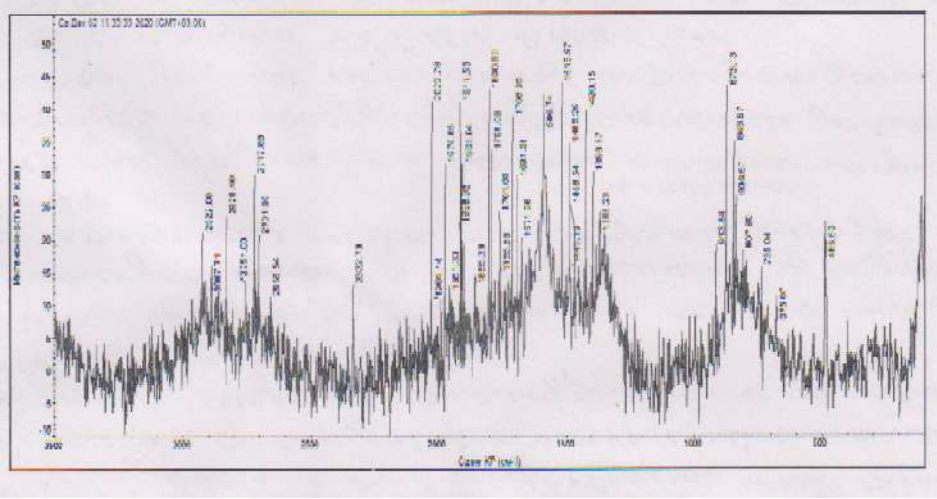
Рисунок 3 – внешний вид ролика после испытаний

В таблице 1 представлены результаты сравнительных испытаний смазок.

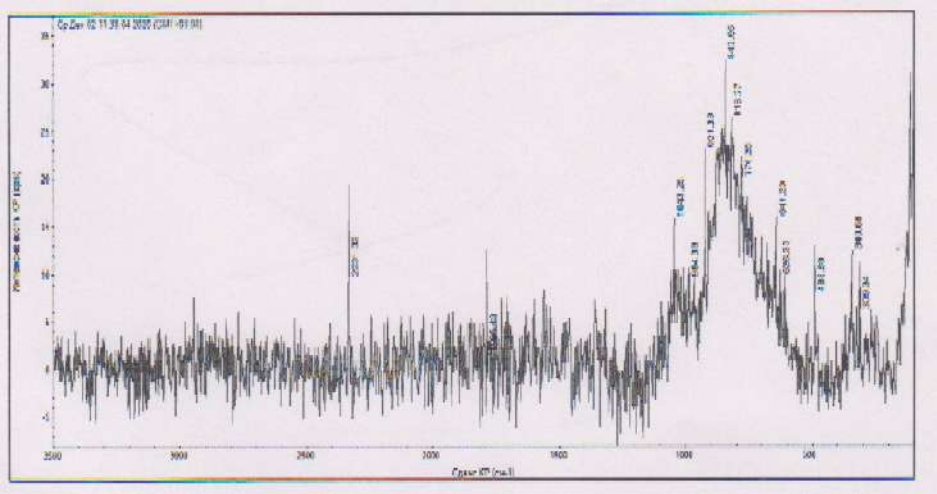
Таблица 1 – Результаты сравнительных испытания пластической смазки Литол-24, модифицированной графенами (пара трения ролик – ролик, нагрузка 250 Н, время испытания – 6 часов)

Образец	Момент силы трения (условные единицы)	Температура поверхности трения (нижний ролик), ^{0}C	Износ, мг
Литол 24 (№1)	5,5 – 6,3	20 - 48	0,0138
Литол + графен (№2)	5,8 – 4,5	20 - 40	0,0079
Литол + карбамид (№3)	6,5 -4,5	20 - 40	0,0090

Анализируя полученные результаты испытаний, следует отметить, что образец № 2 имеет превосходные характеристики. После испытаний на поверхности металла образовалась прочная углеродная пленка темного цвета. Структуру углеродной пленки определяли методом комбинационного рассеяния (КР) света. Спектры снимались на КР спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific (длина волны лазера λ = 532 нм), рисунок 4 а, б.



а)



б)

Рисунок 4: а – КР спектр поверхности ролика с углеродной пленкой;
б – КР спектр поверхности ролика без углеродной пленки

В спектре с углеродной пленкой (рисунок 4а) присутствуют приблизительно одинаковые по интенсивности G-линия – 1565 см$^{-1}$ и D -линия – 1340 см$^{-1}$ и мало интенсивная 2D- линия – 2700 см$^{-1}$. Данный спектр идентичен КР спектру аморфного углерода. В спектре от металлической поверхности ролика (рисунок 4б) перечисленные линии КР спектра отсутствуют. В ходе испытания на машине трения пластической смазки Литол 24 с наполнителем многослойный графен произошло разрушение структуры графена и преобразование его в аморфный углерод. Микрофотография исследованной поверхности ролика с углеродной пленкой приведена на рисунке 5.

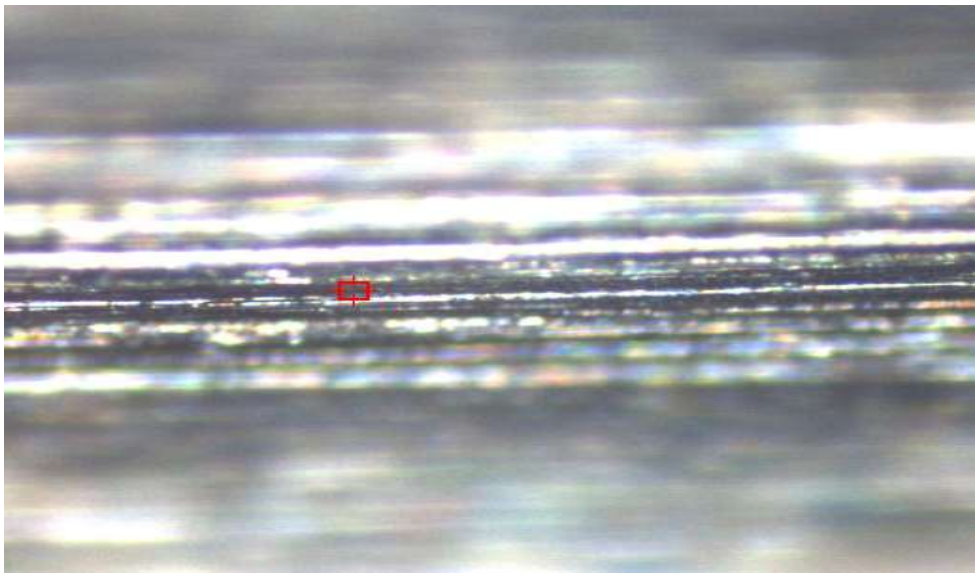


Рисунок 5 – Поверхность ролика с углеродной пленкой на спектрометре DXR Raman Microscope Thermo Scientific (увеличение в 600 раз)

Определение шероховатости ролика и толщины углеродной пленки осуществлялось профилометром модели 130. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты исследования шероховатости чистой металлической поверхности ролика и поверхности ролика с углеродной пленкой

Параметры профиля поверхности, мкм	R_a	R_{max}	R_z	Rvk глубина впадин	R_{max} впадин	Rpk высота выступов	R_{max} выступов
Металлическая поверхность ролика	0,176	1,15	0,566	0,858	0,451	0,493	0,689
Углеродная пленка на металлической поверхности ролика	0,168	0,86	0,485	0,742	0,348	0,654	0,512

Шероховатость поверхности с углеродной пленкой меньше, по сравнению с чистой металлической поверхностью ролика: (0,176 – 0,168=0,008 мкм) и (0,566 – 0,485 = 0,071 мкм). Глубина впадин профиля на поверхности с углеродной пленкой уменьшилась на 0,116 мкм (0,858 – 0,742). Высота выступов профиля на поверхности с углеродной пленкой увеличилась на 0,161 мкм (0,654 – 0,493). Приблизительная толщина углеродной пленки (0,116 + 0,161):2 = 0,138 мкм (138 нм).

Заключение. В результате исследований установлено, что модификация товарной пластичной смазки многослойным графеном позволяет повысить эксплуатационные характеристики смазки Литол-24 и в первом приближении утверждать о возможности снижения износа поверхности трения подшипников качения и скольжения.

Список литературы

1. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение.– Москва: Техинформ, 1999. – 596 с.

2. Савин Л.А., Степанов Ю.С., Корнаев А.В. Перспективы разработки энергоэффективной гибридной гидродинамической смазки на основе наноматериалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 6 (308). – С. 60 – 69.

3. Теоретические аспекты эффективности модификации пластических смазок графитовыми наполнителями и их работы в механизмах / Остриков В.В., Вигдорович М.В., Сазонов С.Н., Забродская А.В.// Наука в центральной России. – 2020. – № 3 (45). – С. 97 – 103.

4. Балабанов В.И., Лехтер В.В. Триботехнические исследования металлоплакирующих пластичных смазок // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 108 – 114.

5. Сафонов В.В., Азаров А.С. Трибологические свойства модификаций пластичных смазок // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2019. – № 4. – С. 39 – 41.

6. Першин В.Ф., Аль-Саади Д.А.Ю., Салимов Б.Н. Перспективы улучшения эксплуатационных характеристик графитных смазок за счет механоактивации в планетарных мельницах // European Research. – 2015. – № 10 (11). – С. 28 – 30.

7. Multilayer graphene as a lubricating additive in dentone crease / Fan X., Xia Y., Wang L, Li W. // Tribol Lett. – 2014. – Vol 55. – Pp.455 – 464.

References

1. SHkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie.– Moskva: Tekhinform, 1999. – 596 s.

2. Savin L.A., Stepanov YU.S., Kornaev A.V. Perspektivy razrabotki energoeffektivnoj gibridnoj gidrodinamicheskoj smazki na osnove nanomaterialov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2014. – № 6 (308). – S. 60-69.

3. Teoreticheskie aspekty effektivnosti modifikacii plasticheskih smazok grafitovymi napolnitelyami i ih raboty v mekhanizmah / Ostrikov V.V., Vigdorovich M.V., Sazonov S.N., Zabrodskaya A.V.// Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 3 (45). – S. 97 – 103.

4. Balabanov V.I., Lekhter V.V. Tribotekhnicheskie issledovaniya metalloplakiruyushchih plastichnyh smazok // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 4 (40). – S. 108-114.

5. Safonov V.V., Azarov A.S. Tribologicheskie svojstva modifikacij plastichnyh smazok // Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika. – 2019. – № 4. – S. 39-41.

6. Pershin V.F., Al'-Saadi D.A.YU., Salimov B.N. Perspektivy uluchsheniya ekspluatacionnyh harakteristik grafitnyh smazok za schet mekhanoaktivacii v planetarnyh mel'nicah // European Research. – 2015. – № 10 (11). – S. 28-30.

7. Multilayer graphene as a lubricating additive in dentone crease / Fan X., Xia Y., Wang L, Li W. // Tribol Lett. – 2014. – Vol 55. – Rp.455–464.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Нагдаев Владимир Николаевич – кандидат химических 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: viitinlab8@bk.ru.

Вязинкин Виктор Сергеевич – 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.

Забродская Алла Владимировна – 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.

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, врио директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Сафонов Валентин Владимирович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский

государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов, e-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Першин Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: pershinhome@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Nagdaev Vladimir – Candidate of Chemical 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:viitinlab8@bk.ru.

Vyazinkin Viktor – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Zabrodskaya Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Ostrikov Valery Vasilievich – Full Doctor of Technical Sciences, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Safonov Valentin – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State Vavilov Agrarian University", Russia, Saratov, e-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Pershin Vladimir – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: pershinhome@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 621.892
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-77-83

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИСПЕРГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА

[1,2]Остриков Валерий Васильевич
[1]Вигдорович Михаил Владимирович
[1]Нагдаев Владимир Константинович
[3]Оробинский Владимир Иванович
[3]Афоничев Дмитрий Николаевич
[1]Забродская Алла Владимировна

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. *Установлено, что по мере изменения количества диспергирующей присадки в масле снижаются эксплуатационные характеристики двигателя и срок службы масла до замены. Но простые и эффективные методы определения диспергирующих свойств в условиях эксплуатации отсутствуют. Закономерности изменения концентрации присадок в моторном масле основаны на законах химической кинетики. В результате теоретического анализа, базирующегося на известных данных, получена зависимость изменения диспергирующих свойств масла от содержания загрязняющих примесей и дифференциальное уравнение, описывающее процесс. Математический анализ привел к выражению, описывающему изменения количества присадки в масле с учетом непрерывного угара и долива, зависящего от времени. Относительно*

критического значения концентрации присадки получено выражение, позволяющее численно или приближенным методом определить время работы механизма до срабатывания присадки. В случае равенства в модели скоростей угара и долива полученные выражения упрощаются, естественным образом переходя в известные уравнения. Содержание присадки при длительной работе двигателя стремится к нулю, поскольку долив и угар носят ограниченный характер и могут приводить только к локальным экстремумам. Полностью восстанавливается содержание присадки только при полной замене масла, содержащего присадку в системе. При теоретическом анализе более реалистичной модели, в которой скорость угара постоянна, а долив осуществляется дискретно, интегрируя уравнения с учетом функции Хевисайда, *получено выражение, описывающее изменение концентрации диспергирующей присадки. Локальные экстремумы, вследствие долива свежего масла с присадкой в отдельные моменты времени носят более резкий характер. В результате математических преобразований получено решение в общем виде для имевших место доливов масла с присадкой к определенному моменту времени. На основании проведенных теоретических исследований рассмотренных моделей разрабатывается программа, позволяющая в целом проводить замену масла по фактическому состоянию, что в конечном результате увеличивает срок службы двигателя, снижает его износ и уменьшает затраты на техническое обслуживание и ремонт.*

Ключевые слова*: моторное масло, диспергирующие присадки, угар, долив, зависимость, модель, уравнение, время.*

THEORETICAL EVALUATION OF THE DISPERSING PROPERTIES OF ENGINE OIL

[1,2]Ostrikov Valery
[1]Vigdorovich Mikhail
[1]Nagdaev Vladimir
[3]Orobinsky Vladimir
[3]Afonichev Dmitry
[1]Zabrodskaya Alla
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"
[3]FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great"

Abstract. *It has been found that engine performance and oil life before oil change decreases as the amount of dispersant in the oil changes. However, there are no simple and effective methods for determining the dispersant properties under operating conditions. The dependence of the change in the dispersant properties of the oil on the content of contaminants and the differential equation describing the process were obtained as a result of theoretical analysis based on known data. Mathematical analysis led to an expression describing the change in the amount of additive in the oil, taking into account continuous waste and topping up, depending on time. An expression that makes it possible to determine, numerically or by an approximate method, the operating time of the mechanism before the additive is triggered, is obtained with respect to the critical value of the additive concentration In the case of equality in the model of the burn-out and topping-up rates, the obtained expressions are simplified, naturally passing into the well-known equations. The content of the additive tends to zero during prolonged engine operation, since topping up and waste are limited and can only lead to local extremes. The additive content is completely restored only with a complete replacement of the oil containing the additive in the system. The solution in general form for the additions of oil with an additive that took place at a certain point in time was obtained as a result of mathematical transformations. A program that allows, in general, to carry out an oil change according to the actual state, which ultimately increases the service life of the engine, reduces its wear and reduces the cost of maintenance and repair, is developed on the basis of theoretical studies of the considered models.*

Keywords: *engine oil, dispersing additives, waste, topping up, dependence, model, equation, time.*

Введение. Моторное масло представляет собой достаточно сложную субстанцию, изменяющуюся во времени работы в двигателе внутреннего сгорания. В состав моторного масла

входит большое количество присадок, снижающих процесс окисления, образования отложений и осадков на деталях двигателя [1 – 3]. Одной из важнейших функций присадок является обеспечение свойств, удержания накапливающихся загрязнений в масле во взвешенном состоянии [1]. К таким присадкам относятся сульфонатные, алкилфенольные, алкилсалицилаты, беззольные диспергирующие присадки [1, 2]. Беззольные диспергирующие присадки способствуют удержанию твердых продуктов окисления во взвешенном состоянии, предотвращают их осаждение в картере и уменьшают нагарообразование на деталях цилиндро-поршневой группы.

Обсуждение результатов. По мере наработки масла, угара, накопления загрязнений количество диспергирующих присадок в масле снижается, и их остаточное содержание в условиях эксплуатации определить достаточно сложно. Наиболее простым способом определения диспергирующих свойств работающего моторного масла в условиях эксплуатации является метод, при котором масляное пятно на фильтровальной бумаге сопоставляют с эталонными образцами [4,5, 6]. Способ имеет значительную ошибку определения и требует дополнительных теоретических исследований и практического совершенствования. Свойства масла, при их анализе по масляному пятну, оцениваются в баллах, в зависимости от содержания диспергирующей присадки (рисунок 1).

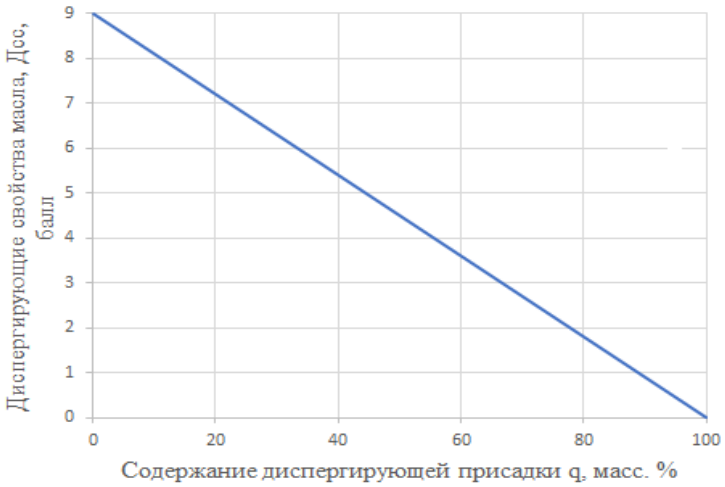


Рисунок 1 – Зависимость изменения свойств масла от содержания диспергирующей присадки

Рассматривая связь диспергирующих свойств масла с количеством присадки, выражение для оценки ДСС масла можно представить формулой:

$$Д_{сс} = к \cdot \frac{q}{q_0} + Д_{сс}(0) \quad (1)$$

где $Д_{сс}(0)$ и $Д_{сс}$ – начальное и текущее значения диспергирующих свойств масла, q_0, q – начальное и текущее количества диспергирующей присадки в масле; $к$ – коэффициент, характеризующий качественное состояние присадки.

По мере накопления загрязнений в масле диспергирующие свойства уменьшаются (рисунок 2).

Закономерности изменения концентрации присадок в моторном масле в процессе эксплуатации основаны на законах химической кинетики [3]. На основе закона действующих масс, зависимость изменения концентрации присадки от времени наработки имеет вид:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (2)$$

где C — концентрация присадки, г/л, k – константа скорости срабатывания присадки.

Интегрируя выражение (2), получаем простейшую (без учета угара и долива масла) зависимость изменения концентрации присадки от времени:

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (3)$$

где C_0 – начальная концентрация присадки. Зависимость (3) приведена на рисунке 3.

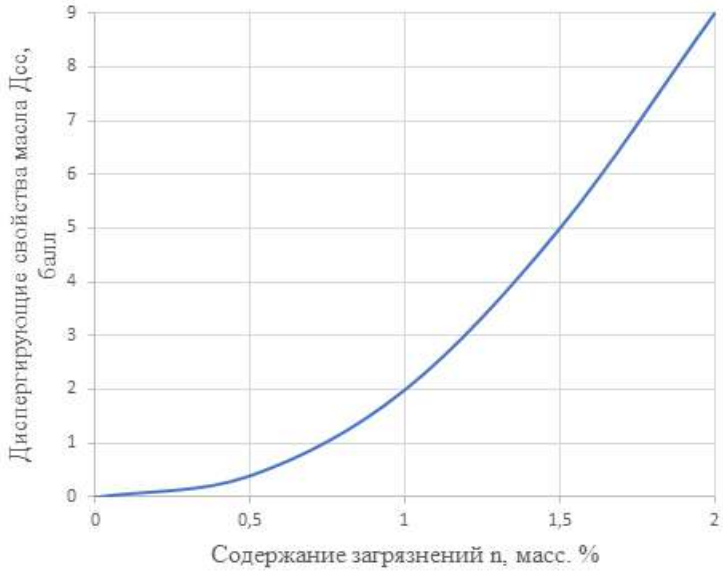


Рисунок 2 – Зависимость изменения диспергирующих свойств масла от содержания загрязняющих примесей.

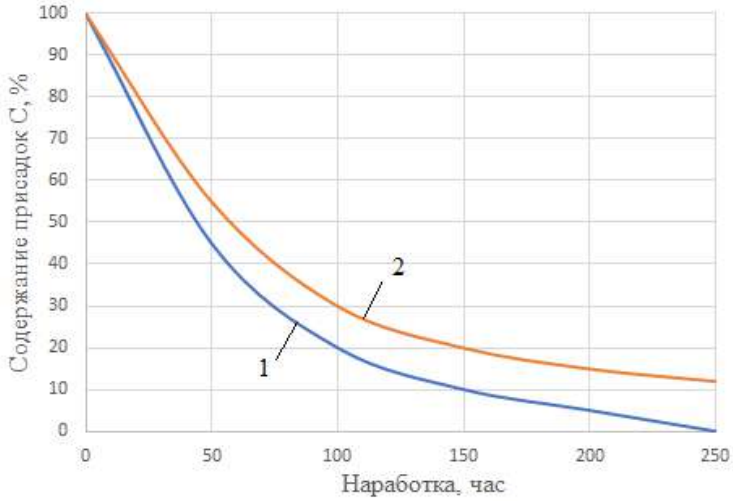


Рисунок 3 – Зависимость содержания сульфонатных (1) и фенольных (2) присадок в масле от наработки.

Время срабатывания присадки до заданного значения концентрации:

$$t_1 = \frac{1}{k}\ln\frac{C_0}{C_1} \quad (4)$$

За время *dt* количество присадки уменьшается на *dC* в единице объема масла или *GdC* во всем объеме, где *G* –объём масла в масляной системе двигателя

Изменение количества присадки в масле с учетом непрерывного угара и долива преобразуется в следующий вид:

$$G(t)\frac{dC}{dt} = -kCG(t) + Cv_d(t) - Cv_y(t) \quad (5)$$

где $Cv_d(t)$ и $Cv_y(t)$ представляют собой распределенные «источники» и «стоки» в объёме механизма, зависящие от времени.

Фактически, v_d – скорость долива масла, v_y - скорость угара.

Введем замену переменной $\xi = t - t_0$, тогда $t = \xi + t_0$, $dt = d\xi$.

Интегрируя (5), получим зависимость изменения концентрации присадки во времени:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp\left[\int_0^t \frac{v_d(\xi) - v_y(\xi)}{G(\xi)} d\xi\right] \quad (6)$$

$$\frac{dG}{dt} = v_d(t) - v_y(t) \quad (7)$$

$$G(t) = \int_0^t v_d(\xi) d\xi - \int_0^t v_y(\xi) d\xi + G_0 \quad (8)$$

где G_0 – начальный объём масла, содержащего присадку, в системе. Подставляя уравнение (8) в уравнение (6), получаем окончательное уравнение для оценки концентрации присадки в масле в зависимости от времени:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp\left[\int_0^t \frac{v_d(\xi) - v_y(\xi)}{\int_0^\xi v_d(\zeta) d\zeta - \int_0^\xi v_y(\zeta) d\zeta + G_0} d\xi\right] \quad (9)$$

Рассмотрим приблизительную модель непрерывного угара и непрерывного долива, когда v_y и v_d – не зависящие от времени константы. При этом уравнение (9) примет вид:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp\left[\int_0^t \frac{v_d - v_y}{(v_d - v_y)\xi + G_0} d\xi\right] = C_0 \left(1 + \frac{v_d - v_y}{G_0} t\right) \exp^{(-kt)} \quad (10)$$

Относительно критического значения концентрации присадки уравнение (10) позволяет численно или приближённым методом определить время работы механизма до срабатывания присадки. В случае равенства в модели скоростей угара и долива уравнение (10) упрощается, естественным образом переходя в уравнение (3). Содержание присадки при длительной работе двигателя ($t \to \infty$) стремится к нулю, поскольку долив и угар масла носят ограниченный характер, и могут приводить только к локальным экстремумам, и полностью восстанавливается только при полной замене масла, содержащего присадку в системе. При этом в модели (5), (7) отсчёт времени начинается заново с $t = 0$, и начальный объём масла в системе снова равен G_0.

Рассмотрим более реалистичную модель, в которой скорость угара – по-прежнему константа, а долив осуществляется дискретно в моменты времени t_m, m=1, 2, …, n, в объёмах $V_{d,m}$ соответственно (согласно регламенту технического обслуживания или по необходимости):

$$v_d(\xi) = \sum_{m=1}^n V_{d,m} \delta(\xi - t_m), \quad (11)$$

где $\delta(x)$ – дельта-функция.

Уравнение (9) при этом принимает вид:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp\left[\int_0^t \frac{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \delta(\xi - t_m) - v_y}{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \int_0^\xi \delta(\zeta - t_m) d\zeta - \int_0^\xi v_y d\zeta + G_0} d\xi\right]$$

Примем к сведению, что

$$\int_0^\xi \delta(\zeta - t_m) d\zeta = \theta(\xi - t_m)$$

где $\theta(x)$ – функция Хевисайда.

Тогда

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp\left[\int_0^t \frac{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \delta(\xi - t_m) - v_y}{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \theta(\xi - t_m) - v_y \xi + G_0} d\xi\right] \quad (12)$$

Так же, как и в модели непрерывных угара и долива, содержание присадки при длительной работе двигателя ($t \to \infty$) стремится к нулю. Локальные экстремумы вследствие долива масла с присадкой в отдельные моменты времени носят, по сравнению с ней, более резкий характер.

Рассмотрим «механику» решения уравнения (12) на примере. Пусть в момент времени t_1 залили $V_{d,1}$ масла с присадкой, а в момент времени t_2 залили $V_{d,2}$. Тогда в момент времени $\tau > t_2$ уравнение (12) принимает вид:

$$C(\tau) = C_0 \exp(-k\tau) \exp\left[\int_0^{t_1+\varepsilon} \frac{V_{d,1}\delta(\xi - t_1)}{V_{d,1} - v_y \xi + G_0} d\xi + \int_{t_1+\varepsilon}^\tau \frac{V_{d,2}\delta(\xi - t_2)}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y \xi + G_0} d\xi - \int_0^\tau \frac{v_y}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y \xi + G_0} d\xi\right] =$$
$$C_0 \exp(-k\tau) \exp\left[\frac{V_{d,1}}{V_{d,1} - v_y t_1 + G_0} + \frac{V_{d,2}}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y t_2 + G_0} + \ln \frac{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y \tau + G_0}{V_{d,1} + V_{d,2} + G_0}\right] = C_0 \exp(-k\tau) \left(1 -$$
$$\frac{v_y \tau}{V_{d,1} + V_{d,2} + G_0}\right) \times \exp\left[\frac{V_{d,1}}{V_{d,1} - v_y t_1 + G_0} + \frac{V_{d,2}}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y t_2 + G_0}\right] \quad (13)$$

Далее не сложно записать решение в общем виде для имевших место m доливов масла с присадкой к моменту времени τ:

$$C(\tau) = C_0 \exp(-k\tau)\left(1 - \frac{v_y \tau}{G_0 + \sum_{j=1}^{m} V_{d,j}}\right) \exp\left[\sum_{j=1}^{m} \frac{V_{d,j}}{G_0 - v_y \tau + \sum_{i=1}^{j} V_{d,i}}\right] \quad (14)$$

Заключение. Полученные выражения с достаточно высокой степенью достоверности позволяют определить остаточное содержание и время срабатывания диспергирующих присадок и провести замену масла по его фактическому состоянию, что в конечном результате снижает износ и увеличивает срок службы двигателя внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. – Москва: Техинформ, 1999. – 596 с.

2. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. М.: Химия, 1979.- 240 с.

3. Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа. – М.: Академия, 2003. – 256 с.

4. Определение диспергирующе-стабилизирующих свойств моторных масел и их загрязненности в условиях эксплуатации / В. В. Остриков, С. Н. Сазонов, В. И. Оробинский, Д. Н. Афоничев // Химия и технология топлив масел. – 2019. – № 5 (615). – С.48-52.

5. Skinder N.I., Guryanov Yu.A. Systematic Quality Control of Working Motor Oils. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2003. – Vol 39., No 5. – Pp. 265-268.

6. Guryanov Yu. A., Skinder N. I. Fast determination of high wear of friction units based oi particle size and concentration //Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2006. – Vol 42. No 1. – Pp. 60 – 66.

References

1. SHkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie. – Moskva: Tekhinform, 1999. 596 s.

2. Vencel' S.V. Primenenie smazochnyh masel v avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelyah. M.: Himiya, 1979.- 240 s.

3. Bajramov V.M. Osnovy himicheskoj kinetiki i kataliza. – M.: Akademiya, 2003. – 256 s.

4. Opredelenie dispergiruyushche-stabiliziruyushchih svojstv motornyh masel i ih zagryaznennosti v usloviyah ekspluatacii / V. V. Ostrikov, S. N. Sazonov, V. I. Orobinskij, D. N. Afonichev // Himiya i tekhnologiya topliv masel. – 2019. – № 5(615). – S.48-52.

5. Skinder N.I., Guryanov Yu.A. Systematic Quality Control of Working Motor Oils. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2003. – Vol 39., No 5. – Pp. 265-268.

6. Guryanov Yu. A., Skinder N. I. Fast determination of high wear of friction units based oi particle size and concentration //Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2006. – Vol 42. No 1. – Pp. 60 – 66.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, врио директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Вигдорович Михаил Владимирович – доктор физико-математических 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: dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de

Нагдаев Владимир Николаевич – кандидат химических 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: viitinlab8@bk.ru.

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.

Афоничев Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский

государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru

Забродская Алла Владимировна – 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.

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery Vasilievich – Full Doctor of Technical Sciences, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Vigdorowitsch Michael – Full Doctor of Physical and Mathematical Sciences, 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: dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de.

Nagdaev Vladimir – Candidate of Chemical 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:viitinlab8@bk.ru.

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.

Afonichev Dmitry – Full Doctor of Technical 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: dmafonichev@yandex.ru.

Zabrodskaya Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 620.197.7:631.17
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-83-94

О ЗАЩИТЕ ОТ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АПК

[1]Зеленцова Вероника Александровна
[2]Белоглазов Сергей Михайлович
[3]Князева Лариса Геннадьевна
[3]Корнев Алексей Юрьевич

[1]ГАУ КО ДПО «Институт развития образования»
[2]ФГАОУ ВО Балтийский Федеральный университет им. И. Канта
[3]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Для защиты от коррозии резервуаров хранения нефтепродуктов в АПК необходимо подбирать материалы, которые, помимо высокой защитной эффективности обладают высокой бактерицидной способностью. В данной работе с этой целью изучали действие 12 хиральных анионных комплексов кобальта (III), 6 из которых имели атом брома в своей структуре, в качестве ингибиторов коррозии углеродистой стали Ст3 с одновременной оценкой их бактерицидного действия на сульфатредуцирующей бактерии (СРБ). В качестве модельной коррозионной среды использовали водно-солевой раствор Postgate B, поддерживающий развитие анаэробных СРБ. Для культивирования СРБ отбирали ил в весенний период из природного источника. Максимум численности СРБ наблюдали на 3 – 4 сутки эксперимента. Бактерицидную способность оценивали по данным бактериального титра, водородного показателя среды,*

концентрации биогенного сероводорода. Защитную эффективность образцов стали Ст3 от коррозии определяли весовым методом. Путем анодного растворения определяли объем наводороживания стальных образцов. Установили, что все исследуемые соединения - бактерициды, угнетающие деятельность СРБ. Соединения первой серии способствуют смещению pH в сторону более щелочных значений, соединения, имеющие в структуре атом брома – закисляют среду. Сделан вывод о том, что бактерицидный эффект, в первую очередь, определяется снижением численности живых микроорганизмов. Подавление их способности продуцировать сероводород под действием исследуемых соединений имеет место, но в меньшей степени. Определили, что наиболее активно подавляют бактериальную коррозию и наводороживание во всем исследуемом диапазоне концентраций 1 – 10 мМоль/л следующие соединения: Δ,*L-бис-(N-салицилиденаспарогина-токобальтат) натрия,* Δ,*L-бис-(N-салицилиденглутамино-кобальтат) натрия,* Δ,*L-бис-(N-5Br салицилиден валинатокобальтат) натрия,* Δ,*L-бис-(N-5Br салицилиденлейцинатокобальтат) натрия. Для этих же соединений получен максимальный защитный эффект (90 – 93 %). Минимальный защитный эффект (46 %) наблюдали для* Δ, *L-бис-(N-салицилиденвалинато-кобальтат) натрия при концентрации 1 мМоль/л.*

Ключевые слова*: резервуары для хранения нефтепродуктов, сульфатредуцирующие бактерии, ингибиторы коррозии, бактерициды.*

ABOUT PROTECTION AGAINST BACTERIAL CORROSION OF TANKS FOR TEMPORARY STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

[1]Zelentsova Veronika
[2]Beloglazov Sergey
[3]Knyazeva Larisa
[3]Kornev Alexey

[1]KRSEAI APE "Institute of educational development"
[2]FSAEI HE "Immanuel Kant Baltic Federal University"
[3]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract*. Materials that, in addition to high protective effectiveness, have a high bactericidal ability, must be selected to protect against corrosion of storage tanks for oil products in the agro-industrial complex. The action of 12 chiral anionic complexes of cobalt (III), 6 of which had a bromine atom in their structure, was studied for this purpose in this work as corrosion inhibitors of carbon steel St3 with a simultaneous assessment of their bactericidal action on sulfate-reducing bacteria (SRB). A water-salt solution Postgate B, which supports the development of anaerobic CRP, was used as a model corrosive medium. Sludge was collected in spring from a natural source for the cultivation of CRP. The maximum number of CRP was observed on the 3 – 4th day of the experiment. The bactericidal ability was assessed according to the bacterial titer, pH of the medium, and the concentration of biogenic hydrogen sulfide. The protective efficiency of St3 steel samples against corrosion was determined by the gravimetric method. The volume of hydrogenation of steel samples was determined by anodic dissolution It was found that all the compounds under study are bactericides that inhibit the activity of CRP. Compounds of the first series promote a shift in pH towards more alkaline values; compounds with a bromine atom in their structure acidify the medium. It is concluded that the bactericidal effect is primarily determined by a decrease in the number of living microorganisms. Suppression of their ability to produce hydrogen sulfide under the influence of the compounds under study takes place, but to a lesser extent. It was determined that the following compounds most actively suppress bacterial corrosion and hydrogenation in the entire studied concentration range of 1 – 10 mMol / L: sodium,* Δ, *L-bis- (N-5Br salicylidene valinate cobaltate) sodium,* Δ, *L-bis- (N-5Br salicylidene leucinate cobaltate) sodium. The maximum protective effect (90 – 93 %) was obtained for the same compounds. The minimum protective effect (46 %) was observed for* Δ, *L-bis- (N-salicylidenevalinato-cobaltate) sodium at a concentration of 1 mMol / l.*

Keywords: *storage tanks for oil products, sulfate-reducing bacteria, corrosion inhibitors, bactericides.*

Введение. Деятельность сельскохозяйственного предприятия невозможна без горюче-смазочных материалов. Для обеспечения бесперебойной работы техники, особенно в местах, удаленных от стационарных заправочных станций обычно используют специальные резервуары для их хранения. В России в АПК до сих пор широко эксплуатируют резервуары для нефтепродуктов из низколегированных сталей – Ст3, 09Г2С12, недостаточно стойкие к коррозии вообще и бактериологической, в частности. Для поддержания их в работоспособном состоянии необходимы противокоррозионные мероприятия, которые непосредственно влияют на обеспечение надежности их эксплуатации, качество хранимых нефтепродуктов, снижают степень риска аварийности при сливо-наливных операциях и повышают уровень экологической безопасности сельхозпредприятий**.**

Коррозионные процессы внутри резервуаров инициируются, прежде всего, даже незначительным количеством воды, которая всегда присутствует в топливе в реальных условиях хранения. Вода может появиться, например, благодаря конденсации влаги из-за суточных колебаний атмосферных температур или из-за возникновения капиллярной конденсации на ржавой металлической поверхности резервуара, которая поглощает из воздуха большое количество водяных паров при давлениях ниже давления насыщенного пара в случае заполнения находящихся длительное время незаполненными резервуаров [1]. Углеводороды нефтепродуктов, как правило не стимулируют коррозионное разрушение резервуаров для их хранения. В коррозионных процессах внутри резервуаров обычно участвуют продукты их окисления, серосодержащие соединения, примеси, водяные пары, загрязненные парами нефтепродуктов [1 – 4]. Следует отметить, что процессы окисления нефтепродуктов катализируются ионами железа, которые имеются в ржавчине.

При эксплуатации резервуаров для хранения нефтепродуктов на внутренней поверхности заполненного резервуара наблюдается не только общая (равномерная) коррозия, но и язвенная, вплоть до появления сквозных коррозионных дефектов, которые могут привести к утечке нефтепродуктов. По последним исследованиям [5, 6] появление таких дефектов связывают с деятельностью бактериального характера, потому что жизнедеятельность многих микроорганизмов сопровождается выделением коррозионно активных веществ: сероводорода, аммиака, органических и неорганических кислот и др. Микробиологическая коррозия самодостаточна, как и возможное сопровождение ею других видов коррозии (электрохимической, атмосферной, химической). Максимальное размножение микроорганизмов происходит при температуре 6 – 34 °С и кислотности среды в диапазоне от 1,0 до 10,0 pH в первые 15 – 30 суток хранения нефтепродукта [5].

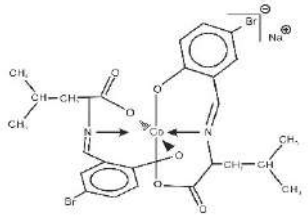
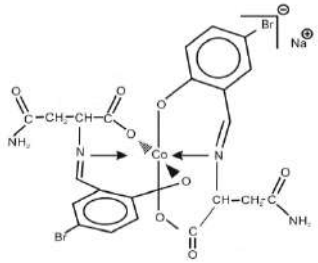
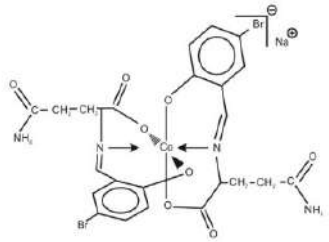
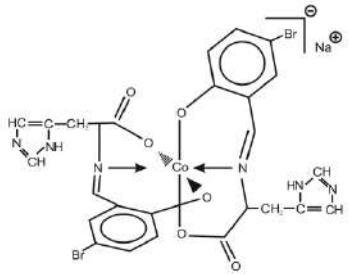
Согласно результатам исследования, приведенным в работе [6], после 3 – 5 лет эксплуатации резервуаров для хранения нефтепродуктов казематного типа наблюдаются многочисленные коррозионные поражения их днищ. Отмечено при толщине листа 4 – 5 мм появление до 30 – 50 сквозных отверстий и 300 – 500 питтингов и язв.

При хранении нефтепродуктов в резервуарах наибольшую опасность, с точки зрения коррозионных процессов, представляют анаэрбные микроорганизмы, условно объединяемые в группу сульфатредуцирующих бакгерий (СРБ). Из-за их жизнедеятельности в резервуарах будет накапливаться сероводород и, возможно, ряд других продуктов, стимулирующих коррозионные процессы [7, 8]. При защите от коррозии резервуаров для хранения нефтепродуктов в АПК следует подбирать такие материалы, которые, помимо защитной эффективности будут обладать бактерицидной способностью. В данной работе с этой целью исследованы в присутствии СРБ некоторые о,о'-дигидроксиазосоединения , конкретнее, координационно-насыщенные комплексы Co(III) с двумя лигандами, один из которых - основание Шиффа салицилового альдегида (или 5-Br-салицилового альдегида). Выбор соединений не случаен, так как из литературных данных известно, что продукты конденсации салицилового альдегида [9] являются активными деактиваторами металла.

Объекты и методика исследования. В БФУ им. Канта, г. Калининград под руководством к.х.н. Булычева А.Г. были синтезированы 12 соединений (хиральные анионные координационно-насыщенные комплексы Co(III) с двумя перпендикулярно расположенными тридентатными лигандами− основаниями Шиффа салицилового альдегида (5-Br-салицилового альдегида) и (S)-аминокислот: глицина, лейцина, глутамина, гистидина, валина, аспарагина (таблица 1) для исследования. Молекулярные структуры полученных соединений подтвердили методами ИК- и ЯМР- спектроскопии.

Таблица 1 – Исследуемые органические соединения

№ п/п	М, г/моль	Структурная формула	Название
1	432		Δ, L-бис-(N-салицилиденглицинато-кобальтат) натрия
2	492		Δ, L-бис-(N-салицилиденвалинато-кобальтат) натрия
3	548		Δ, L-бис-(N-салицилиденлейцинато-кобальтат) натрия
4	546		Δ,L-бис-(N-салицилиденаспарогина-токобальтат) натрия
5	580		Δ,L -бис-(N-салицилиденглутамино-кобальтат) натрия
6	596		Δ,L-бис-(N-салицилиденгистидинато--кобальтат) натрия
7	590		Δ, L-бис-(N-5Br – салицилиденглици-натокобальтат)натрия
8	650		Δ, L-бис-(N-5Brсалицилиденвали-натокобальтат) натрия

9	706		Δ, L-бис-(N-5Brсалицилиденлей-цинатокобальтат) натрия
10	704		Δ, L-бис-(N-5Brсалицилиденаспа-рогинатокобальтат) натрия
11	738		Δ, L -бис-(N-5Brсалицилиденглу-таминокобальтат) натрия –
12	754		Δ,L-бис-(N-5Brсалицилиденгисти-динатонатокобальтат) натрия

Исследования проводили на образцах из стали Ст3 (Состав: Fe – 98,36; C – 0,2; Mn – 0,5; Si – 0,15; P – 0,04: S – 0,05; Cr – 0,3; Ni – 0,2; Cu – 0,2) с площадью поверхности 20 см^2 в модельной среде, в качестве которой использовали водно-солевой раствор Postgate B, поддерживающий развитие анаэробных СРБ рода Desulfovibrio desulfuricans. Для культивирования СРБ отбирали весной ил из ручья «Парковый» в центре г. Калининграда. Накопительную культуру получали проводя многократный пересев в среде Postgate B. Ее род (Desulfovibrio) был определен соотнесением морфологических признаков. Эксперименты проводили, создавая анаэробные условия. Накопительную культуру СРБ (2 мл) добавляли в стерильную среду в простерилизованных пробирках с хорошо притертыми обезжиренными и простерилизованными пробками, в которых размещали образцы стали для предварительных исследований. Плотно закрытые пробирки помещали на двое суток (столько длится инкубационный период развития СРБ) в термостат при температуре 38 ^{0}С. По наблюдаемому почернению водно-солевой среды и стенок пробирок, судили о развитии и активности СРБ.

Затем исследовали свойства синтезированных соединений, добавляя их в микробиологическую среду в пробирках, при этом образцы металла для предварительных исследований заменяли на экспериментальные. Концентрация синтезированных соединений составляла 1, 2, 5 и 10 ммоль/л. Эксперименты проводили циклами по 8 суток, что соответствует полному циклу жизнедеятельности популяции СРБ рода Desulfovibrio в ограниченном замкнутом объеме среды. При этом контролировали: бактериальный титр и pH среды, концентрацию

биогенного сероводорода. По окончании экспозиции определяли послойное водородосодержание образцов и защитную эффективность исследуемых соединений.

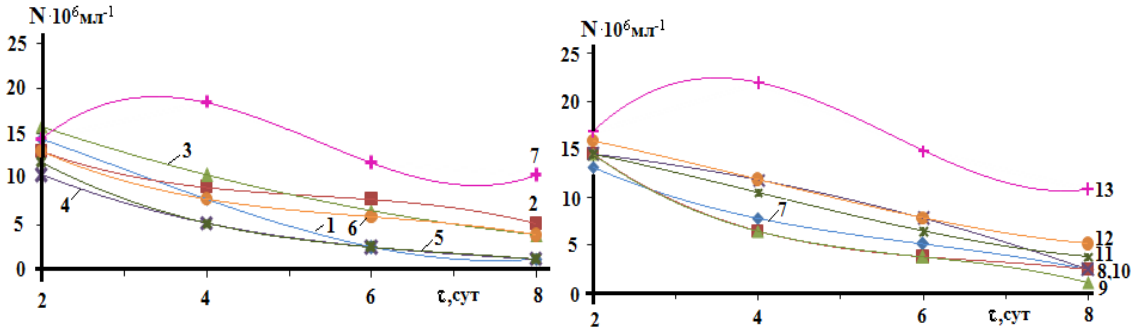
Бактерицидный эффект соединений оценивали по изменению численности бактерий, используя метод прямого подсчета в счетной камере Горяева), изменению количества выделяемого ими сероводорода (методом обратного йодометрического осадительного титрования), а также по изменению водородного показателя (pH) среды, фиксируемому лабораторным pH-метром МЕТТЛЕР ТОЛЕДО Seven Excellence. Измерения проводили три раза в сутки, ежедневно.

Бактериальный титр контролировали ежесуточно в герметично закрытых пробирках с образцами, помещенных в термостат (310 К) на 200 ч. По окончании экспозиции (200 ч.) определяли скорость коррозии стали гравиметрическим методом, а затем рассчитывали защитный эффект (Z) исследуемых веществ по формуле:

$$Z = (K_0 - K) / K_0 \cdot 100\ \%,$$

где K_0 и K – скорости коррозии стали в отсутствии и в присутствии изучаемых ингибиторов коррозии.

Результаты и их обсуждение. Было изучено действие синтезированных соединений на подавление жизнедеятельности СРБ. В контрольной серии образцов наблюдается максимум численности СРБ на 3 – 4 сутки эксперимента (рисунок 1).



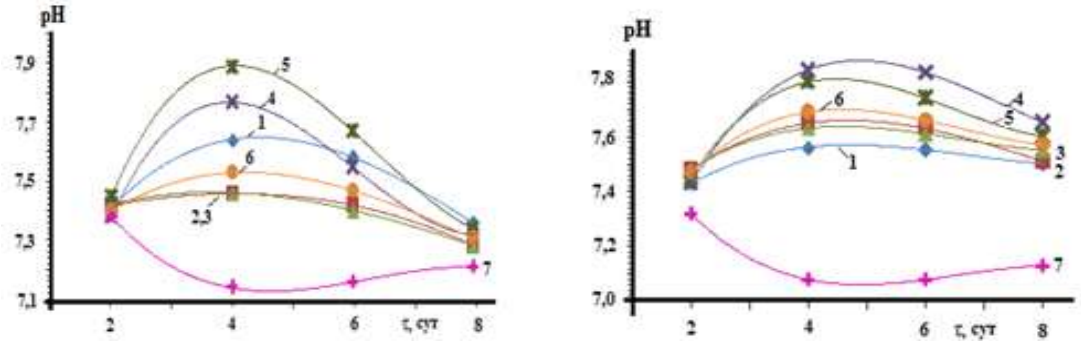
1 – контроль; 2 – Соединение 1; 3 – Соединение 2; 4 – Соединение 3; 5 – Соединение 4; 6 – Соединение 5; 7 – Соединение 6; 8 – Соединение 7; 9 – Соединение 8; 10 – Соединение 9; 11 – Соединение 10; 12 – Соединение 11; 13 – Соединение 12

Рисунок 1 – Влияние природы синтезированных соединений на развитие СРБ, $C_{ИК}$=1 ммоль/л

Исследования бактериального титра показало, что в среднем, на вторые сутки экспозиции количество клеток СРБ в среде составляет $15{,}49 \cdot 10^6$ мл$^{-1}$, а на четвертые уже N = $22 \cdot 10^6$ мл$^{-1}$. К восьмым суткам исследования численность СРБ снижается в среднем до $4{,}25 \cdot 10^6$ мл$^{-1}$ в присутствии синтезированных соединений и до $11{,}04 \cdot 10^6$ мл$^{-1}$ - в их отсутствии.

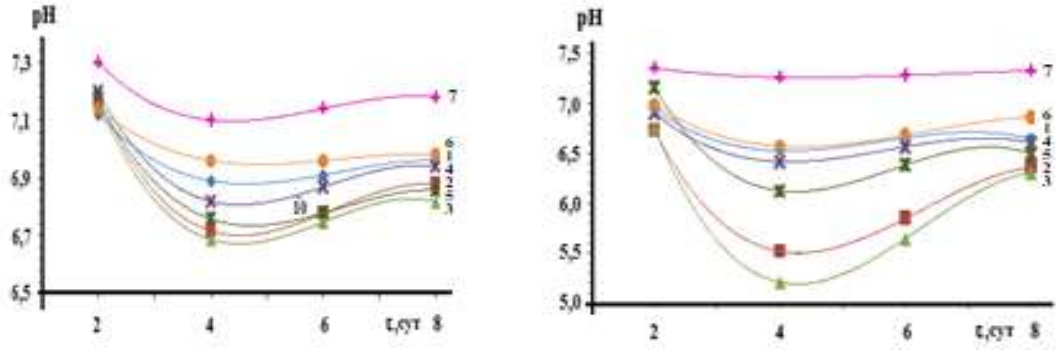
Все синтезированные соединения являются бактерицидами. Было отмечено, что исследуемые хиральные комплексы Co(III) подавляют численность СРБ за все время экспозиции в 3 раза эффективнее, чем это происходит за счет естественного ее спада в контрольной серии почти в три раза. В качестве примера на рисунке 1 можно видеть изменение численности клеток СРБ в присутствии исследуемых соединений в концентрации 1 ммоль/л. Наиболее активно подавляют микроорганизмы соединения 5, 6 в первой серии и соединения 8 и 9 - во второй. В присутствии исследуемых соединений в концентрации 10 ммоль/л наиболее активны соединения 4,5 и 8,9,10, соответственно.

О бактерицидных свойствах можно судить и по изменению pH среды (рисунки 2,3). Его величина зависит от продукта жизнедеятельности СРБ- биогенного сероводорода и форм его существования. Исходное значение pH находится в диапазоне pH = 6,9 - 7,7. За счет жизнедеятельности СРБ, действия синтезированных соединений, накопления продуктов метаболизма СРБ происходит изменение pH среды Postgate B.



а) 1 ммоль/л; б) 10 ммоль/л

Рисунок 2. – Влияние природы и концентрации ИК (соединения 1 – 6, 7 – Контроль) на изменение во времени pH среды.



а) 1 ммоль/л; б) 10 ммоль/л

1 – Соединение 7; 2 – Соединение 8; 3 – Соединение 9; 4 – Соединение 10;
5 – Соединение 11; 6 – Соединение 12; 7 – Контроль

Рисунок 3 – Влияние природы и концентрации ИК на изменение во времени pH среды

Соединения первой серии (1 – 6) способствуют смещению pH в сторону более щелочных значений. В присутствии соединений 1 – 6 значения водородного показателя составляют pH= 7,3 – 8,0, что предполагает активное развитие СРБ. К пятым суткам pH резко изменяется в сторону нейтральных значений, что говорит о меньшем накоплении биогенного сероводорода, сокращении числа молекул СРБ. Исследуемые соединения с атомом брома (соединения 7-12) в структуре смещали значения pH в сторону закисления, что свидетельствует о накоплении биогенного сероводорода. Следует отметить также, что бром, являясь заместителем с отрицательным индуктивным эффектом, увеличивает кислотный характер комплекса и благодаря этой особенности.

На четвертые сутки экспозиции pH среды находится в диапазоне 5,2 – 7,0, который достигается в присутствии соединений 7 – 12. Эту среду уже нельзя назвать благоприятной для активного развития СРБ, хотя она и пока еще пригодна для их существования. Среду с минимальным значением pH, равным 5,2 получали при использовании соединения 9.

По мере накопления биогенного сероводорода - продукта жизнедеятельности СРБ, среда становится благоприятным источником для коррозионных процессов, существует понятие сероводородной коррозии. На рисунке 4 показано, как изменяется концентрация биогенного сероводорода среде «Postgate B» в период жизнедеятельности СРБ. Средняя концентрация сероводорода достигает 133,47 мг/л ко вторым суткам эксперимента. На третьи или четвертые сутки проведения эксперимента, на зависимостях для контрольной экспозиции появляется

небольшой максимум при концентрациях 141 – 153 мг/л., отвечающий за максимальную численность СРБ в данных условиях. Через 4 суток концентрация биогенного сероводорода снижается до 69,7 – 83,3 мг/л из-за снижения количества питательных веществ в среде, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов, к тому же высок уровень токсичных продуктов метаболизма. В результате происходит замедление роста и деления бактерий. Цикл развития СРБ в замкнутой системе заканчивается и к последнему дню проведения эксперимента концентрация биогенного сероводорода становится постоянной.

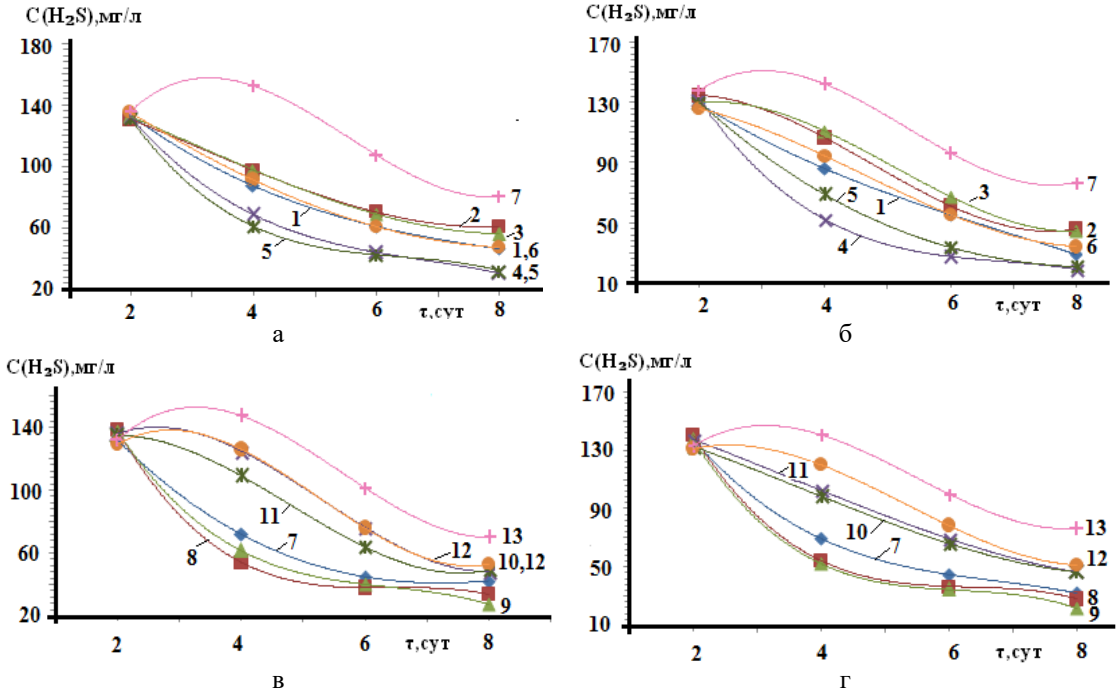


Рисунок 4 – Влияние природы синтезированных соединений (а, б – соединения 1 – 6, 7 – контроль; в, г – соединения 7 – 12, 13 – контроль) на концентрацию биогенного сероводорода
Концентрация синтезированных соединений: а, в – 1 ммоль/л; б, г – 10 ммоль/л

В случаях проведения эксперимента с синтезированными соединениями во всех случаях происходит резкое снижение концентрации биогенного сероводорода – $C(H_2S)$ к четвертому дню экспериментальной экспозиции.

Таким образом, все полученные результаты свидетельствуют о бактерицидном действии всех исследованных соединений по отношению к СРБ. Введение любого из синтезированных соединений приводит к снижению выработки сероводорода микроорганизмами. При концентрации 10 ммоль/л коэффициент подавления числа клеток СРБ составляет более 50 %, а степень подавления жизнедеятельности СРБ лежит в диапазоне 32 – 42 %. Логично предположить, что прежде всего снижение численности живых микроорганизмов определяет бактерицидный эффект. А действие исследуемых синтезированных соединений на молекулы СРБ, подавляющее продуцирование ими сероводорода стоит на втором месте. В присутствии соединения 4 содержание биогенного сероводорода уменьшилось в 3,57 раз; соединения 5 – в 3,07 раз; соединения 8 – в 2,62 раза; соединения 9 – в 3,37 раза, по сравнению с присутствующей концентрацией сероводорода коррозионной среды в отсутствии исследуемых соединений.

Можно предположить, что синтезированные соединения будут обладать ингибирующим коррозию действием, потому что в их структуре есть гетероатомы (N, O), характеризующиеся высокой электроотрицательностью, и ароматические кольца, содержащие активную π-электронную систему. Наличие последней отвечает за эффективное взаимодействие ингибитора коррозии (ИК) с металлом при физической адсорбции. Входящие в состав ИК остатки различных по строению аминокислот с различными функциональными группами, с разными алкил-, метил-,

ацетил- радикалами, в свою очередь, увеличивают электронную плотность гетероатомов и активных центров. Следует помнить, что более высокая электронная плотность на активном центре молекулы ИК, определяет более сильную и прочную адсорбционную связь между металлом и ингибитором, что обычно приводит к более высокой степени защиты металла от коррозии.

Результаты гравиметрических коррозионных исследований эффективности синтезированных хиральных анионных комплексов Co(III) в роли ингибиторов коррозии (ИК) стали Ст3 в водно-солевом растворе Postgate B (Концентрация ИК 1,2,5, 10 мМоль/л) характеризует таблица 2.

Таблица 2 – Влияние концентрации ИК на его защитную эффективность в среде Postgate B

Хиральные анионные комплексы Co(III)	Защитные свойства при концентрации ИК, мМоль/л							
	1		2		5		10	
	K, г/(м^{2}ч)	Z, %	K, г/(м^{2}ч)	Z, %	K, г/(м^{2}ч)	Z, %	K, г/(м^{2}ч)	Z,%
1	0,0800	68	0,0675	73	0,0675	73	0,0600	76
2	0,1350	46	0,0925	63	0,0875	65	0,0825	67
3	0,0750	70	0,0525	79	0,0375	85	0,0300	88
4	0,0625	75	0,0350	86	0,0300	88	0,0250	90
5	0,0625	75	0,0375	85	0,0275	89	0,0250	90
6	0,0875	65	0,0675	73	0,0375	85	0,0325	87
7	0,0350	86	0,0350	86	0,0325	87	0,0275	89
8	0,0450	82	0,0375	85	0,0275	89	0,0700	93
9	0,0425	83	0,0375	85	0,0275	89	0,0700	93
10	0,0350	86	0,0325	87	0,0300	88	0,0300	88
11	0,0425	83	0,0426	83	0,0400	84	0,0275	89
12	0,0650	74	0,0600	76	0,0475	81	0,0425	83
Скорость коррозии стали в среде Postgate B 0,25 г/м^2 час								

Следует отметить, что при увеличении концентрации исследуемых соединений ожидаемо возрастает их защитный эффект.

У комплексов с салициловым альдегидом – соединений 1 – 6 минимальный защитный эффект наблюдали при концентрации 1 ммоль/л. Для соединения 2 с молекулярной массой 492 г/моль, Z = 46 %. Для этого соединения характерен самый низкий защитный эффект из всех исследованных соединений. Максимальный защитный эффект в этой группе (90 %) обеспечило соединение 5 с молекулярной массой 580 г/моль при концентрации 10 ммоль/л. Эти соединения по защитной эффективности образуют ряд:

$$Z5 \approx Z4 > Z3 > Z6 > Z1 > Z2 \quad (1)$$

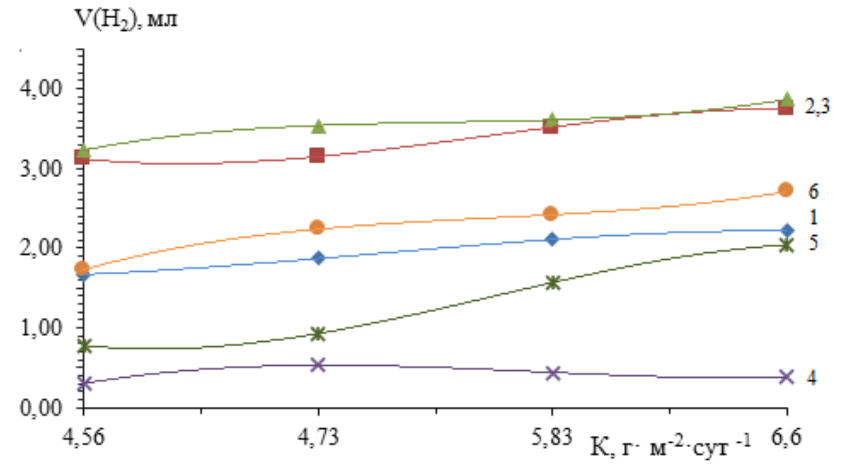
Соединения с 5-Br-салициловым альдегидом являются более эффективными ИК, чем соединения 1 – 6. Соединение 12 с молекулярной массой 754 г/моль в этой группе обладает минимальным защитным эффектом при всех исследованных концентрациях. Максимальным защитным действием (Z = 93 %) при концентрации 10 мМоль/л обладает соединение 8 с молекулярной массой 650 г/моль и соединение 9 (706 г/моль).

Соединения этой группы образуют ряд:

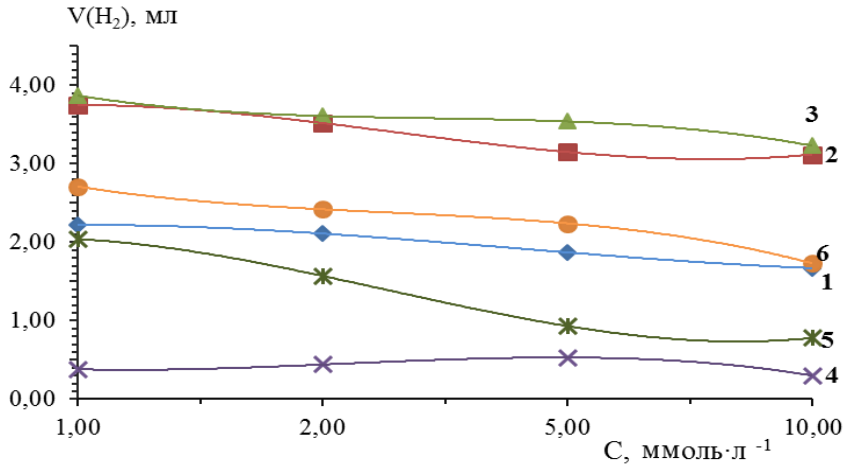
$$Z9 \approx Z8 > Z7 \approx Z11 > Z10 > Z12 \quad \text{……..(2)}$$

Экспериментально это подтверждают данные по изменению бактериального титра при введении в среду исследуемых хиральных комплексов (рисунок 1). Наиболее активны соединения 4 и 5 в первой серии и соединения 8 и 9 – во второй.

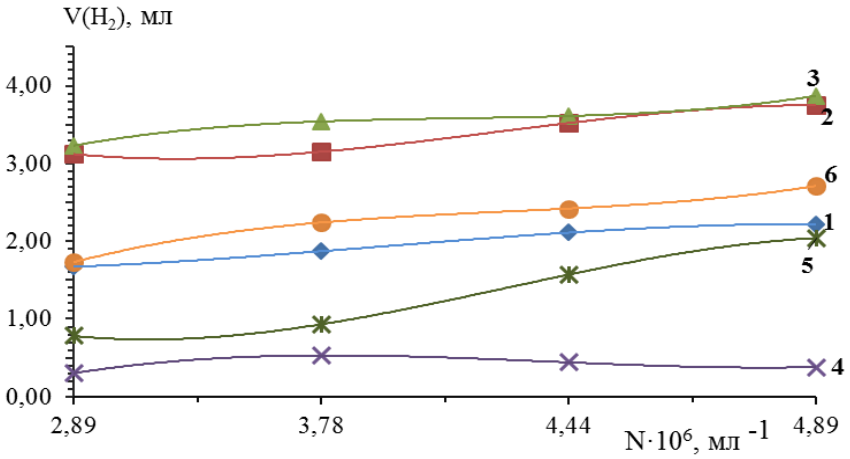
Обнаружена значительная корреляция между бактерицидными свойствами исследуемых соединений, их концентрацией, скоростью коррозии стали Ст3 в их присутствии и наводороживанием стали (рисунок 5). Наиболее эффективно защищают от наводороживания соединения 4 и 5 из первой серии исследуемых соединений и 8 и 9 – из бромсодержащих комплексов. Исследование водородных концентрационных профилей показало неравномерность распределения водорода по толщине металла и его скопление в приповерхностных слоях. Максимальное наводороживание образцов наблюдается на глубине 25-30 мкм от входной поверхности.



а)



б)



в)

Рисунок 5 – Зависимость водородосодержания от скорости коррозии (а), их концентрации ИК (б) и количества СРБ в среде PostgateB (в)

Заключение. Таким образом, все исследуемые соединения являются бактерицидами, угнетающими деятельность сульфатредуцирующих бактерий. Определили, что наиболее активно подавляют бактериальную коррозию и наводороживание стали следующие соединения**:** Δ**,** L-бис-(N-салицилиденаспарогина-токобальтат) натрия, Δ**,**L -бис-(N-салицилиденглутамино-кобальтат) натрия, Δ, L-бис-(N-5Brсалицилиденвали-натокобальтат) натрия, Δ, L-бис-(N-5Brсалицилиденлейцинатокобальтат) натрия. Для этих же соединений получен максимальный защитный эффект (90-93 %). Следовательно, эти соединения наиболее перспективны для защиты резервуаров для хранения нефтепродуктов в АПК. Минимальный защитный эффект (46 %) наблюдали для Δ, L-бис-(N-салицилиденвалинато-кобальтат) натрия при концентрации 1 мМоль/л.

Список литературы

1. Вигдорович В.И., Романцова С.В., Нагорнов С.А. Окислительные и коррозионные процессы в резервуарах хранения нефтепродуктов // Вестник тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. –Т.1, №1. – С. 3-8.

2. Защита от атмосферной коррозии масляными покрытиями / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля. – Москва: Изд-во «КАРТЭК», 2014. – 232 с.

3. Бионестойкая лакокрасочная система покрытий для внутренних поверхностей стальных резервуаров / Бакирова Е.В., Варагина Т.В., Бушуев В.В., Киселев Н.И., Смирнов В.Ф // Коррозия территории НЕФТЕГАЗ. – 2009. – № 5. – С. 46-52.

4. Бакирова Е.В., Варагина Т.В., Пичугин Ю.Е., Корольченко И.А., Смирнов В.Ф. Особенности противокоррозионной защиты внутренних поверхностей стальных резервуаров, эксплуатирующихся с авиационным керосином [Электронный ресурс] (Российская Федерация). – URL:https://rosrezerv.gov.ru/Konsultativnij_sovet/Obmen_opitom/Osobennosti_protivokorrozionnoj_zashhiti (дата обращения: 03.03.2021).

5. Сухаревич В. И, Кузикова И. Л., Медведева И. Г. Защита от биоповреждений, вызываемых грибами. − СПб: ЭЛБИ-СПБ, 2009.

6. Кац Н.Г., Стариков В.П., Парфенова С.Н. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки от коррозии: учеб. пособие. – Москва: Машиностроение, 2011 – 436 с.

7**.** Влияние сульфатредуцирующих бактерий и ингибиторов-бактерицидов серии "ИНКОРГАЗ" на кинетику парциальных электродных реакций на стали Ст3 и диффузию водорода через мембрану / Есина М.Н., Дубинская Е.В., Чугунов Д.О., Цыганкова Л.Е., Вигдорович В.И. // Практика противокоррозионной защиты. –2013. – № 1 (67). –С. 38-44.

8. Универсальные ингибиторы сероводородной и углекислой коррозии стали для нефтедобычи серии «Инкоргаз». Теоретические аспекты, практика использования, новое в подходах к оценке эффективности / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Н.В. Шель, М.Н. Есина, Л.Г. Князева, А.В. Болдырев, Ю.А. Чирков // Практика противокоррозионной защиты. – 2016. – № 1(79). – С.26–42.

9. Бактерицидная способность ряда смесевых азотсодержащих ингибиторов сероводородной коррозии / Дубинская Е.В., Есина М.Н., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Зарапина И.В., Осетров А.Ю. // Практика противокоррозионной защиты. –2013. – № 3 (69). – С. 23-28.

10. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Савкина О.А. Общая и пищевая микробиология: учеб. пособие. Часть 2.– СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 127 с.

References

1. Vigdorovich V.I., Romancova S.V., Nagornov S.A. Okislitel'nye i korrozionnye processy v rezervuarah hraneniya nefteproduktov // Vestnik tambovskogo universiteta. Seriya: estestvennye i tekhnicheskie nauki. –T.1, №1. – S. 3-8.

2. Zashchita ot atmosfernoj korrozii maslyanymi pokrytiyami / V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, N.V. SHel', L.G. Knyazeva, A.N. Zazulya. – Moskva: Izd-vo «KARTEK», 2014. – 232 s.

3. Bionestojkaya lakokrasochnaya sistema pokrytij dlya vnutrennih poverhnostej stal'nyh rezervuarov / Bakirova E.V., Varagina T.V., Bushuev V.V., Kiselev N.I., Smirnov V.F // Korroziya territorii NEFTEGAZ. – 2009. – № 5. – S. 46-52.

4. Bakirova E.V., Varagina T.V., Pichugin YU.E., Korol'chenko I.A., Smirnov V.F. Osobennosti protivokorrozionnoj zashchity vnutrennih poverhnostej stal'nyh rezervuarov, ekspluatiruyushchihsya s aviacionnym kerosinom [Elektronnyj resurs] (Rossijskaya Federaciya). – URL:

https://rosrezerv.gov.ru/Konsultativnij_sovet/Obmen_opitom/Osobennosti_protivokorrozionnoj_zashhiti (data obrashcheniya: 03.03.2021).

5. Suharevich V. I, Kuzikova I. L., Medvedeva I. G. Zashchita ot biopovrezhdenij, vyzyvaemyh gribami. − SPb: ELBI-SPB, 2009.

6. Kac N.G., Starikov V.P., Parfenova S.N. Himicheskoe soprotivlenie materialov i zashchita oborudovaniya neftegazopererabotki ot korrozii: ucheb. posobie. – Moskva: Mashinostroenie, 2011 – 436 s.

7. Vliyanie sul'fatreduciruyushchih bakterij i ingibitorov-baktericidov serii "INKORGAZ" na kinetiku parcial'nyh elektrodnyh reakcij na stali St3 i diffuziyu vodoroda cherez membranu / Esina M.N., Dubinskaya E.V., CHugunov D.O., Cygankova L.E., Vigdorovich V.I. // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. –2013. – № 1 (67). –S. 38-44.

8. Universal'nye ingibitory serovodorodnoj i uglekisloj korrozii stali dlya neftedobychi serii «Inkorgaz». Teoreticheskie aspekty, praktika ispol'zovaniya, novoe v podhodah k ocenke effektivnosti / V.I. Vigdorovich, L.E. Cygankova, N.V. SHel', M.N. Esina, L.G. Knyazeva, A.V. Boldyrev, YU.A. CHirkov // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2016. – № 1(79). – S.26–42.

9. Baktericidnaya sposobnost' ryada smesevyh azotsoderzhashchih ingibitorov serovodorodnoj korrozii / Dubinskaya E.V., Esina M.N., Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., Zarapina I.V., Osetrov A.YU. // Praktika protivokorrozionnoj zashchity. –2013. – № 3 (69). – S. 23-28.

10. Krasnikova L.V., Gun'kova P.I., Savkina O.A. Obshchaya i pishchevaya mikrobiologiya: ucheb. posobie. CHast' 2.– SPb.: Universitet ITMO, 2016. – 127 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Зеленцова Вероника Александровна – кандидат химических наук Калининградского областного государственного образовательного автономного учреждения дополнительного профессионального образования «Институт развития образования», Россия, Калининград, e-mail: bepoinka@bk.ru.

Белоглазов Сергей Михайлович – доктор химических наук, профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Балтийский Федеральный университет им. И. Канта». Россия, Калининград.

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.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Zelentsova Veronika – Candidate of Chemical Sciences of Kaliningrad regional state educational autonomous institution of additional professional education “Institute of educational development”, Russia, Kaliningrad, e-mail: bepoinka@bk.ru.

Beloglazov Sergey – Doctor of Chemistry, Professor of Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Immanuel Kant Baltic Federal University”, Russia, Kaliningrad.

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.

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 16.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 16.04.2021

УДК 004.42
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-95-104

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

[1]Томилов Александр Анатольевич
[2]Родионов Юрий Викторович
[1]Ломовских Александр Егорович
[1]Германович Александр Семенович
[1]Пурусов Юрий Михайлович
[1]Черноиванов Виктор Иванович
[1]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Рассматриваются и рекомендуются разработанные компьютерные лабораторные установки (КЛУ) с целью эффективного проведения основных видов учебных занятий при подготовке специалистов по эксплуатации автомобильной техники. Анализ изучения специальных дисциплин: «Автомобильная подготовка», «Конструкция транспортных средств специального назначения» и «Термодинамика и теплопередача» показал, что наиболее сложным учебным материалом являются темы по электрооборудованию автомобилей и термодинамическим процессам, и теплообмену. Проведен анализ существующих сред программирования. Выявлено, что наиболее перспективным является C++ Builder, в среде которого были разработаны КЛУ для исследования политропных термодинамических процессов. При разработке КЛУ для исследования характеристик аккумуляторных батарей для описания процессов, происходящих во время работы аккумулятора, используются показатели: электродвижущая сила, напряжение, внутреннее сопротивление аккумулятора, емкость аккумулятора, плотность электролита. Показан пользовательский интерфейс программы «Аккумулятор». Показатели температуры, давления, массы, объема использованы при разработке КЛУ для исследования политропных термодинамических процессов. Исследование процесса политропного сжатия возможно в графическом выражении. Предлагаемые компьютерные лабораторные установки позволят значительно снизить финансовые и трудовые затраты, расходы на обслуживание и эксплуатацию, сократить время на проведение расчетов и оформление отчетов по выполненным работам.*

Ключевые слова: *компьютерная лабораторная установка, исследование, расчет, аккумуляторная батарея, разрядная характеристика, зарядная характеристика, политропный процесс, расширение и сжатие.*

DEVELOPMENT OF COMPUTER LABORATORY FACILITIES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TRAINING SPECIALISTS IN THE OPERATION OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

[1]Tomilov Alexander
[2]Rodionov Yuri
[1]Lomovskih Alexandr
[1]Germanovich Alexander
[1]Purusov Yuri
[1]Chernoivanov Viktor
[1]MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"
[2]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *The developed computer laboratory installations (CLU) are considered and recommended for the purpose of effectively conducting the main types of training sessions in the training of specialists in the operation of automotive equipment. The analysis of the study of special disciplines: "Automotive*

training", "Construction of special purpose vehicles" and "Thermodynamics and heat transfer" showed that the most difficult educational material is the topics on electrical equipment of cars and thermodynamic processes, and heat exchange. The analysis of existing programming environments is carried out. It was revealed that the most promising is C ++ Builder, in the environment of which CLUs were developed for studying polytropic thermodynamic processes. Indicators: electromotive force, voltage, internal resistance of the battery, battery capacity, electrolyte density are used in the development of KLU to study the characteristics of storage batteries to describe the processes occurring during the operation of the battery. The user interface of the Battery program is shown. Indicators of temperature, pressure, mass, volume were used in the development of the CLU for the study of polytropic thermodynamic processes. The study of the process of polytropic compression is possible in graphic terms. The proposed computer laboratory installations will significantly reduce financial and labor costs, maintenance and operation costs, reduce the time for calculations and execution of reports on the work performed.

Keywords: *computer laboratory installation, research, calculation, battery storage, discharge characteristic, charging characteristic, polytropic process, expansion and compression.*

Введение. Поддержание в постоянной готовности к применению военной и специальной техники (ВСТ) в современной армии требует необходимой подготовки военных специалистов по изучению устройства и грамотной эксплуатации ВСТ, формирования профессионально подготовленной личности, способной действовать в различных экстремальных ситуациях и решать любые задачи [10].

Одним из эффективных методов совершенствования процесса подготовки специалистов предлагается внедрение обучающихся компьютерных программ для изучения таких дисциплин как: «Автомобильная подготовка», «Конструкция транспортных средств специального назначения», «Термодинамика и теплопередача».

Для оценки эффективности системы подготовки проанализированы учебные программы и тематические планы изучаемых дисциплин [6, 7]. Наиболее сложными для усвоения являются раздел №1 «Электрооборудование транспортных средств специального назначения» по дисциплине «Конструкция транспортных средств специального назначения» и тема №3 «Электрооборудование автомобиля» по дисциплине «Автомобильная подготовка», а по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» – понимания термодинамических процессов и процессов теплообмена, происходящих в двигателях внутреннего сгорания.

Авторами статьи для разработки компьютерной лабораторной установки выбран одним из основных элементов электрооборудования – аккумуляторная батарея (АБ). Конструкция и принцип работы АБ изучаются также в часы самостоятельной работы. По результатам анализа проведения занятий выявлена недостаточная эффективность проведения лабораторной работы «Исследование характеристик аккумуляторных батарей» и освоения учебного материала на самостоятельной работе. Так, при проведении лабораторной работы приобретаются навыки экспериментального исследования электрических характеристик АБ, для чего имеется только один стенд для снятия характеристик аккумуляторной батареи.

При проведении лабораторной работы по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» [9] приобретаются навыки исследования политропных процессов. Для проведения работы используется одна лабораторная установка по численному и экспериментальному исследованию политропных процессов.

Целью работы является разработка и внедрение в учебный процесс компьютерных лабораторных установок по исследованию электрических характеристик АБ и исследованию политропных термодинамических процессов для повышения эффективности подготовки специалистов, изучающих автомобильную технику.

Материалы и методы. Для разработки компьютерных лабораторных установок необходимо выбрать программный продукт. Анализ существующих сред программирования показал, что в настоящее время в основном применяются три программных продукта: Delphi; Borland C++; C++ Builder [2, 5].

Наиболее перспективным является C++ Builder в среде которого были разработаны компьютерные лабораторные установки для исследования политропных термодинамических процессов и т.д.

1. Разработка компьютерной лабораторной установки для исследования характеристик аккумуляторных батарей

Для описания процессов, происходящих во время работы аккумулятора, используются показатели: электродвижущая сила (ЭДС), напряжение, внутреннее сопротивление аккумулятора, емкость аккумулятора, плотность электролита.

Электродвижущая сила (ЭДС) аккумулятора представляет собой разность электродных потенциалов, измеренную при разомкнутой внешней цепи [11]. Зависимость ЭДС от плотности электролита (γ) в диапазоне 1,05–1,30 г/см^{3}выражается формулой:

$$E = 0,84 + \gamma \quad (1)$$

В процессе работы аккумулятора γ меняется, а, следовательно, меняется и ЭДС. Причем вода при разряде и кислота при заряде выделяются не равномерно по всему объему электролита, а только на поверхности активного вещества. Поэтому у работающего аккумулятора плотность электролита оказывается разной в различных точках его объема. При заряде электролит имеет максимальную плотность на поверхности активного вещества, по мере удаления от поверхности пластин плотность уменьшается. При разряде на поверхности пластин плотность электролита минимальна. Данное явление называется поляризацией.

Из формулы (1) следует, что неоднородность плотности электролита влияет на величину ЭДС. Поэтому вводятся понятия о равновесной ЭДС, ЭДС аккумулятора и ЭДС поляризации.

Равновесная ЭДС E_0 измеряется после длительного пребывания аккумулятора в нерабочем состоянии. В этом случае благодаря диффузии плотность оказывается одинаковой для всех точек объема электролита.

ЭДС аккумулятора E_a имеет место на работающем аккумуляторе. E_a в процессе разряда оказывается меньше E_0, так как в этом случае плотность γ на поверхности электродов минимальна, и она растет по мере удаления от электродов. E_a при заряде оказывается больше E_0, так как при этом плотность электролита на поверхности электродов максимальна в сравнения с плотностью в других точках аккумулятора.

ЭДС поляризации E_n представляет собой разность между равновесной ЭДС и ЭДС аккумулятора. ЭДС поляризации растет с ростом неоднородности плотности электролита.

При выборе конечного напряжения разряда аккумулятора исходят из того, что длительный разряд при напряжениях меньших 1,75В приводит к росту очень крупных кристаллов сульфата свинца на электродах. При последующем заряде эти кристаллы полностью не растворяются, и часть активного вещества выключается из работы. Такое состояние аккумулятора рассматривается как неисправность, ее называют сульфатацией. Поэтому при определении номинальной емкости аккумулятора конечное напряжение разряда принимают равным 1,75 В.

Разрядная емкость зависит не только от состояния аккумулятора перед разрядом, но и от режима разряда. Чем больше ток разряда, тем больше E_0 при которой достигается конечное напряжение разряда. Большие значения E_0 свидетельствуют о большом количестве активного вещества, сохранившего запас электрохимической энергии, и о малом количестве электрической энергии, отданной при разряде аккумулятора.

Активное вещество, сохранившее неиспользованную энергию, располагается в глубине пластин, куда приток свежего электролита ограничен скоростью диффузии. Отложение кристаллов сульфата свинца вызывает закупорку пор в активном веществе, скорость диффузии электролита уменьшается. Интенсивность отложения кристаллов увеличивается с ростом тока разряда, а разрядная емкость аккумулятора уменьшается.

Сила тока разряда при определении номинальной емкости составляет:

$$I_p = 0,05 \cdot C_{20}. \quad (2)$$

В процессе эксплуатации фактическая емкость уменьшается в сравнении с номинальной емкостью, указанной в маркировке батареи. Это происходит в результате сульфатации и осыпания активного вещества с электродов.

Контрольно-тренировочный цикл (КТЦ) производится для контроля за техническим состоянием аккумуляторных батарей, проверки их фактической емкости, исправления отстающих аккумуляторов.

При КТЦ производятся заряд батареи, предварительный (тренировочный) разряд в 10-часовом режиме, окончательный полный заряд.

В 10-часовом разрядном режиме ток выбирается по формуле:

$$I_p = 0{,}1 \cdot C_{20}. \quad (3)$$

Разряд ведется до напряжения 1,7 В, при температуре электролита 30 °С. Уменьшение разрядной ёмкости аккумулятора учитывается поправочным коэффициентом 1,13…1,14.

Работу аккумуляторов в режимах разряда и заряда удобно рассматривать с помощью разрядной и зарядной характеристик.

Разрядной характеристикой называют зависимость ЭДС покоя, ЭДС аккумулятора, напряжения, плотности электролита от времени разряда при постоянной силе разрядного тока.

Зарядной характеристикой аккумулятора называют зависимость плотности электролита, равновесной ЭДС, ЭДС аккумулятора и его напряжения от времени заряда при постоянной силе зарядного тока.

Рабочий экран компьютерной лабораторной установки (КЛУ) в исходном режиме показан на рисунке 1 [4].

Пользовательский интерфейс программы представлен на рисунке 1.

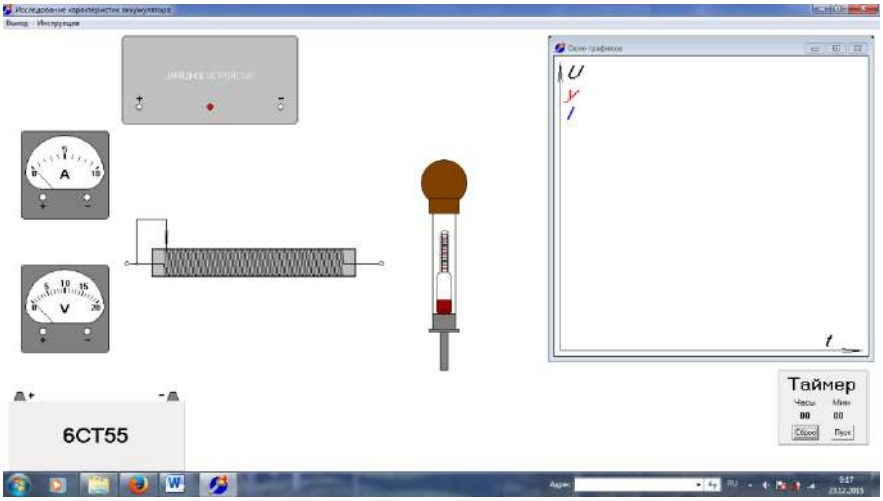


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс программы «Аккумулятор»

Порядок работы с программой «Аккумулятор».

Выполнение лабораторной работы №1 «Исследование характеристик аккумуляторных батарей» преследует следующие цели [4]:

– изучить оборудование и приборы, используемые при исследовании характеристик аккумуляторных батарей;

– ознакомиться с общей методикой построения и приобрести практические навыки в получении разрядной и зарядной электрических характеристик свинцово-кислотной аккумуляторной батареи;

– выявить причины, вызывающие изменение параметров разрядной и зарядной характеристик;

– определить фактическую емкость аккумуляторной батареи.

Материальное обеспечение: Один стенд для снятия характеристик аккумуляторной батареи, включающий автомобильную свинцово-кислотную стартерную аккумуляторную батарею, зарядно-разрядное устройство ЗУ–1Б (ЗР), вольтметр, амперметр, реостат и таймер. Кроме того, используются ареометр «Вымпел» АР–02 и нагрузочная вилка ОРИОН НВ–03. До 10 рабочих мест, оборудованных компьютерной лабораторной установкой для исследования характеристик аккумуляторных батарей (в зависимости от численного состава учебной группы, из расчета 1 рабочее место – на 2–3 обучаемых).

Экспериментальная часть работы выполняется в специализированной лаборатории электрооборудования и начинается с инструктажа по требованиям безопасности.

Далее преподаватели и техники лаборатории обучают курсантов приемам работы с аккумулятором, денсиметром и нагрузочной вилкой. Все действия на этом этапе выполняются с

использованием реального оборудования, что обеспечивает необходимую практическую подготовку курсантов.

По окончании опытов в таблицах оказываются заполненными все строки, кроме строки E_0, содержащей данные об ЭДС покоя аккумуляторной батареи. Этот параметр невозможно определить экспериментально в процессе снятия характеристик, поскольку он измеряется после длительного пребывания аккумулятора в нерабочем состоянии, а характеристики аккумулятора следует снимать в условиях непрерывного разряда (заряда). Таким образом E_0 можно экспериментально замерить только на начальной и конечной точках характеристики. Поэтому параметр E_0 определяется расчетным путем по формуле (1).

Следующим этапом обработки экспериментальных результатов является построение графиков разрядной и зарядной характеристик. Графики характеристик строятся по данным ранее заполненных таблиц. Программным обеспечением предусмотрено автоматическое построение графиков.

В отчете должно содержаться определение фактической емкости аккумулятора *C*. Она вычисляется по формуле:

$$C = t_p \cdot I_p \cdot (1{,}13 \ldots 1{,}14), \quad (4)$$

где *C* – фактическая емкость аккумулятора, Ач; t_p – время разряда, ч, оно определяется на графике разрядной характеристики как абсцисса точки, в которой напряжение *U* достигает величины 10,2 В (для 10-часового разрядного режима); *1,13 – 1,14* – коэффициент корректировки на 10-часовой разрядный режим.

Выводы по работе должны содержать: анализ причин, вызывающих изменение параметров разрядной и зарядной характеристик; результат вычисления фактической емкости аккумулятора и вывод о возможности его дальнейшей эксплуатации.

2. Разработка компьютерной лабораторной установки для исследования политропных процессов.

Пользовательский интерфейс программы «Политропа».

Внешний вид компьютерной лабораторной установки для исследования политропных процессов представлен на рисунке 2.

Рисунок 2 – Вид компьютерной лабораторной установки
для исследования политропных процессов

Управление изображением осуществляется выполнением следующих манипуляций [8].

Смена точки обзора с помощью мыши:

– смещение вверх-вниз – перемещение мыши, нажато колесо;

– смещение ближе-дальше – вращение колеса;

– вращение вокруг оси X – вращение колеса, нажать Shift;

– вращение вокруг оси Y – перемещение мыши, нажаты колесо и Ctrl;
– вращение вокруг оси Z – перемещение мыши, нажаты колесо и Shift.
Изменение освещенности:
– доступ к опции обеспечивает двойной клик по левому краю экрана.
На появившейся панели имеются движки управления:
– первый сверху движок меняет рассеянный свет;
– второй – диффузный свет;
– третий – отраженный свет.
Управление установкой осуществляется с помощью манипулятора (мыши).
Порядок работы с программой «Политропа».
Порядок проведения эксперимента [8].

1. Подготовить установку к работе: включить интерактивный компьютерный тренажер, ознакомиться с расположением измерительных приборов.

2. Навести курсор на изображения клавиши «Запись в протокол» и нажать левую клавишу мыши (предварительно зафиксировав значения термометра и манометра).

3. Периодически перемещая поршень, снимать показания приборов и заносить данные в протокол. Термометр дает показания в градусах Цельсия, манометр показывает абсолютное давление.

4. Пункт 3 необходимо повторить 5 – 6 раз.

Обработка результатов исследований осуществляется автоматически.

1. По замеренным значениям температуры определяется термодинамическая температура рабочего тела по формуле [9]:

$$T = t + 273.15, \tag{5}$$

где T – термодинамическая температура рабочего тела, ºК; t – температура рабочего тела ºС.

2. Определяется удельный объем.

3. Просмотр результатов исследования политропного процесса сжатия в табличной форме, доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать таблицу» главного меню (рисунок 3).

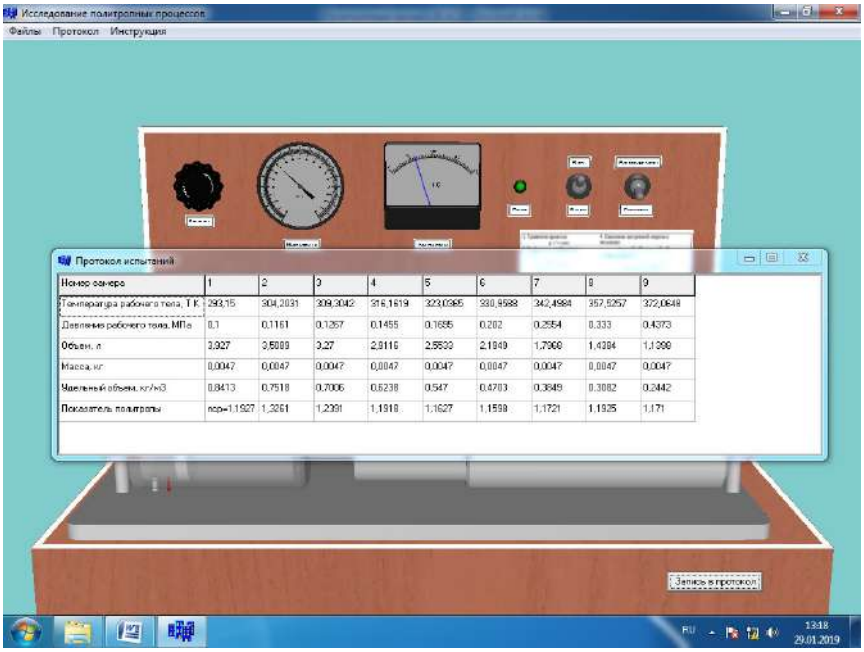


Рисунок 3 – Результаты экспериментальных исследований процесса сжатия

4. Просмотр графического выражения результатов исследования процесса сжатия доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать график» главного меню (рисунок 4).

Рисунок 4 – Графическое выражение результатов исследования процесса сжатия

5. Просмотр результатов исследования политропного процесса расширения в табличной форме доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать таблицу» главного меню (рисунок 5).

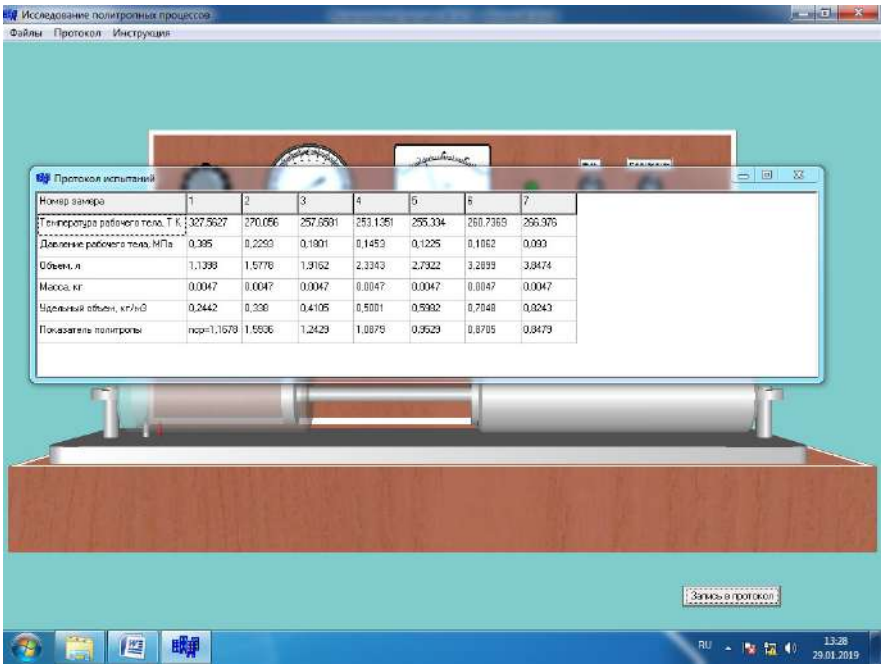


Рисунок 5 – Результаты экспериментальных исследований процесса расширения

6. Просмотр графических результатов исследования процесса расширения доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать график» главного меню (рисунок 6).

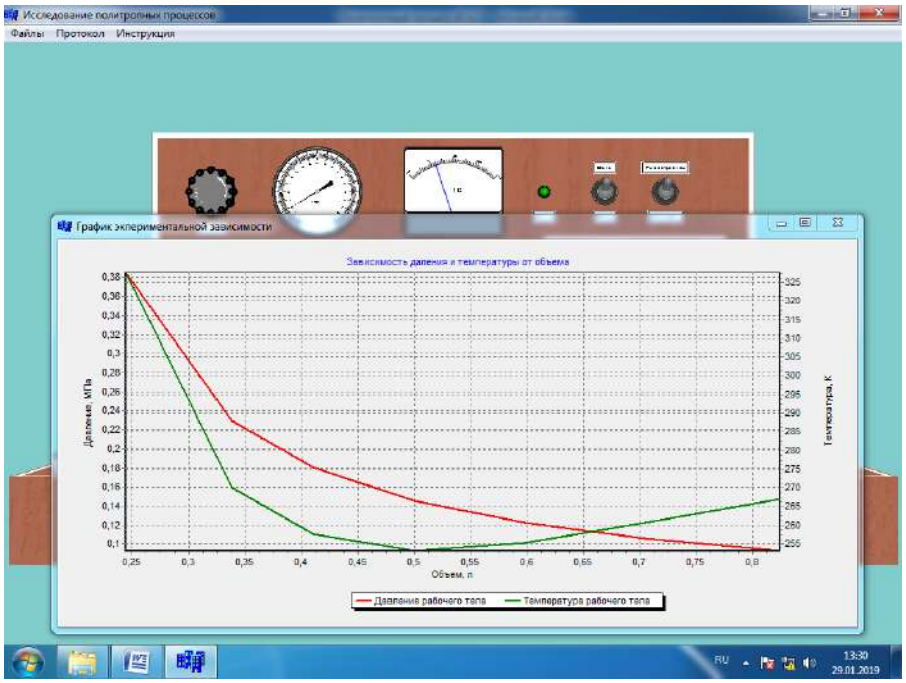


Рисунок 6 – Графическое выражение результатов исследования процесса расширения

7. Сделать выводы, содержащие анализ полученной экспериментальной зависимости, сопоставить ее с теоретическим уравнением политропного процесса.

8. Оформить отчет по лабораторной работе.

Заключение. По итогам проведения аналитической и практической работы по разработке компьютерных тренажерных установок были достигнуты следующие результаты:

– на основании анализа рабочей программы дисциплины «Конструкция транспортных средств специального назначения» выявлены недостатки в организации проведении лабораторных работ и самостоятельной работы;

– разработана и внедрена в учебный процесс компьютерная лабораторная установка под названием «Аккумулятор»;

– на основании анализа рабочей программы дисциплины «Термодинамика и теплопередача», выявлены недостатки в организации проведении лабораторных работ и самостоятельной работы;

– разработана и внедрена в учебный процесс компьютерная лабораторная установка для исследования политропных процессов под названием «Политропа».

Внедрение разработанных установок в учебный процесс позволили улучшить качество обучения в 2019 / 20 учебном году на 5 – 10 % по сравнению с аналогичным периодом 2018 / 19 учебного года.

Направлением дальнейших исследований является разработка и государственная регистрация компьютерных лабораторных установок для исследования изохорного и изобарного термодинамических процессов.

Список литературы

1. Акимов С.В., Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей: учеб. для вузов. – М.: За рулём, 2005. – 384 с.

2. Громов Ю.Ю., Татаренко С.И. Программирование на языке СИ: учеб. пособие. – Тамбов,1995. – 169 с.

3. Квалификационные требования к военно-профессиональной подготовке выпускников (дополнение к федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования) по военной специальности Применение подразделений и эксплуатация средств аэродромно-технического обеспечения полётов авиации. – М., 2011. – 53 с.

4. Конструкция транспортных средств специального назначения. Электрооборудование транспортных средств специального назначения: Лабораторный и компьютерный практикум / Ю.М. Пурусов, К.Н. Леонтьев, Д.В. Лиховидов [и др.]. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. – 72 с.

5. Культин Н.С. Основы программирования в Delphi 8 для Microsoft.NET Framework: самоучитель. –СПб: БХВ Петербург, 2004. – 312 с.

6. Приказ Министра обороны Российской Федерации № 670 «О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации. – М.: 2014. – 83 с.

7. Рабочая программа учебной дисциплины «Конструкция транспортных средств специального назначения». – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – 32 с.

8. Термодинамика и теплопередача. Термодинамические и теплообменные процессы: практикум / А.А. Томилов, А.Т. Заварзин, Ю.М. Пурусов [и др.]. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – 43 с.

9. Томилов А.А., Заварзин А.Т. Термодинамика и теплопередача: учеб. для вузов. –Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – 232 с.

10. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 190110 Транспортные средства специального назначения. – М.: 2009. – 51 с.

11. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия Телеком, 2009. – 440 с.

References

1. Akimov S.V., Chizhkov Ju.P. Jelektrooborudovanie avtomobilej: ucheb. dlja vuzov. – M.: Za ruljom, 2005. – 384 s.

2. Gromov Ju.Ju., Tatarenko S.I. Programmirovanie na jazyke SI: ucheb. posobie. – Tambov,1995. – 169 s.

3. Kvalifikacionnye trebovanija k voenno-professional'noj podgotovke vypusknikov (dopolnenie k federal'nomu gosudarstvennomu obrazovatel'nomu standartu vysshego professional'nogo obrazovanija) po voennoj special'nosti Primenenie podrazdelenij i jekspluatacija sredstv ajerodromno-tehnicheskogo obespechenija poljotov aviacii. – M., 2011. – 53 s.

4. Konstrukcija transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. Jelektrooborudovanie transportnyh sredstv special'nogo naznachenija: Laboratornyj i komp'juternyj praktikum / Ju.M. Purusov, K.N. Leont'ev, D.V. Lihovidov [i dr.]. – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2018. – 72 s.

5. Kul'tin N.S. Osnovy programmirovanija v Delphi 8 dlja Microsoft.NET Framework: samouchitel'. –SPb: BHV Peterburg, 2004. – 312 s.

6. Prikaz Ministra oborony Rossijskoj Federacii № 670 «O merah po realizacii otdel'nyh polozhenij stat'i 81 Federal'nogo zakona ot 29 dekabrja 2012 g. № 273-FZ «Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii. – M.: 2014. – 83 s.

7. Rabochaja programma uchebnoj discipliny «Konstrukcija transportnyh sredstv special'nogo naznachenija». – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2015. – 32 s.

8. Termodinamika i teploperedacha. Termodinamicheskie i teploobmennye processy: praktikum / A.A. Tomilov, A.T. Zavarzin, Ju.M. Purusov [i dr.]. – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2017. – 43 s.

9. Tomilov A.A., Zavarzin A.T. Termodinamika i teploperedacha: ucheb. dlja vuzov. –Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2015. – 232 s.

10. Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart vysshego professional'nogo obrazovanija po napravleniju podgotovki (special'nosti) 190110 Transportnye sredstva special'nogo naznachenija. – M.: 2009. – 51 s.

11. Jutt V.E. Jelektrooborudovanie avtomobilej: ucheb. dlja vuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Gorjachaja linija Telekom, 2009. – 440 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Томилов Александр Анатольевич – кандидат военных 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, e-mail: tomilov-vrn@yndex.ru.

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

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

Германович Александр Семенович – доцент, преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Пурусов Юрий Михайлович – кандидат технических наук, профессор Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Черноиванов Виктор Иванович – доцент, преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Author credentials

Affiliations

Tomilov Alexander – Candidate of military 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, e-mail: tomilov-vrn@yndex.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.

Germanovich Alexander – Associate Professor, 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.

Purusov Yuri – Candidate of Technical Sciences, Professor of 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.

Chernoivanov Viktor – Associate Professor, 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.

Поступила в редакцию (Received): 10.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 15.04.2021

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 30.04.2021. Заказ № 8.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 10,92 усл. печ. л. Тираж 100 экз.