ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2022 № 4 (58)

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

№ 4 (58), 2022 г.

Основан в 2012 г. It is based in 2012.

Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

Учредитель и издатель журнала:

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. Отделом ФГБНУ «Росинформагротех»

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

ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич – главный редактор, директор ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – зам. главного редактора, кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН

МИЩЕНКО Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, ФГБОУ ВО ТГТУ

НАГОРНОВ Станислав Александрович – зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

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

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: Зазуля А.Н.; заместители главного редактора: Нагорнов С.А., Машков А.Н.

№4 (58). Дата выхода в свет 22.08.2022. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

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

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

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

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2022

«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
№ 4 (58), 2022 г.

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

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

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, доктор 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 использования зерноуборочной техники ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

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

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

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

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

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

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

СВОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СРЕД И МАТЕРИАЛОВ, КАК ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ

Ожерельев В.Н.
МЕХАНИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ НАГРУЖЕНИЯ 7

МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Клименко В.И., Петровец В.Р., Некрашевич В.Ф., Кузюр В.М., Будко С.И.
СОВМЕСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕГРИРОВАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ УЧЁНЫМИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА – ДАЮТ РЕЗУЛЬТАТ! 16
Доровских В.И., Шулаев Г.М., Милушев Р.К., Жариков В.С.
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА ... 24
Доровских В.И., Ведищев С.М., Жариков В.С..
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ НА СОСОК ЖИВОТНОГО В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ 35
Припоров И.Е.
ТЕХНОЛОГИЯ СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОРМА 43

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

Перов М.Г.
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛЬНОТРЕСТЫ 53

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

Комогорцев В.Ф., Козарез И.В., Феськов С.А., Михальченкова М.А., Орехова Г.В.
ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ИЗНАШИВАНИЯ НА РЕСУРС НАГРУЖЕННЫХ КОНСОЛЬ-ЗАКРЕПЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ 62
Остриков В.В., Забродская А.В., Вязинкин В.С., Кошелев А.В., Сафонов В.В.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА СВОЙСТВА МОТОРНОГО МАСЛА 69
Ревенко В.Ю., Скорляков В.И., Иванов А.Б.
ПЛОЩАДЬ КОНТАКТА ШИНЫ С ОПОРОЙ, КАК ФУНКЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И ВНУТРИШИННОГО ДАВЛЕНИЯ 74
Зубарев А.Г., Бричков С.В., Ларюшин Н.П., Шуков А.В.
ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЯЛКИ ОСНАЩЕННОЙ СОШНИКАМИ С ЗАДЕЛЫВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ БОРОЗД 84

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Ведищев С.М., Завражнов А.И., Прохоров А.В., Ложкина Е.Б.
ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 91

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

Жачкин С.Ю., Астахов М.В., Невструев Ю.А., Сидоркин О.А., Звенигородский И.И.
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НАНЕСЕНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА 102
Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Быконя А.Н., Псарев Д.Н., Киба М.Р.
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ЭЛАСТОМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИНФРАКРАСНОЙ ОБРАБОТКИ..... 110
Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Мельников А.Ю., Псарев Д.Н., Киба М.Р.
ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫМИ НАНОКОМПОЗИТАМИ 122

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

Никитин Д.В., Родионов Ю. В., Рыбин Г. В., Воронин Н. В., Скоморохова А. И., Сухова А.О.
КАВИТАЦИОННЫЕ РАЗРУШЕНИЯ В ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСАХ 131

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА (ПОЧВУ, РАСТЕНИЯ, ЖИВОТНЫХ, ЗЕРНО, МОЛОКО И ДР.)

Зазуля А.Н., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В.
ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ОВОЩЕЙ В ЛЕЧЕБНО-ИСПРАВИТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ СИСТЕМЫ ФСИН 140

CONTENTS

PROPERTIES OF AGRICULTURAL ENVIRONMENTS AND MATERIALS AS OBJECTS OF TECHNOLOGICAL IMPACTS, TRANSPORTATION AND STORAGE

Ozherelev V.
MECHANICAL ANOSOTROPY OF LOAMY SOIL UNDER DIFFERENT TYPES OF LOADING 7

MECHANIZED, AUTOMATED AND ROBOTIZED TECHNOLOGIES AND HARDWARE FOR AGROINDUSTRIAL COMPLEX

Klimenko V., Petrovets V., Nekrasevich V., Kuzyur V., Budko S.
JOIN RESEARCH OF INTEGRATED FARMING TECHNOLOGIES BY SCIENTISTS OF THE UNION STATE – GIVE RESULTS! 16
Dorovskih V., Shulaev G., Milushev R., Zharikov V.
MANUFACTURING TECHNIQUES THE FODDER ADDITIVS FOR ANIMAL HUSBANDRY 24
Dorovskih V., Vedishchev S., Zharikov V.
A STUDY OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF TIPPLE RUBBER ON THE NIPPLE OF THE ANIMAL IN THE PROCESS OF OPERATION 35
Priporov I.
TECHNOLOGY OF MIXING FEED COMPONENTS 43

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

Perov M.
ANALYSIS OF THE STATE AND WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF FLAX 53

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

Komogortsev V., Kozarez I., Feskov S., Mikhalchenkova M., Orehova G.
THE EFFECT OF LOCAL WEAR ON THE RESOURCE OF LOADED CANTILEVER – FIXED PARTS 62
Ostrikov V., Zabrodskaya A., Vyazinkin V., Kosheleve A., Safonov V.
EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SOME CHARACTERISTICS OF DIESEL FUEL ON THE PROPERTIES OF ENGINE OIL 69
Revenko V., Skorlyakov V., Ivanov A.
TIRE AND SUPPORT AREA AS A FUNCTION OF VERTICAL LOAD AND TIRE PRESSURE 74
Zubarev A., Brichkov S., Laryushin N., Shukov A.
FIELD STUDIES OF A SEEDER EQUIPPED WITH COULTERS WITH FURROW SEALING DEVICES 84

THE EVOLUTION OF THE TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL LEVEL OF MACHINES AND EQUIPMENT, PATTERNS AND FORECASTING TECHNICAL PROGRESS AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGY

Vedishchev S., Zavrazhnov A., Prokhorov A., Lozhkina E.
OVERVIEW AND ANALYSIS OF MIXING DEVICE DESIGNS 91

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

Zhachkin S., Astakhov M., Nevstruev Y., Sidorkin O., Zvenigorodsky I.
RESTORATION PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY BY APPLICATION WITH IRON-BASED COMPOSITE COATINGS 102
Li R., Rizaeva Y., Bykonya A., Psarev D., Kiba M.
MECHANICAL PROPERTIES AND QUALITY OF ELASTOMERIC COATINGS AFTER INFRARER TREATMENT 110
Li R., Rizaeva Y., Melnikov A., Psarev D., Kiba M.
HEAT RESISTANCE OF ROLLING BEARING FITS RESTORED ELASTOMERIC NANOCOMPOSITES..... 122

METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF MATERIALS, METALS, TECHNICAL LIQUIDS, PRODUCTS, MACHINERY, EQUIPMENT, PRODUCTION LINES IN AGRICULTURE COMPLEX

Nikitin D., Rodionov Y., Rybin G., Voronin N., Skomorohova A., Sukhova A.
CAVITATION DAMAGES IN LIQUID RING VACUUM PUMPS..... 131

THEORY AND METHODS OF TECHNOLOGICAL IMPACT ON OBJECTS OF AGRICULTURAL PRODUCTION (SOIL, PLANTS, ANIMALS, GRAIN, MILK, ETC.)

Zazulya A., Makarov V., Makarova O., Gasparyan S.
ORGANIZATION OF VEGETABLE STORAGE IN A MEDICAL AND CORRECTIONAL INSTITUTION OF THE FSIN SYSTEM..... 140

Тип статьи: научная
УДК 631,314:631.515:631.412
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-7-15

МЕХАНИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ НАГРУЖЕНИЯ

Виктор Николаевич Ожерельев [1]
[1]*Брянский государственный уграрный университет, Брянкс, Россия*
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481

Реферат. *В статье приведены результаты исследования механических свойств почвы актуальных с точки зрения эффективного применения планчатых катков. Установлено, что важнейшим технологическим свойством почвы является ее анизотропия. Вследствие этого предельные напряжения, достаточные для разрушения почвы, при разных способах воздействия на нее различаются в 6-10 раз. Минимальной является прочность на растяжение и производная от нее предельная прочность почвы на изгиб. Он является важнейшим способом воздействия на пахотный слой, поскольку обеспечивает минимальную энергоемкость крошения почвы. В частности, путем совместного воздействия изгиба и сжатия разрушает комки почвы планчатый каток. В связи с этим выполнено исследование суглинистой почвы разной влажности на ее сопротивление изгибу и крошению. Установлено, что прочность почвы увеличивается с уменьшением ее влажности. При этом минимальное предельное напряжение характерно для влажности 20-23%. При дальнейшем увеличении влажности прочность почвы вновь несколько возрастает. В целом, зависимость прочности почвы от влажности как на изгиб, так и на сжатие описывается квадратным уравнением. Для определения величины напряжения на изгиб предложен новый вариант расчета момента сопротивления изгибу прямоугольного сечения образца, учитывающий анизотропию почвы. Вместо срединного слоя в качестве «нейтрального» использован поверхностный (верхний). Это обусловлено тем, что при имеющейся разнице в прочности растяжения и сжатия почвы верхний слой практически не деформируется до момента разрушения нижнего слоя. Вследствие этого целесообразно в расчете принимать поперечное сечение как составное, сдвинутое от его геометрической оси на половину высоты.*

Ключевые слова: *почва, предельные напряжения, анизотропия, влажность, планчатый каток.*

MECHANICAL ANISOTROPY OF LOAMY SOIL UNDER DIFFERENT TYPES OF LOADING

Victor Ozherelev [1]
[1]*Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation*
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481

Abstract. *The results of the study of the mechanical properties of the soil, relevant from the point of view of the effective use of slatted rollers, are given in the article. It has been established that the most important technological property of the soil is its anisotropy. As a result, the limiting stresses sufficient for the destruction of the soil differ by 6-10 times with different methods of impact on it. The minimum is the tensile strength and the ultimate bending strength of the soil derived from it. It is the most important way of influencing the arable layer, since it provides the minimum energy intensity of soil crumbling. In particular, the slatted roller destroys soil clods by the combined action of bending and compression. In this regard, a study was made of loamy soil of different moisture content for its resistance to bending and crumbling. It has been established that the strength of the soil increases with a decrease in its moisture content. At the same time, the minimum limiting stress is typical for a moisture content of 20-23%. With a further increase in moisture, the strength of the soil again slightly increases. In general, the dependence of soil strength on moisture both in bending and in compression is described by a quadratic equation. To*

determine the magnitude of the bending stress, a new version of the calculation of the moment of resistance to bending of a rectangular section of the sample is proposed, taking into account the anisotropy of the soil. Instead of the middle layer, the surface (upper) layer was used as a "neutral" layer. This is due to the fact that with the existing difference in the tensile and compression strength of the soil, the upper layer practically does not deform until the destruction of the lower layer. As a result, it is advisable in the calculation to take the cross section as a composite one, shifted from its geometric axis by half the height.

Keywords: *soil, ultimate stresses, anisotropy, humidity, slatted roller.*

Для цитирования: Ожерельев В.Н. Механическая анизотропность суглинистой почвы при разных типах нагружения // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 7-15. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-7-15.

For citation: Ozherelev V. Mechanical anisotropicity of loamy soil under different types of loading // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 7-15. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-7-15.

Благодарности: работа выполнена при техническом содействии кафедры природообустройства и водопользования института энергетики и природопользования Брянского ГАУ.

Acknowledgments: the work was carried out with the technical assistance of the Department of Environmental Engineering and Water Management of the Institute of Energy and Environmental Management of the Bryansk State Agrarian University.

Введение. С точки зрения агрономии, почва – это поверхностный слой земной коры, обладающий плодородием. С точки зрения механизации сельского хозяйства она представляет собой объект воздействия для рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных машин. В тоже время – это сложная многокомпонентная среда, состоящая из продуктов выветривания горных пород, органических остатков, живых организмов, воды и воздуха. Как плодородие почвы, так и ее механические характеристики зависят от соотношения между компонентами и степени измельчения базовой горной породы. В наибольшей степени значимым для характера взаимодействия почвы с рабочими органами является содержание в пахотном слое физической глины, воды и гумуса.

Одной из особенностей почвы является анизотропия ее свойств в разных направлениях [1-4]. Это касается как биохимических свойств и водопроницаемости, так и механических. Так, для суглинистых почв установлено, что наименьший предел их прочности характерен при растяжении и составляет 5…6 кПа, при сдвиге (средний) - 10…12 кПа. Максимальных значений указанный показатель достигает при сжатии (65…108 кПа) [5].

В связи с такой разницей в прочностных свойствах почвы при различных типах ее деформирования отчасти осознанно, а отчасти эмпирически были созданы рабочие органы, воздействующие на пахотный слой путем его деформации преимущественно на изгиб. Простейшим вариантом реализации указанного подхода является прямой двугранный клин, трансформирующийся, в частности, в *L*-образный нож фрезы [6], а наиболее сложным и максимально адаптированным к технологическим особенностям почвы можно считать традиционный плужной корпус.

В составе комбинированных почвообрабатывающих агрегатов широко используются катки, в частности - планчатые [7]. Не смотря на относительную простоту их конструкции и рутинность самой технологической операции прикатывания резервы совершенствования указанной техники не исчерпаны. В частности, об этом свидетельствуют соответствующие научные публикации [8, 9]. Они касаются как чисто конструктивных особенностей орудий, так и использования в качестве меры дополнительного воздействия на почву при ее уплотнении вибрации, что на протяжение многих десятилетий успешно применяется в дорожных машинах [10].

Одной из проблем при работе комбинированного почвообрабатывающего агрегата является достижение наиболее эффективного разрушения катком крупных комков и глыб. При

использовании планчатого катка возможны два крайних (идеальных) варианта взаимодействия планки 1 с объектом (комком почвы) 2 и бесконечное число промежуточных (рисунок 1).

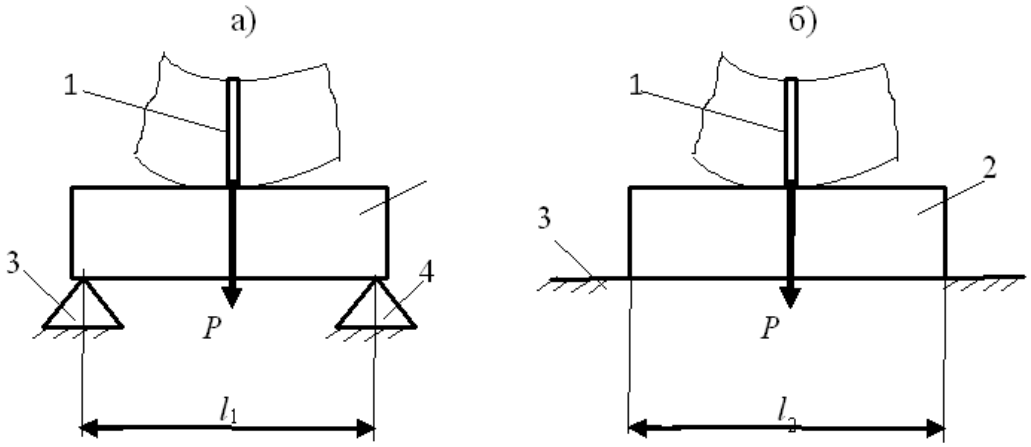


Рисунок 1 - Экстремальные варианты взаимодействия планки катка с комком почвы:
а) – с расположением комка на двух опорах; б) – на плоской, абсолютно жесткой поверхности;
1 – планка катка; 2 – комок почвы; 3, 4 – опоры

В первом случае (рисунок 1а) комок 2 опирается на две жесткие опоры 3 и 4 своими краями, а планка 1 осуществляет вертикальное воздействие на него по центру между опорными точками, то есть имеет место чистый изгиб. Во втором случае (рисунок 1б) комок 2 опирается своей нижней плоскостью на горизонтальную и абсолютно жесткую поверхность 3. Следовательно, такое напряженное состояние целесообразно считать чистым сжатием.

В реальности оба идеальных случая в чистом виде могут встретиться крайне редко. Чаще всего комок почвы под действием силы *P* будет частично вдавливаться в разрыхленную поверхность поля, подвергаясь одновременно и сжатию, и изгибу. Наиболее вероятно, что его разрушение, в конечном итоге, произойдет по наименьшему предельному напряжению.

Приведенные выше данные [5] свидетельствуют о том, что поскольку наиболее опасным является предельное напряжение растяжения, то, скорее всего, для сложного напряженного состояния, характерного для взаимодействия планки катка с комком почвы, лимитирующим является напряжение изгиба. Это обусловлено тем, что, в конечном итоге, при изгибе разрушение комка должно начинаться со слоя, подвергающегося наибольшей деформации растяжения.

В связи с этим, для более глубокого понимания процесса взаимодействия планки катка с комком почвы целесообразно получить значения предельных напряжений изгиба и сжатия и установить их зависимость от влажности почвы. Данных, полученных посредством твердомера Ревякина для такого анализа недостаточно, поскольку корреляционная связь между твердостью почвы и ее предельным сопротивлением на изгиб не установлена [11]. Исследования в этом направлении продолжаются, но объем имеющейся в литературе информации пока далек от необходимой полноты и возможности ее практического применения во всех вероятных вариантах взаимодействия, типа почвы и ее влажности [12, 13]. В связи с этим целью исследования является установление корреляционной связи прочностных свойств почвы, подвергающейся изгибающим нагрузкам и сжатию с ее влажностью.

Материал и метод. Объектом исследования является типичная для Брянской области серая лесная почва суглинистого состава. Содержание гумуса в ней варьируется в пределах 2,1 – 2,3%. Показатель кислотности pH = 6,0.

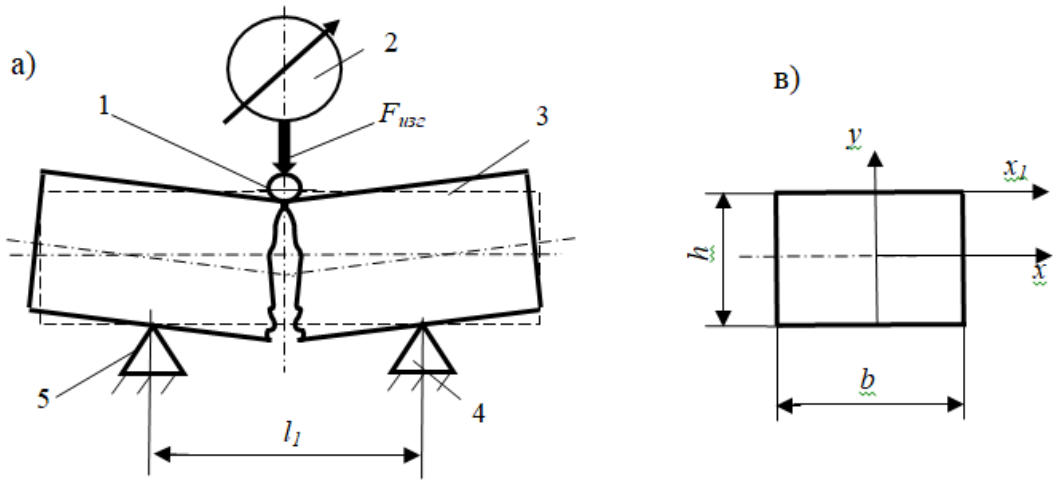
Предметом исследования являются физико-механические свойства почвы при изгибающем нагружении и сжатии и характер их варьирования в зависимость от ее влажности.

Исследованию подвергались образцы в виде брусков прямоугольного сечения длиной 100-150 мм, взятые без нарушения их естественного сложения. Каждый образец дополнительно формировали, срезая излишки почвы, обеспечивая таким образом форму поперечного сечения, близкую к прямоугольной. Поскольку естественные дефекты и пустоты не позволяли обеспечить полное единообразие образцов, то ширина поперечного сечения b варьировалась в пределах 38-60 мм, а высота h в пределах 30-50 мм. Для обеспечения возможности варьирования влажности почвы в достаточно широких пределах образцы брали в разных точках поля, ориентируясь визуально на предполагаемую влажность, зависящую от особенностей микрорельефа поверхности. Точное измерение влажности осуществляли весовым методом после выполнения каждого эксперимента.

При измерении предельной нагрузки на изгиб образец 3 (исходный профиль обозначен пунктирными линиями) укладывали на две опоры 4 и 5 (рисунок 2а) с расстоянием между ними l_1 = 75 мм. Нагружение осуществляли посредством давления на плунжер 1, имеющий круглое поперечное сечение диаметром d = 12 мм и длину 60 мм. При разрушении образца (продольные профили его половин обозначены сплошными линиями) предельную вертикальную нагрузку $F_{изг}$ фиксировал электронный динамометр 2.

Поскольку образец 3 разрушался на два фрагмента, структура каждого из которых оставалась практически неизменной, то один из них использовали для измерения предельного усилия сжатия. Для этого его помещали целиком на твердую (стальную) поверхность 4, после чего прикладывали вертикальное усилие $P_{сж}$ к тому же (что и при изгибе) плунжеру 1, увеличивая его до тех пор, пока не происходило полное разрушение монолита в заштрихованной зоне 6. Одновременно с этим растрескивалась почва в локальных областях 7, граничащих с зоной 6 ее сплошного разрушения.

Результаты эксперимента обработаны на ПК в программе Excel.



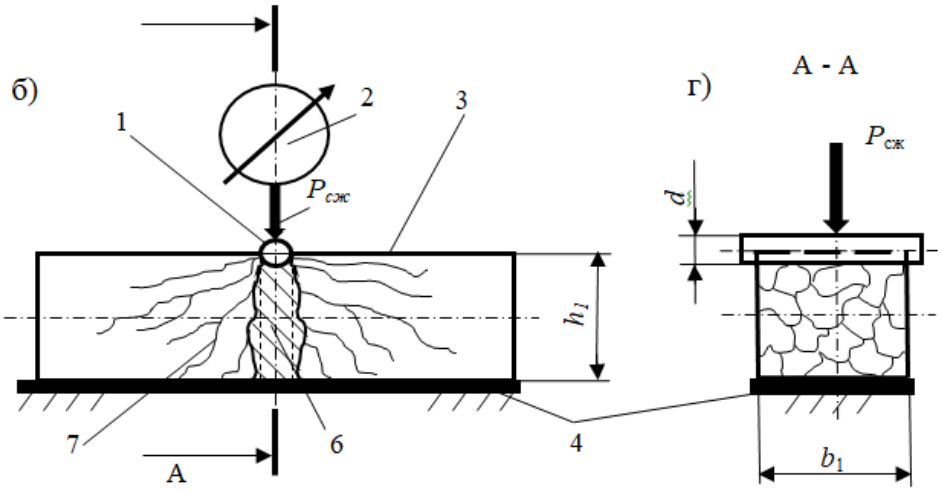


Рисунок 2 - Принципиальная схема измерения:
а) – изгиб; б) – сжатие; в), г) – поперечное сечение образца, подвергающегося изгибу и сжатию, соответственно;
1-плунжер; 2 – динамометр; 3 – образец почвы; 4, 5 – опоры; 6 – зона разрушения почвы при сжатии; 7 – зона растрескивания почвы

Результаты и их обсуждение

Результаты непосредственных измерений приведены в таблице.

Таблица – предельные усилия нагружения образцов почвы на изгиб ($F_{изг}$) и сжатие ($P_{сж}$)

№	Поперечное сечение образца		Предельные усилия, Н		Влажность, %	№	Поперечное сечение образца		Предельные усилия, Н		Влажность, %
	b, мм	*h*, мм	$F_{изг}$	$P_{сж}$			*b*, мм	*h*, мм	$F_{изг}$	$P_{сж}$	
1	80	50	25,5	105	35,9	6	45	40	21,5	40	15,5
2	38	30	100	220	11,1	7	46	30	23	30	23,4
3	48	45	45	130	8,5	8	43	35	25	60	15
4	60	40	14	40	20,4	9	58	35	2	54	23,1
5	45	38	13	35	20,8	10	58	50	30	70	22,4

Поскольку размеры поперечных сечений образцов варьировались в широких пределах, то непосредственное сопоставление вариантов опыта по величине измеренных усилий не представляется возможным. Кроме того, сопоставить два принципиально различных по характеру нагружения варианта представляется возможным только по величине предельно допустимых напряжений. В случае с изгибом это должно быть $[\sigma_{изг}]$, тогда как при сжатии в качестве критерия оценки целесообразно использовать $[\sigma_{сж}]$.

При нахождении предельного напряжения сжатия можно воспользоваться известной формулой

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{сж}}{d \cdot b_1} \text{ Па} \quad (1)$$

В случае изгиба методика расчета более сложная, поскольку поперечное сечение образца нагружается не просто поперечным усилием, а изгибающим моментом. То есть

$$\sigma_{изг} = \frac{F_{изг} \cdot l_1}{2W} \text{ Па} \quad (2)$$

где W – момент сопротивления изгибу поперечного сечения образца.

В случае с механически изотропными материалами проблема решается путем использования общеизвестной формулы для прямоугольного сечения

$$W = \frac{b \cdot h^2}{4} \quad (3)$$

Если же учитывать механическую анизотропию почвы, то условный «нейтральный» слой целесообразно совместить с верхней плоскостью образца, так как, как было отмечено выше, предел прочности на сжатие у почвы в 10 – 20 раз больше, чем на растяжение [5]. Тогда момент сопротивления изгибу наиболее адекватно может быть представлен как в случае с составным сечением, осевая линия которого переносится на величину $0{,}5h$ вверх от осевой линии исходного образца (от оси x до x_1 – рисунок 2в). В результате формула (3) трансформируется следующим образом

$$W_1 = \frac{b \cdot h^2}{3} \quad (4)$$

То есть, величина предельного напряжения на изгиб для почвы получается несколько меньше, чем при ориентации на формулу (3). Рассчитанные по формулам (1) и (2) результаты представлены на графиках (рисунок 3).

Общей для обоих вариантов нагружения образцов является закономерность влияния на прочностные параметры почвы ее влажности. При уменьшении влажности прочность увеличивается. Минимальные значения предельного напряжения характерны для влажности 20 – 23%. Именно такие параметры почвы соответствуют понятию ее «спелости» и минимальной энергоемкости процесса механической обработки [2]. При дальнейшем увеличении влажности структурные составляющие почвы начинают слипаться, что способствует упрочнению всего объема испытываемого образца. В большей степени это характерно для процесса сжатия (рис. 3). Таким образом, зависимость прочностных характеристик суглинистой почвы от ее влажности имеет полиномиальной характер вне зависимости от типа нагружения.

При любой влажности предельное напряжение, достаточное для разрушения почвенного монолита, меньше при изгибе, чем при сжатии. Если считать по усредненным значениям, то разница составляет 2 – 3 раза. Если же учитывать высокую степень дифференциации показателей, то разница между величиной предельных напряжений может достигать 6 – 10 раз, что согласуется с литературными данными [5].

Специфика методики эксперимента позволяет сравнивать значения предельных напряжений изгиба и сжатия попарно, поскольку в каждом измерении использовался один и тот же образец с гарантированно одинаковой влажностью и теми же дефектами структуры (поры, включения и т.п.). В результате можно констатировать, что только в одном из опытов значение предельного напряжения изгиба незначительно превысило аналогичный параметр, характерный для сжатия. В принципе, этот вариант опыта можно считать «выбросом» и не учитывать при анализе. Максимальная разница между параметрами в парах характерна для влажности 23,1% и составляет 24,5 раза (в пользу сжатия).

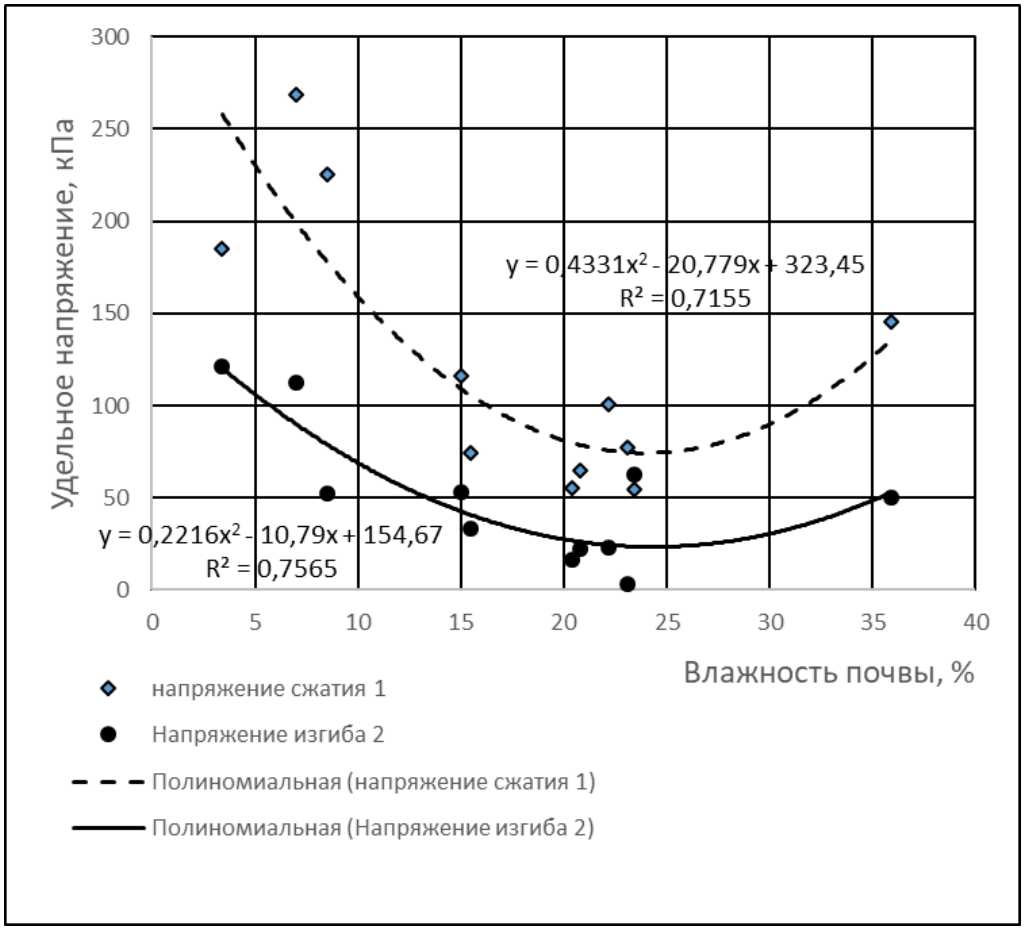


Рисунок 3 - Зависимость предельного напряжения изгиба и сжатия для суглинистой почвы от ее влажности

Выводы

1. Предел прочности для суглинистой почвы зависит от ее влажности, причем зависимость имеет полиномиальный характер. Минимальное значение предельные напряжения почвы принимают при ее влажности 20-23%.

2. Предельные напряжения изгиба для суглинистой почвы от 2 - 3 до 6 – 10 раз меньше, чем при ее сжатии.

3. Разница между пределом прочности почвы на изгиб и сжатие уменьшается по мере уменьшения ее влажности.

4. Характерная для почвы механическая анизотропия предопределяет особый подход как к конструированию рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных машин, так и к их расчету.

Список источников

1. Анизотропия свойств некоторых антропогенно-преобразованных почв подзолистого типа / А.И. Поздняков, А.В. Русаков, С.М. Шалагинова, А.Д. Позднякова // Почвоведение. 2009. № 11. С. 1308-1319.

2. Ожерельев В.Н. Исследование и конструирование фрезерных машин: монография. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. 196с.

3. Скворцова Е.Б., Рожков В.А. Анизотропия строения и микропространственной изменчивости пор на агрегатном уровне организации текстурно-дифференцированной почвы // Почвоведение. 2011. №7. С. 785-794.

4. Рогачев А.Ф., Мелихова Е.В. Компьютерное моделирование и параметризация в среде MATHCAD контуров увлажнения при капельном орошении. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. №4(64). С. 367-378.

5. Технологические свойства почвы [Электронный ресурс] / Код доступа. https://mehanik-ua.ru/lektsii-po-tekhnicheskim-temam/182-tekhnologicheskie-svojstva-pochvy.html, свободный. – (дата обращения: 05.08. 2022).

6. Агрегат для ухода за высокостебельными культурами: а. с. 1724040 СССР №4654677 / Блохин В.Н.; заявл. 24.02.89; опубл. 07.04.92, Бюл. №13. 3с.

7. Курдюмов В.И., Шаронов И.А., Прошкин В.Е. Экспериментальные исследования почвообрабатывающего катка // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №2(26). С. 141-145.

8. Шаронов И.А., Курдюмов В.И., Прошкин В.Е. Результаты исследований цилиндро-спирального почвообрабатывающего катка // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. №4(51). С. 135-139.

9. Полевые испытания почвообрабатывающего катка вибрационного действия / В.Е. Прошкин, Е.С. Зыкин, В.И. Курдюмов, Е.Н. Прошкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. №24(56). С. 6-12.

10. Машины для земляных работ: Учебник / Н.Г. Гаркави [и др.]. М.: Высшая школа, 1982. 335с.

11. Сельскохозяйственные машины. Практикум / М.Д. Адиньяев [и др.]. М.: Колос, 2000. 240с.

12. Смильский В.В., Сидорчук А.В. Масштабный эффект в механике почв. // В сб. «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве». Мат-лы Международной научно-технической конфер. В 3-х томах. Респ. Беларусь. Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. С. 93-100.

13. Семенихина Ю.А. Исследование вязкоупругого состояния почвы под воздействием активной поверхности почвообрабатывающего катка // Тракторы и сельхозмашины. 2017. №7. С. 32-36.

References

1. Anizotropiya svojstv nekotory`x antropogenno-preobrazovanny`x pochv podzolistogo tipa / A.I. Pozdnyakov, A.V. Rusakov, S.M. Shalaginova, A.D. Pozdnyakova // Pochvovedenie. 2009. № 11. S. 1308-1319.

2. Ozherelev V.N. Issledovanie i konstruirovanie frezerny`x mashin: monografiya. Bryansk: Izd-vo Bryanskij GAU, 2019. 196s.

3. Skvorczova E.B., Rozhkov V.A. Anizotropiya stroeniya i mikroprostranstvennoj izmenchivosti por na agregatnom urovne organizacii teksturno-differencirovannoj pochvy` // Pochvovedenie. 2011. №7. S. 785-794.

4. Rogachev A.F., Melixova E.V. Komp`yuternoe modelirovanie i parametrizaciya v srede MATHCAD konturov uvlazhneniya pri kapel`nom oroshenii. // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vy`sshee professional`noe obrazovanie. 2021. №4(64). S. 367-378.

5. Texnologicheskie svojstva pochvy` [E`lektronny`j resurs] / Kod dostupa. https://mehanik-ua.ru/lektsii-po-tekhnicheskim-temam/182-tekhnologicheskie-svojstva-pochvy.html, svobodny`j. – (data obrashheniya: 05.08. 2022).

6. Agregat dlya uxoda za vy`sokostebel`ny`mi kul`turami: a. s. 1724040 SSSR №4654677 / Bloxin V.N.; zayavl. 24.02.89; opubl. 07.04.92, Byul. №13. 3s.

7. Kurdyumov V.I., Sharonov I.A., Proshkin V.E. E`ksperimental`ny`e issledovaniya pochvoobrabaty`vayushhego katka // Vestnik Ul`yanovskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii. 2014. №2(26). S. 141-145.

8. Sharonov I.A., Kurdyumov V.I., Proshkin V.E. Rezul`taty` issledovanij cilindro-spiral`nogo pochvoobrabaty`vayushhego katka // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. T. 13. №4(51). S. 135-139.

9. Polevy`e ispy`taniya pochvoobrabaty`vayushhego katka vibracionnogo dejstviya / V.E. Proshkin, E.S. Zy`kin, V.I. Kurdyumov, E.N. Proshkin // Vestnik Ul`yanovskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii. 2021. №24(56). S. 6-12.

10. Mashiny` dlya zemlyany`x rabot: Uchebnik / N.G. Garkavi [i dr.]. M.: Vy`sshaya shkola, 1982. 335s.

11. Sel`skoxozyajstvenny`e mashiny`. Praktikum / M.D. Adin`yaev [i dr.]. M.: Kolos, 2000. 240s.

12. Smil`skij V.V., Sidorchuk A.V. Masshtabny`j e`ffekt v mexanike pochv. // V sb. «Nauchno-texnicheskij progress v sel`skoxozyajstvennom proizvodstve». Mat-ly` Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konfer. V 3-x tomax. Resp. Belarus`. Minsk: Respublikanskoe unitarnoe predpriyatie «Nauchno-prakticheskij centr Nacional`noj akademii nauk Belarusi po mexanizacii sel`skogo xozyajstva», 2012. S. 93-100.

13. Semenixina Yu.A. Issledovanie vyazkouprugogo sostoyaniya pochvy` pod vozdejstviem aktivnoj poverxnosti pochvoobrabaty`vayushhego katka // Traktory` i sel`xozmashiny`. 2017. №7. S. 32-36.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

V.N. Ozherelev - Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Поступила в редакцию (Received): 08.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 10.08.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.332.635.21(075.8)
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-16-23

СОВМЕСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕГРИРОВАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ УЧЁНЫМИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА – ДАЮТ РЕЗУЛЬТАТ!

Владимир Иванович Клименко[1], Владимир Романович Петровец[2], Владимир Фёдорович Некрашевич[3], Василий Михайлович Кузюр[4], Сергей Иванович Будко[5]
[1,2] Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия, Республика Беларусь, Могилевская обл., г. Горки
[1] slav_technology@mail.ru
[2] petrovec_vr@mail.ru
[3] Рязанский ГАУ, Россия, Рязанская область, г. Рязань
[3] university@rgatu.ru
[4,5]Брянский ГАУ, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино
[4] kvming@mail.ru
[5] s.budko.32@bk.ru

Автор ответственный за переписку: Владимир Иванович Клименко, slav_technology@mail.ru
Corresponding author Vladimir Klimenko, slav_technology@mail.ru

Реферат. *В последнее время интегрированное земледелие стало более привлекательным, чем интенсивное. Ученые союзного государства исследовали способы подготовки почвы под зерновые, сидераты и картофель основной обработки и культивации, мульчирования почвы, подготовки гряд, гребней и междурядных обработок, а также исследование эффективности полифункциональных фунгицидов «Полислав» и «Полиазофос», обозначены пути расширения использования этих технологий. Новые способы выполнения операций по рыхлению и перемешиванию были найден в результате длительных исследований, связанных с вариантами обработки почвы, а полученные практические результаты позволили модернизировать рабочие органы почвообрабатывающих машин. Для выполнения таких операций были разработаны горизонтальные и фронтальные низкоскоростные фрезы, способные выполнять несколько функций: раздавливание комков, рыхления почвы, удаления сорняков, позволяющие сократить энергозатраты на культивацию почвы в несколько раз. Сравнительный анализ результатов обработки почвы с помощью фрезерного культиватора КФУ-3,2 и дискованием БДТ-3,0 и предпосевной обработкой почвы агрегатом АКШ-3,6 показал преимущества обработки с помощью таких фрез. Урожайность возрастает на 40 %, расход топлива снижается на 74 %. Отмечена эффективность использования полифункциональных сельскохозяйственных машин для выращивания картофеля при интегрированном земледелии. Выбор культиваторов типа КГО позволяет повышать урожайность картофеля до 15%. Использование фунгицидов «Полислав» и «Полиазофос» отвечает за значительное уменьшение поражений от различных заболеваний и повышение урожайности клубней до 151,7 ц/га в сравнении с контролем и повышение содержания крахмала. Для получения наибольшего эффекта от интегрированного земледелия необходимо использовать полифункциональные технику и защитно-стимулирующие комплексы.*

Ключевые слова: *обработка почвы, урожайность, протравливание, культиваторы, защитно-стимулирующие комплексы.*

JOINT RESEARCH OF INTEGRATED FARMING TECHNOLOGIES BY SCIENTISTS OF THE UNION STATE - GIVE RESULTS!

Vladimir Klimenko [1], Vladimir Petrovets [2], Vladimir Nekrasevich [3], Vasiliy Kuzyur[4], Sergei Budko[5]

[1, 2] *Belarusian State Order of the October Revolution and the Red Banner of Labor Agricultural Academy, Republic of Belarus, Mogilev region, Gorki*
[1] slav_technology@mail.ru
[2] petrovec_vr@mail.ru
[3]*Ryazan State University, Russia, Ryazan region, city of Ryazan, Kostycheva str.,*
[3] university@rgatu.ru
[4,5]*Bryansk State University; 243365, Russia, Bryansk region, Vygonichsky district, S. Kokino*
[4] kvming@mail.ru
[5] s.budko.32@bk.ru

Abstract. *Recently, integrated farming has become more attractive than intensive farming. The scientists of the Union State studied the methods of soil preparation for grain, green manure and potatoes of the main processing and cultivation, soil mulching, preparation of ridges, ridges and inter-row cultivation, as well as a study of the effectiveness of the polyfunctional "Polyslav" and "Polyazophos", ways to expand the use of these technologies were outlined. New ways to perform loosening and mixing operations have been found as a result of long-term research related to soil cultivation options, and the practical results obtained have made it possible to modernize the working bodies of tillage machines. Horizontal and frontal low-speed cutters capable of performing several functions: crushing clods, loosening the soil, removing weeds, allowing to reduce energy costs for cultivating the soil several times, were developed to perform such operations. A comparative analysis of the results of tillage with the help of a milling cultivator KFU-3.2 and disking BDT-3.0 and pre-sowing tillage with the AKSH-3.6 unit showed the advantages of processing with the help of such cutters. Productivity increases by 40%, fuel consumption is reduced by 74%. The effectiveness of the use of polyfunctional agricultural machines for growing potatoes in integrated farming is noted. The choice of cultivators of the KGO type allows you to increase the yield of potatoes up to 15%. The use of Polislav and Poliazophos fungicides is responsible for a significant reduction in lesions from various diseases and an increase in tuber yield up to 151.7 centners per hectare in comparison with the control and an increase in starch content. Polyfunctional techniques and protective-stimulating complexes must be used to obtain the greatest effect from integrated farming.*

Keywords: *tillage, productivity, dressing, cultivators, protective and stimulating complexes.*

Для цитирования: Клименко В.И., Петровец В.Р., Некрашевич В.Ф., Кузюр В.М., Будко С.И. Совместные исследования технологий интегрированного земледелия учёными союзного государства – дают результат! // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 16-23. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-16-23.

For citation: Klimenko V., Petrovets V., Nekrasevish V., Kuzyur V., Budko S. Join research of integrated farming technologies by scientists of the union state – give results! // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 16-23. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-16-23.

Введение. Сегодня актуально добиваться устойчивых высоких урожаев экологически чистой сельскохозяйственной продукции, используя относительно дешевые, рентабельные, экологически безопасные технологические приемы. В последнее время в нашей стране активно внедряли западные технологии интенсивного земледелия, которые не всегда учитывали местные условия, с одной стороны, с другой, приводили к истощению плодородного слоя почв за счет применения завышенных доз средств химизации. И хотя технологии интенсивного земледелия вначале способствовали получению высоких урожаев, их использование не оправдывало возникновение серьезных экологических проблем в последдствии. Вред, наносимый окружающей среде от применение химических препаратов в полеводстве, достиг такого уровня, что в развитых европейских странах на самом высоком уровне идут разговоры об уходе от интенсивного земледелия. Неактуально и обращение к диаметрально противоположной системе биологизации земледелия с преимущественным использованием органических удобрений, представляющих отходы животноводства, традиционной отвальной вспашки и многочисленных культиваций, так

как не обеспечивает высокие урожаи сельскохозяйственной продукции. Из государственного бюджета в период санкций нерационально субсидировать морально устаревшие подходы к возделыванию сельскохозяйственных культур, тем более что сегодня появились новые сорта культурных растений как результат многолетней работы ученых Беларуси и Российской Федерации, не уступающие по своим качествам европейским аналогам, возделывание которых требует и современных технологических приемов.

В современной мировой и отечественной науке все больше сторонников находит, так называемое, интегрированное или природоохранное сельское хозяйство, которое соединяет в себе лучшие черты различных систем земледелия. Основанное на профилактике заболеваний культурных растений, интегрированное сельское хозяйство позволяет снизить экологически опасные нагрузки на окружающую среду при получении высоких урожаев возделываемых культур, уменьшить энерго- и трудозатраты, сократить объемы используемых пестицидов и минеральных удобрений за счет совмещения нескольких операций при одном проходе техники.

Важнейшим элементом современных прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур является создание абсолютно нового подхода к совершенствованию системы обработки почвы. Правильная и качественная поверхностная обработка плодородного слоя закладывает прочный фундамент для получения высокого урожая, а в условиях аномально меняющегося климата увеличить его еще на 25% [1].

Применение отвальной обработки почвы более трудо- и энергозатратно, чем безотвальной, но современные требования к минимальной обработке невозможно выполнить применяемыми способами и используемыми для этого рабочими органами почвообрабатывающих машин [2]. Сложная экономическая ситуация, вызывающая рост цен на продукты питания и определяющая актуальность вопросов по экологической безопасности, вынуждает производителей сельскохозяйственной продукции во всем мире внедрять новые прогрессивные технологии возделывания почвы. Работы в данной области связаны с минимизацией затрат на операциях резания корневищ сорняков с одновременным разрыхлением, перемешиванием почвы и ее сепарированием.

Так белорусские ученые и инженеры разработали передовую технологию, которая включает применение: плуга-культиватора, обеспечивающего гладкую вспашку с культивацией почвы; культиватора-гребнеобразователя-окучника (КТО); оборудования ОПС-1АК для протравливания семян; универсального тракторного опрыскивателя (ОУК-30); защитно-стимулирующих комплексов (ЗСК).

В универсальных навесных почвообрабатывающих машинах нового поколения, как правило, рабочие органы способны одновременно выполнять несколько операций [3]. Так разработаны КТО культиваторы в виде горизонтальных и фронтальных низкоскоростные фрез, характерной особенностью которых являются мощные рыхлители на жёсткоупругих стойках. Фрезы крошат более 80 % почвы до частиц размером менее 11 мм, наиболее благоприятных для роста и развития растений. Эти сельскохозяйственные машины усилены дугообразными или стрельчатыми лапами без режущих кромок. За один проход низкоскоростные фрезы способны разрыхлить и перемешать верхний слой почвы, одновременно ее отсепарировать, отделив сорняки, и уничтожить вредителей. Использование таких агрегатов способствует выравниванию почвы, эффективному влагозадержанию в ней, одновременной заделке органических удобрений, заменяет сплошную культивацию и боронование, способствует сокращению агросроков. Все эти функции выполняют универсальные чизельные плуги с долотообразными рабочими органами, которые обеспечивают не только рыхление, но и перемешивание нижних слоев почвы без оборота пахотного слоя, поддерживая плодородность земли за счет сохранения и накапливания влаги, доступа кислорода в слое гумуса. Следует отметить преимущества многофункциональных комбинированных агрегатов на основе чизельного плуга, которые заключаются в сокращении сроков и затрат в 2-3 раза на проведение полевых работ при соблюдении всех необходимых агротехнических требований. Глубина обработки: при лущении – 5 - 7 см, при культивации – 8 - 17 см, при основной безотвальной обработке – 18 - 23 см. Экспериментальные исследования и производственные испытания агрегатов с чизельным плугом показали снижение затрат энергоресурсов на обработку почвы с их использованием в 2,9 - 3,4 раза.

Применение технологий поверхностной обработки почвы с использованием низкоскоростных фрез позволяет рыхлить верхние слои почвы с одновременным их удобрением, значительно увеличить площадь выращивания сидератов, с целью последующей их заделки в почву для улучшения её структуры, обогащения микроэлементами и угнетения развития сорняков [4], то есть, не нарушая естественные биологические процессы, появляется возможность значительно улучшить состояние почвы.

Таким образом, исследование влияния применения горизонтальных и фронтальных низкоскоростных фрез на качество обработки почвы и урожайность сельскохозяйственных культур весьма актуально.

Результаты исследований и их обсуждение.

Учёными союзного государства проводились исследования по определению влияния различных способов обработки почвы на урожайность почвопокровных культур - предшественников под картофель, некоторые результаты показаны в таблице 1. Сравнивая обработку почв с помощью фрезерного культиватора КФУ-3,2 с дискованием БДТ-3,0 и предпосевной обработкой почвы агрегатом АКШ-3,6 легко можно увидеть преимущества обработки с помощью фрез, как по урожайности зеленой массы (выше на ~40%), так и по экономии топлива (ниже ~на 74%).

Таблица 1 - Влияние способа обработки почвы на урожайность редьки масличной и расход топлива

Способ обработки почвы	Урожай зеленой массы		Расход топлива	
	ц/га	%	ц/га	%
Дискование БДТ-3, 10-12см + обработка АКШ-3,6 (эталон)	141	100	15,9	100
Обработка КФУ-3,2, 10-12 см	197	139,7	4,7	29,6

При разработке новых технологий возделывания картофеля активно применяются культиваторы – грядообразователи – окучники, которые позволяют подготавливать гряду, гребень и проводить междурядную обработку обеспечивая современные агротехнические требования [5].

Создаваемая при обработках культиваторами-грядообразователями-окучниками марок КГО-3,0 и КГО-3,6 структура почвы способствует уменьшению в 2 - 2,3 раза примесей в ворохе убранного картофеля, потерь клубней и значительному (13 – 16%) повышению урожайности картофеля.

В результате производственных испытаний универсального фрезерного культиватора КФУ-7,3, которые проводились в осенний период на операциях по подготовке почвы под посев озимых зерновых, подъему зяби и лущению с образованием мульчи было установлено что общая наработка составила 1348 га при средней сменной производительности 40-50 га, что позволило предприятию выполнить подъем зяби в запланированном объеме и с высоким качеством. Было определено, что использование фрезерных культиваторов типа КФУ при выращивании сидерата - редьки масличной и последующей зяблевой обработки почвы под картофель и другие сельскохозяйственные культуры очень выгодно, так как в целом позволяет уменьшить ресурсные затраты более чем в 2 раза, по сравнению с традиционной технологией, и к тому же повысить урожайность основной культуры.

На сельскохозяйственных предприятиях Республики Беларусь, Кировской и Брянской областей России проведены сравнительные производственные испытания различных способов обработки почв.

Производственные испытания комплекса машин для интегрированного земледелия: распылительной системы «Шквал», устанавливаемой на протравливатель семян ОПС-1АК и на универсальный тракторный опрыскиватель ОУК-24-80 [6], были проведены в Гомельской области. Результаты исследований показали, что исследуемая распылительная система позволяет обрабатывать пестицидами, в том числе и препаратами «Полислав», «Полиазофос» практически все возделываемые в данных регионах сельскохозяйственные культуры, а также дезинфицировать складские помещения.

Для получения высоких урожаев картофеля очевидна необходимость в эффективной защите культуры от возбудителей различных болезней. Интегрированное земледелие предполагает использование препаратов полифункционального назначения, которые, с одной стороны обладают фунгицидным действием против возбудителей болезней, а с другой - являются источником необходимых растению микроэлементов. Поставленные задачи позволяют решить ЗСК в виде препаратов «Полиазофос» и «Полислав», которые представляют собой сложные органо-минеральные комплексы [7, 8].

В результате исследований и регистрационных испытаний был установлен уровень эффективности препарата «Полиазофос» против фитофтороза картофеля сорта Явар. Этот показатель очень близок к уровню эффективности фунгицида Браво-500 (таблица 2). Развитие фитофтороза через 8 дней после последней обработки больше на 0,4 %, биологическая эффективность меньше на 0,4 %, все это в пределах ошибки эксперимента. А повышение урожая клубней, по сравнению с контролем, выше на 30 ц/га, по сравнению с Браво-500.

Таблица 2 - Эффективность фунгицидов против фитофтороза картофеля (сорт Явар)

Вариант	Появление фитофтороза, дата	Развитие фитофтороза через 8 дней после последней обработки, %	Биологическая эффективность, %	Урожайность ц/га	Прибавка ц/га
Контроль – без обработки	13.07	100,0	-	143,3	
Браво-500	15.07	48,8	51,2	265,0	121,7
«Полиазофос»	13.07	49,2	50,8	295,0	151,7
$НСР_{05}$		6,6			

Как показано в таблице 3, результаты испытаний фунгицидов «Полиазофоса» и «Полислава» в разные годы в Беларуси согласуются с данными исследований, полученными на Брянской опытной станции по картофелю сорта Брянский деликатес и Дебрянск. Результаты исследований показали, что сортовые особенности картофеля и способы применения препаратов влияют на эффективность применения «Полиазофоса» и «Полислава». Сорт картофеля «Дебрянск «без обработки более урожайный, чем «Брянский деликатес». Исследования с использование сорта «Брянский деликатес» показали, что препаратом «Полислав» наиболее эффективно его обрабатывать осенью и перед посадкой. Но наилучшие результаты по урожайности получены при осенней обработке семенных клубней в течение 4 часов после уборки медьсодержащим препаратом «Полиазофос» (2,0 кг/т) с последующим 2-кратным опрыскивание с нормой расхода 4,0 кг/га.) перед цветением. В этом случае прибавка урожая составила 44 ц/га или 23,7 % к контролю. Для сорта «Дебрянск» предпосадочная обработка семенных клубней «Полиславом» (3,0 кг/т) и 3-кратная внекорневая подкормка растений (4,0 кг/га) достоверно повысили урожай на 51 ц/га. При использовании «Полиазофоса» и «Полислава» для обработки клубней и растений отмечено повышение содержания крахмала, в зависимости от сорта на 0,6-0,9% (таблица 3). Считается, что употребление картофельного крахмала весьма полезно для здоровья человека.

Таблица 3 - Влияние использования ЗСК на урожайность, качество и пораженность болезнями картофеля

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю, т/га	Содержание крахмала, %	Пораженность растений, %		
				ризоктониоз	альтернариоз	фитофтороз
Брянский деликатес						
Контроль (без обработки)	9,3	–	10,4	3,5	7,8	1,9
Обработка клубней водой	19,8	0,5	10,9	3,2	7,6	1,8
«Полислав-1», осенняя обработка клубней, 3 кг/т	22,4	3,1	11,0	0	7,3	1,7
«Полислав-1», осенняя обработка клубней, 3 кг/т + «Полислав», обработка клубней перед посадкой, 3 кг/т	22,8	3,5	11,5	0	7,0	1,7
«Полиазофос», осенняя обработка клубней, 2 кг/т + 2-кратное опрыскивание растений до цветения, 4 кг/га	23,7	4,4	12,3	0	5,3	1,5
«Полиазофос», обработка растений до цветения, 4 кг/га	23,0	3,7	11,3	2,8	5,2	1,6
«Эпин», обработка клубней весной, 20 мл/т	21,6	2,3	11,4	2,7	6,0	1,7
Дебрянск						
Контроль (без обработки)	20,5	-	13,0	3,1	5,8	1,6
Обработка клубней водой	21,0	0,5	13,3	3,1	5,7	1,7
«Полислав», обработка клубней весной, 3 кг/т	23,5	3,0	13,9	1,4	5,7	1,6
«Полислав», обработка клубней весной, 3 кг/т + «Полиазофос» по вегетации, 4 кг/га	24,9	4,4	13,9	1,3	5,8	1,6
«Полислав», обработка клубней весной, 3 кг/т + по вегетации 3-кратно, 4 кг/га	25,6	5,1	14,0	1,4	5,6	1,5

Необходимо отметить, что при осенней обработке клубней препаратами «Полислав» (3,0 кг/т) и «Полиазофос» (2,0 кг/т) снижалось поражение клубней сухими и мокрыми гнилями на 2,8 - 2,9 и 2,5 - 2,6 %, соответственно. Важнейшим результатом действия препаратов «Полиазофос» и «Полислав» является 100% подавление возбудителя ризоктониоза – крайне опасной болезни картофеля.

Семейство защитно-стимулирующих полифунциональных комплексов «Полислав» и «Полиазофос», а также распылительные системы «Шквал» защищены более 20 зарегистрированными патентами на изобретения разных стран.

Выводы. Использование полифункциональных сельскохозяйственных машин для выращивания картофеля при интегрированном земледелии эффективно, по сравнению с традиционными технологиями:

- культиваторы типа КФУ при выращивании сидерата - редьки масличной и последующей зяблевой обработки почвы под картофель и другие сельскохозяйственные культуры позволяют уменьшить ресурсные затраты более чем в 2 раза при повышении урожайности;

- культиваторы типа КГО позволяют повысить урожайность картофеля до 15%, эффективно подавлять рост сорных растений, уменьшать потери клубней за комбайном, а также уменьшать количество примесей в ворохе убранного картофеля до 2 раз;

- распылительные системы «Шквал» позволяют производить протравливание картофеля, обработку вегетирующих растений, картофеля, овощей, зерновых, кукурузы и плодовых культур с уменьшением доз пестицидов до малообъемных и ультрамалообъемных значений при высоком качестве покрытия обрабатываемых поверхностей, что экологично и экономично;

- ЗСК «Полислав» и «Полиазофос» позволяют значительно уменьшить поражение картофеля ризоктониозом, альтернариозом, фитофторозом, сухими и мокрыми гнилями и повысить урожаи клубней до 151,7 ц/га при повышенном содержания крахмала.

К сожалению, в разных хозяйствах используют различные технологии и, соответственно, различные сельскохозяйственные машины: где-то могут быть только культиваторы типа КФУ, где-то агрегаты типа КГО; где-то распылительные системы «Шквал» выполняют операцию протравливания картофеля, где-то используются для обработки вегетирующих растений; где-то упор сделан на полифункциональные ЗСК «Полислав» и «Полиазофос». А для получения наибольшего эффекта от использования природоохранных технологий интегрированного земледелия все это желательно использовать одновременно в одном хозяйстве.

Таким образом, интегрированное земледелие несомненно более эффективно и обоснованно приходит на смену интенсивному

Список источников

1. Петровец В.Р., Сидоров С.А., Киров К.В. Эффективность использования дискозубовых рабочих органов при возделывании картофеля // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2021. № 1 (20). С. 268-273.

2. Степук Л.Я., Петровец В.Р. Механизация, экологизация и экономика сферы химизации земледелия Беларуси: проблемы и пути решения // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 198-204.

3. Патент на полезную модель RU 120836 U1, 10.10.2012. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы / Клименко В.И. Заявка № 2011137694/13 от 13.09.2011.

4. Семененко Н.Н. Промежуточные культуры - важнейший фактор интенсификации почвозащитного земледелия на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья / Н.Н. Семененко, П.П. Крот // Земледелие и защита растений. -2018. - №1. С.13 – 19.

5. Пат. 4168 Республика Беларусь, МПК7 A01B21/04. Устройство для подготовки семенного ложа и междурядных обработок / Клименко В. И. ; заявитель и патентообладатель Клименко В. И. – №a19980476 ; заявл. 15.05.98 ; опубл. 30.12.01, Афіц. бюл. №4 / Дзярж. пат. кам. Рэсп. Беларусь. – 3 с.: ил.

6. Пат. 2131783 Российская Федерация МПК6 B05B3/02. Устройство для распыления жидкого вещества / Клименко В. И.; заявитель и патентообладатель Клименко В. И. – № 97117237 ; заявл. 24.10.97 ; опубл. 20.06.99, Бюл. №17 /Гос.пат. ком. Российской Федерации.5с.: ил.

7. Пат. 4171 Республика Беларусь, МПК7 A01N59/00. Защитно-стимулирующий комплекс для защиты растений от болезней и регулирования их роста (варианты), способ защиты растений от болезней и регулирования их роста / Клименко В. И. ; заявитель и патентообладатель Клименко В. И. – № a20000236; заявл. 10.03.2000; опубл. 30.12.01, Афіц. бюл. №3 / Дзярж. пат. кам. Рэсп. Беларусь. – 6с.

8. Пат. 2204902 Российская Федерация МПК7 A01N59/00. Защитно-стимулирующий комплекс «Полиазофос» для защиты растений от болезней и регулирования их роста / Клименко В. И.; заявитель и патентообладатель Клименко В. И. – № 2000106664; заявл. 17.03.2000; опубл. 27.05.03, Бюл. №15 / Гос. пат. ком. Российской Федерации. – 3 с.

References

1. Petrovets V.R., Sidorov S.A., Kirov K.V. Efficiency of using disc-toothed working organs in potato cultivation // Design, use and reliability of agricultural machinery. 2021. No. 1 (20). pp. 268-273.

2. Stepuk L.Ya., Petrovets V.R. Mechanization, ecologization and economics of the sphere of chemicalization of agriculture in Belarus: problems and solutions // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No. 3. pp. 198-204.

3. Utility model patent RU 120836 U1, 10.10.2012. Working body for non-tillage tillage / Klimenko V.I. Application No. 2011137694/13 dated 13.09.2011.

4. Semenenko N.N. Intermediate crops - the most important factor in the intensification of soil-protective agriculture on anthropogenically transformed peat soils of Polesie / N.N. Semenenko, P.P. Mole // Agriculture and plant protection. -2018. - No. 1. pp.13-19.

5. Pat. 4168 Republic of Belarus, MPK7 A01B21/04. Device for preparing the seedbed and row-to-row treatments / Klimenko V. I. ; applicant and patent holder Klimenko V. I. - No.a19980476 ; application 15.05.98 ; publ. 30.12.01, Afic. byul. No. 4 / Dzyarzh. pat. kam. Resp. Belarus. - 3s. : ill.

6. Pat. 2131783 Russian Federation MPK6 B05V3/02. Device for spraying liquid substance / Klimenko V. I. ; applicant and patent holder Klimenko V. I. - No. 97117237 ; application 24.10.97 ; publ. 20.06.99, Bul. No. 17 /State.pat. com. Of the Russian Federation.5c.: ill.

7. Pat. 4171 Republic of Belarus, MPK7 A01N59/00. Protective and stimulating complex for plant protection from diseases and regulation of their growth (variants), method of plant protection from diseases and regulation of their growth / Klimenko V. I. ; applicant and patent holder Klimenko V. I. - No. a20000236; application 10.03.2000; publ. 30.12.01, Afic. byul. No. 3 / Dzyarzh. pat. cam. Resp. Belarus. - 6s.

8. Pat. 2204902 Russian Federation MPK7 A01N59/00. Protective and stimulating complex "Polyazophos" for plant protection from diseases and regulation of their growth / Klimenko V. I. ; applicant and patent holder Klimenko V. I. - No. 2000106664; application 17.03.2000 ; publ. 27.05.03, Bul. No. 15 / State Pat. com. Of the Russian Federation. - 3 p.

Информация об авторах

В. И. Клименко – доктор технических наук РФ и РБ, доцент; П. В. Петровец – доктор технических наук, профессор; В. Ф. Некрашевич – доктор технических наук, профессор; В.М. Кузюр – кандидат технических наук, доцент; С.И. Будко – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

V. Klimenko - Doctor of Technical Sciences of the Russian Federation and the Republic of Belarus, Associate Professor; P. Petrovets - Doctor of Technical Sciences, Professor; V. Nekrashevich - Doctor of Technical Sciences, Professor; V.Kuzyur - candidate of technical sciences, associate professor; S. Budko - candidate of technical sciences, associate professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 661.155.3:636
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-24-34

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА

Владимир Иванович Доровских[1], Геннадий Михайлович Шулаев[2], Ринат Келимулович Милушев[3], Вадим Сергеевич Жариков[4]
[1,2,3.4] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия
[1] dorovskih50@mail.ru
[2] tniij@yandex.ru
[3] july1931@yandex.ru
[4] vadim_688@bk.ru

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

Реферат. *Разработана технология производства специальных кормовых добавок для высокопродуктивных животных. Научно обоснован состав кормовой добавки на основе семян льна, кукурузы и биологически активных веществ (биоплексы йода, селена, витамин Е). В условиях хозяйства, на оборудовании кормоцеха (экструдер, дробилка, передвижной транспортер, агрегат для производства комбикорма «Доза») отработаны технологические режимы экструдирования смеси льна и кукурузы, приготовления премикса из биологически активных веществ, способы подготовки и смешивания компонентов и контроля качества продукции. На основе циклично-периодического использования имеющегося в кормоцехе оборудования разработаны технологические линии приготовления сырья и производства обогатительных кормовых добавок для животноводства. Получены экспериментальные образцы добавок Омегален-1» и «Омегалён-2». Состав добавки «Омегалён-2», в % по массе: льняное семя – 70; кукурузная дерть – 29,83; витамин Е(50) – 0,007; Селено-Ки(0,25) – 0,007; ОМЭК-Ј(2,5) – 0,003; поваренная соль (консервант) – 0,153, в скобках приведена активность препарата. Установлено, что использование в рационе высокопродуктивных коров этой добавки в количестве 0,5-1,0 кг в сутки в период раздоя повышает молочную продуктивность животных на 16,4%. Технология приготовления кормовых добавок проста и легко применима условиях хозяйств.*

Ключевые слова: *кормовая добавка, льняное семя, БАВ, технология приготовления, оборудование.*

MANUFACTURING TECHNIQUES THE FODDER ADDITIVS FOR ANIMAL HUSBANDRY

Vladimir Dorovskih[1], Gennady Shulaev[2], Rinat Milushev[3], Vadim Zharikov[4]
[1,2,3,4] All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture
[1] dorovskih50@mail.ru
[2] tniij@yandex.ru
[3] july1931@yandex.ru
[4] vadim_688@bk.ru

Abstract. *A technology has been developed for the production of special feed additives for highly productive animals. The composition of the feed additive based on flax seeds, corn and biologically active substances (bioplexes of iodine, selenium, vitamin E) has been scientifically substantiated. Technological modes of extruding a mixture of flax and corn, preparing a premix from biologically active substances, methods of preparing and mixing components and controlling the quality of products have been worked*

out on the farm, on the equipment of the feed shop (extruder, crusher, mobile conveyor, unit for the production of compound feed "Doza").Technological lines for the preparation of raw materials and the production of enriching feed additives for animal husbandry are developed on the basis of the cyclic-periodic use of the equipment available in the feed shop. Experimental samples of Omegalen-1 and Omegalen-2 additives were obtained. The composition of the additive "Omegalen-2", in% by weight: flaxseed - 70; corn scum - 29.83; vitamin E (50) - 0.007; Seleno-Ki (0.25) - 0.007; OMEK-J (2.5) - 0.003; table salt (preservative) - 0.153, the activity of the drug is given in brackets. It has been established that the use of this additive in the diet of highly productive cows in the amount of 0.5-1.0 kg per day during the milking period increases the milk productivity of animals by 16.4%. The technology for the preparation of feed additives is simple and easily applicable to farm conditions.

Keywords: *feed additive, flaxseed, BAS, preparation technology, equipment.*

Для цитирования: Доровских В.И., Шулаев Г.М., Милушев Р.К., Жариков В.С. Технология изготовления кормовых добавок для животноводтсва // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 24-34. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-24-34.

For citation: Dorovskih V., Shulaev G., Milushev R., Zharikov V. Manufacturing rechniques the fodder additives for animal husbandry // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 24-34. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-24-34.

Введение. В настоящее время молочное скотоводство использует животных с высоким генетическим потенциалом продуктивности, последние достижения в области доения и содержания [7,10,13,15]. Изменились требования к кормлению, особенно высокопродуктивных коров при их включении в сложные биотехнические системы [11,16,17,19,20,22,23]. Особенно это касается лактации и ее начала. Именно за этот период производится около 40-45% всей молочной продукции [2]. В норме потери массы тела у коров в течении первых двух месяцев лактации могут составлять 5-10%, а при несбалансированном кормлении удваиваются. Поэтому новотельный период является самым трудным с точки зрения удовлетворения потребностей коровы в энергии, питательных и биологически активных веществах [19].

В научной литературе последних лет считается, что использование семян льна способствует активизации обмена веществ, укреплению здоровья, увеличению молочной продуктивности коров [4,8,18]. В настоящее время в мировой и отечественной практике наблюдается повышенный интерес к использованию этого корма. В льняном семени содержится много ценных питательных веществ: жира 30-39%, белка от 16 до 33%, минеральных веществ до 5%, все необходимые микроэлементы и витамины. Повышенное количество лигнанов (фитоэстрогиров) регулирует воспроизводительную функцию животных, повышает иммунный статус, профилактирует возникновению ряда заболеваний [9].

В составе льняного жира около половины занимают полиненасыщенные жирные кислоты Q_3, которые выполняют функцию витамина F. Переход в молоко этого витамина представляет для питания человека большую ценность [6]. В 1 кг льняного семени содержится от 15,5 до 19,0 МДж обменной энергии, а уровень калия в 2-3 раза выше, чем в зерне злаковых культур. Отмечается превосходство в сере за счет повышенного количества серосодержащих аминокислот [9].

Количество в льняном семени слизи составляет около 6%, но у некоторых сортов до 10-12%. По химическому составу и физико-химическим свойствам они наиболее близки к пектинам. Этот компонент избирательно впитывает в себя вредные вещества в кишечнике, уменьшает в нем гнилостные процессы, способствует заживлению его слизистой оболочки и выведению избытка холестерина из организма [9].

В составе жира половину составляет полиненасыщенная линоленовая кислота (Q_3), выполняющая функцию витамина F. Однако, в льняном семени содержится вредное вещество гликозид линамарин, который разрушается под воздействием высоких температур [9]. Поэтому перед использованием его необходимо подвергнуть термической обработке. Наиболее эффективным методом является экструзия смеси льна с пищевыми отрубями или различными видами зерна [4,8,21].

Исследования академии наук Белоруссии показали, что скармливание экструдированного льна в течении двух месяцев по 1 кг в период раздоя коров способствовало повышению их продуктивности на 9,8% [4].

В Тамбовской области посевы льна увеличиваются, сырье реализуется преимущественно заграницу, где из него производят кормовые добавки. В этой связи необходимо наладить в хозяйствах на базе имеющегося оборудования и сырьевых ресурсов приготовление отечественных, более дешевых кормовых добавок для животноводства. Разработанная технология позволяет организовать эффективное внутрихозяйственное производство кормовых добавок, обеспечивающих сбалансированное питание сельскохозяйственных животных [2,19].

Нами была отработана технология экструзионной обработки льняного семени с дробленой кукурузой в соотношении 70:30%. Усовершенствован состав кормовой добавки за счет обогащения её биологически активными веществами (витамин Е, биоплексы микроэлементов йода и селена). Такая добавка позволяет повышать удои коров.

Цель исследований - повышение эффективности использования кормовых ресурсов, используемых в молочном скотоводстве, за счет научного обоснования и разработки технологии производства балансирующих концентратов из зерновых и масличных культур, и биологически активных веществ.

Материалы и методы. Методологической основой работы служили результаты исследований последних лет ведущих отечественных ученых в области технологии производства и обработки кормов, кормления крупного рогатого скота молочного направления продуктивности [2,19,21]. На основе их анализа были разработаны балансирующие добавки, предназначенные для введения в комбикорма дляживотных. В работе были использованы экспериментальный, аналитический и расчетно-конструктивный методы исследования.

Применялась технологическая обработка исходного сырья для удаления из него антипитательных веществ. Проведены научно-хозяйственные и производственные опыты. Животных для них отбирали по принципу аналогов, формировали две группы. Контрольная группа получала комбикорм, постоянно использующийся в хозяйстве, а опытная – с изучаемой добавкой. Комбикорма скармливали утром и вечером. Они были сбалансированы по основным питательным веществам и энергии и скармливались в соответствии с современными нормами [19]. По результатам контрольных доений определяли молочную продуктивность. У животных исследовали основные биохимические показатели крови, характеризующие обмен веществ. Для определения нормальных интервалов этих показателей пользовались данными, которые приводятся в современной научной литературе [5].

Экономические показатели рассчитывали по прямым затратам. Цифровой материал, полученный в опытах, обрабатывался с использованием t-критерия Стьюдента. Достоверными считались различия при значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Разработка, изготовление, испытания в производственных условиях балансирующих добавок были единым технологическим процессом. Он включал дозирование и измельчение зерновых компонентов, синхронное дозирование добавок, их введение в смеситель одновременно с измельчением зерносмеси. В приготовлении кормов для коров применялось качественное зерно с влажностью не выше 15%, не пораженное грибковыми заболеваниями.

На основе имеющегося в большинстве хозяйств оборудования (экструдер, дробилка с пневмотранспортным рукавом, шнековый передвижной транспортер и комбикормовый агрегат «Доза») разработана технология приготовления двух видов обогатительных кормовых добавок: «Омегален-1» - экструдат смеси льняного семени и дробленой кукурузы в соотношении 70:30 и «Омегален-2» - обогащенный экструдат, содержащий биологически активные вещества (БАВ): витамин Е, биоплексы селена и йода.

Отечественные и зарубежные исследователи считают, что совместное использование названных БАВ играет важнейшую роль в регуляции обмена веществ у высокопродуктивных животных [1,3,14]. Все препараты сертифицированы, технологичны, находятся в сыпучей форме. Микроэлементы обладают высокой биодоступностью, представлены в органической форме

[12,14]. Активность препаратов следующая, содержание чистого элемента в %: витамин Е — 50, Селено Ки — 0,25, ОМЭК-J— 2,39.

В условиях хозяйства на имеющемся оборудовании методом экструзии был изготовлен опытный образец кормовой добавки «Омегален-1». Химический состав компонентов и готовой добавки представлены в таблице 1 ниже.

Таблица 1 — Химический состав компонентов и экструдата после технологической обработки

Корма	Натуральная влага, %	Гигро-влага, %	Общая влага, %	Сырая зола, %	Сырой протеин, %	Сахар, %	Сырой жир, %	Клетчатка, %
Семена полножирного льна	5,08	6,40	11,15	4,56	24,40	2,41	34,7	10,07
Семена полножирного льна+кукуруза до экструдирования	7,74	5,20	12,54	2,91	17,66	3,28	24,27	6,92
Семена полножирного льна+кукуруза экструдированные	5,44	5,60	10,73	3,32	19,00	6,72	21,75	5,86

Из таблицы видно, что в полученном экструдате повысилось в два раза содержание сахара и снизилось содержание клетчатки. Эти результаты вполне сопоставимы с данными других исследователей [4,8,21]. Количество обменной энергии составляло 15,5 МДж/кг, а содержание линоленовой кислоты (витамин F) находилось на уровне 14,1% от имеющегося жира.

Для приготовления, обогащенного экструдата «Омегален-2» разработан его состав. Он содержит в %: льняное семя — 70; кукурузная дерть 29,83; витамин Е (50) — 0,007; Селено Ки (0,25) — 0,007; ОМЭК-J — (2,5) — 0,003; поваренная соль (консервант) — 0,153.

Обеспечение равномерности распределения БАВ в составе кормовой добавки предусмотрено за счет премикса, который изготовляется отдельно на небольшом смесителе (объем камеры смешивания на 50 кг наполнителя — отруби или мука из зерновых культур). Дозирование и загрузка компонентов в смеситель вручную, взвешивание БАВ на лабораторных весах. На 1 т кормовой добавки «Омегален-2» нужно 10 кг премикса.

Этапы технологии приготовления кормовых добавок. На первом этапе приготовления добавок Омегален-1 и Омегален-2 предусмотрено смешивание льняного семени с дробленой кукурузой в соотношении 70:30 в комбикормовом агрегате «Доза». Затем эта смесь подается на экструдирование. Полученный экструдат охлаждается, дробится на молотковой дробилке и пневмотранспортером загружается в комбикормовой агрегат «Доза». В дальнейшем, если в хозяйстве необходима кормовая добавка «Омегален-1», измельченный экструдат направляют в складское помещение. Для получения кормовой добавки «Омегалён-2» измельченный экструдат обогащается премиксом в количестве 1,0% от его массы.

Схема материальных потоков при изготовлении кормовых добавок на основе льняного семени и биологически активных веществ показана на рисунке 1.

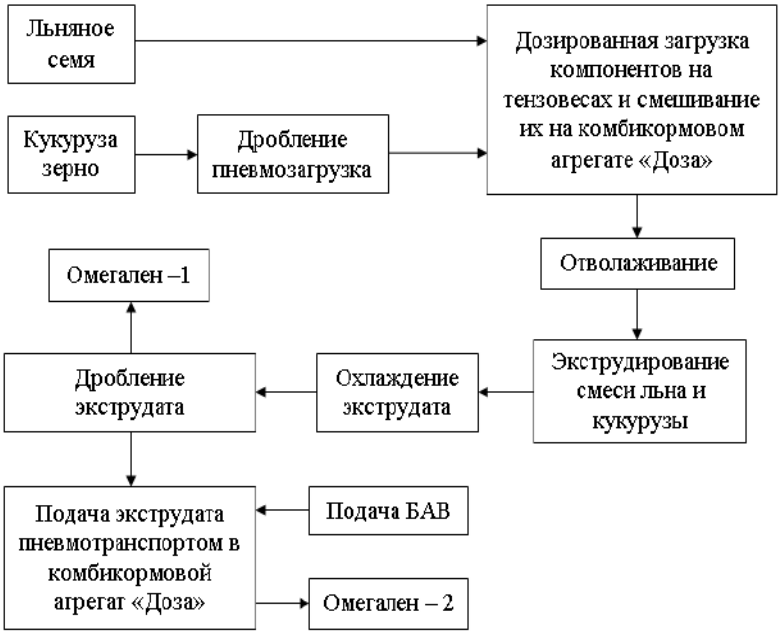


Рисунок 1 – Схема материальных потоков при изготовлении кормовых добавок на основе льняного семени и биологически активных веществ.

Для обогащения экструдата биологически активными веществами предусматривается приготовление на их основе премикса. Для этого в кормоцехе устанавливается небольшой смеситель с объемом камеры смешивания на 50 кг наполнителя, в качестве которого используются пшеничные отруби или зерно тонкого размола. Схема технологического процесса приготовления премикса представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Схема технологического процесса приготовления премикса

Для взвешивания наполнителя используются тензорные весы, а для БАВ – лабораторные. В расчете на 10 кг наполнителя вводится 70 г витамина Е, 70 г Селено-Ки, 30 г ОМЭК-J и поваренной соли мелкого помола в качестве консерванта 1530 г. Премикс вводят в количестве 1,0% к массе экструдата – 10 кг на 1т.

Не рекомендуется при производстве кормовой добавки «Омегален – 2» заготавливать премикс в больших объемах на длительный срок хранения, а лучше использовать его из расчета недельной потребности. Ответственный работник систематически должен осуществлять контроль за

приготовлением кормовой добавки, проводить осмотр прибывшей партии сырья, визуально и органолептически: определяя цвет, запах, вкус семян льна и кукурузы. Влажность измеряется влагомером. Все компоненты должны быть без визуальных признаков поражения вредителями и болезнями, без затхлого, солодового, плесенных и других посторонних запахов, иметь влажность не более 15%. Показатели качества сырья, которые необходимо контролировать при изготовлении добавки приведены в таблице 2. Кратность проведения лабораторных анализов - по необходимости.

Таблица 2 — Показатели качества зернового сырья

Показатели	Допустимое значение показателей
Влажность зерна (кукуруза, лен)	не более 15%
Бактериальная обсеменённость	не более $5*10^5$ КОЕ/г
Содержание плесени	не допускается
Зараженность вредителями	не допускается, кроме зараженности клещём не выше 20 экз./кг, насекомыми не более 15 экз./кг
Содержание семян вредных растений	
Содержание пестицидов	не более 0,1%
Металломагнитная примесь	не более 0,1 мг/кг не более 200 мг/кг

Технологическое оборудование при производстве кормовых добавок «Омегален–1» и «Омегален–2». Оборудование линии производства кукурузно – льняного экструдата, обогащенного БАВ, включает: комбикормовый агрегат «Доза» - для смешивания дробленой кукурузы и льна перед экструдированием, обогащение дробленого экструдата премиксом. Загрузка готовой продукции в мешкотару или бункер на хранение; молотковая дробилка с заборным рукавом для измельчения, пневмотранспортировки зерна и экструдата; экструдер одношнековый с объёмным дозатором и загрузным бункером, наклонный шнековый передвижной транспортёр для загрузки сырья; шкаф управления; охладитель экструдата; увлажнитель; смеситель для премиксов.

Смешивание компонентов перед экструдированием проводится на комбикормовом агрегате «Доза». Он предназначен для смешивания компонентов комбикормов, премиксов и добавок, находящихся в сухом состоянии, до получения однородной смеси.

Рисунок 3 - Шнековый вертикальный смеситель «Доза».

Для выполнения операции экструдирования зернового сырья на предприятиях малой мощности наиболее подходят простые в эксплуатации «сухие» одношнековые экструдеры, в которых рабочий процесс протекает только за счёт трения. Для загрузки экструдера зерновыми компонентами может использоваться мобильный шнековый транспортер. Экструдер ЭТР-500/30 предназначен для приготовления экструдированного корма животным из злаковых, бобовых и масличных культур. При этой технологии практичным является использование дробилок ДКР с пневмозабором зерна и экструдата при помощи гибкого шланга, а затем транспортировка измельчённых компонентов воздушным потоком в бункер комбикормового агрегата «Доза».

Дробилка ДКР предназначена для измельчения самых различных зерновых культур, а также мелкокускового жмыха, шрота, лузги и других видов кормов, широко используется на предприятиях по производству комбикормов и премиксов. Охлаждение экструдата зимой может проходить нормально в открытом ворохе, а в летний период следует использовать для этих целей охладители типа ОЭ-0,5 или ОЭ-1/1. При наличии очень сухого зерна влажностью 10-12% и ниже его перед экструдированием следует увлажнять. Для этого используется увлажнитель А1-БШУ-1.

При использовании технологии приготовления кормовой добавки на основе экструдированной смеси льна и кукурузы должны соблюдаться рекомендуемые значения параметров, которые приводятся в таблице 3.

Таблица 3 — Параметры технологического процесса приготовления кормовой добавки

Параметры	Единица измерения	Значение
Диаметр отверстий молотковой дробилки при измельчении зерна и экструдата	мм	5,0
Размер частиц измельченного зерна кукурузы	мм	1,5-1,8
Влажность смеси зерна кукурузы, льна	%	до 15%
Массовая доля в смеси: - семени льна - дробленой кукурузы	%	 70 30
Температура экструдата в матрице	ºС	130-140
Температура экструдата после охлаждения	ºС	Температура окружающей среды (не более чем на 10 ºС выше)
Размер частиц экструдата после измельчения	мм	1,0-1,2
Влажность экструдата	%	10-12
Объемная масса экструдата: - не измельченного - измельченного	кг/м^3	 320-340 450-470

Качественная характеристика обогащенного экструдата «Омегален-2», полученного по вышеописанной технологии представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Качественная характеристика кормовой добавки «Омегален-2»

Показатель качества, %	Значения
Обменная энергия, МДж/кг	15,50
Сырой протеин	17,94
Сырая клетчатка	5,50
Сырой жир	27,30
Сахар	7,39
Полиненасыщенные жирные кислоты, %:	
Линолевая	10,97
Линоленовая	14,12
Са	0,18
NaCl	0,22
Микроэлементы, мг/кг:	
Селен	1,20
Йод	6,20
Витамин Е, мг/кг:	470,0

Хранение и применение готовой продукции. Готовый экструдат на основе льняного семени, кукурузы и биологически активных веществ является скоропортящимся продуктом, его нужно хранить в герметичной таре (крафт мешки) или бункере, в сухом, прохладном помещении. Максимальный срок хранения – 3-4 месяца. Показатели, по которым проводится контроль качества добавки представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Контроль качества кормовой добавки при её хранении по степени прогоркания жира

Показатели	Ед. изм.	Нормативы (расчетные)
Кислотное число	Мг/КОН г жира	2,0-2,5
Перекисное число	ммоль активного кислорода/кг жира	4,3-5,0
Цвет	-	Коричневый разных оттенков
Запах	-	Характерным для льняного масла, без затхлых и других присадок

Кормовая добавка «Омегалён-1» может использоваться в рационах и комбикормах всех видов животных в количестве 1-2 % к массе концентратов.

Обогащенная добавка «Омегален-2» предназначена для высокопродуктивных коров. В первой половине лактации рекомендуется ее скармливать по 1,0 кг «Омегален-2», во второй – 0,5 кг в сутки. Добавка может вводиться в кормосмеси или задаваться в кормушку. Для улучшения воспроизводительной способности и качества приплода кормовую добавку «Омегален-2» следует скармливать коровам в сухостойный период по 0,3 кг на голову в сутки

Заключение. Разработана технология производства кормовых добавок для сельскохозяйственных животных. Научно обоснован состав кормовой добавки на основе льняного семени, кукурузы и биологически активных веществ (биоплексы йода, селена, витамин Е). В условиях хозяйства на базе оборудования кормоцеха отработана технология экструдирования смеси льна и кукурузы, приготовления премикса из биологически активных веществ, подготовки и смешивания компонентов, контроля качества продукции.

Кормовую добавку «Омегалён-1» рекомендуется использовать в рационах и комбикормах всех видов сельскохозяйственных животных. Обогащённая биологически активными компонентами добавка «Омегалён-2» предназначена для использования при кормлении молочного

скота. Наибольший эффект дает её применение в первые 110 дней лактации, когда животным необходим повышенный уровень обменной энергии и биологически активных веществ. Использование кормовой добавки «Омегален-2» в рационе высокопродуктивных коров в период раздоя при зимне-стойловом содержании обеспечивает потребность животных в биологически активных веществах, улучшает обмен веществ, способствуя повышению молочной продуктивности на 16,4 %. Такой прием позволил получить дополнительную прибыль за два месяца в расчёте на корову 4461 руб.

Список источников

1. Боголюбова, Н.В. Особенности обменных процессов в организме коров с использованием в рационах комплекса дополнительного питания / Н.В. Боголюбова, В.Н. Романов, Р.А. Рыков // Генетика и разведение животных. - 2019.- №4.- С. 92 - 97.

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

3. Быкова, Е.В. Влияние органического микроэлементного комплекса йода ОМЭК-J на метаболические процессы в организме дойных коров / Е.В. Быкова, А.П. Коробов, А.П. Гуменюк // Аграрный научный журнал. - 2017. -№ 6. - С. 3–6.

4. Влияние смеси экструдированной «Энерголен К-стандарт» на продуктивность коров в период раздоя. Отчет по НИР. Национальная академия наук Беларуси. - 2014.- С. 17.

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

6. Добриян, Е.И. Функциональные молочные продукты, обогащённые ПНЖК семейства Омега-3 и Омега-6 //Е.И. Добриян, Е.А. Юрова, Н.А. Жижин // Молочная промышленность. -2013. - №11. - С. 45-46.

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

8. Зотеев, В.С., Симонов А.Г., Кириченко А.В. Экструдированные семена льна масличного в кормлении телят/ В.С.Зотеев, А.Г. Симонов, А.В. Кириченко // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2012. - №1. –С. 96-100.

9. Зубов, В.А. Льняное семя, его состав и свойства / В.А. Зубов, Л.Л. Осипова, Т.И. Лебедева // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. - 2016. - №2. - С. 14 -16.

10. Использование соврменных технологий в молочном животноводстве / Ф.Ф. Ситдиков, Б.Г. Зиганшин, Р.Р. Шайдуллин и др. // Вестник Казанского ГАУ. – 2020.- № 1(57. – С.81-85.

11. Касторнов, Н.П, Развитие отрасли молочного скотоводства Тамбовской области: состояние, тенденции, эффективность / Н.П. Касторнов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2019. -№3(58). -С. 127-131.

12. Кистина, А.А. Научно-практическое обоснование применения селено-содержащих препаратов в кормлении крупного рогатого скота: Автореф. дисс. докт с.-х. наук. Саранск, 2011. – 40 с.

13. Кийко, Е.И. Принципы маркерной селекции в молочном скотоводстве / Е.И. Кийко // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2010. - Т. 15. - № 1. - С. 134-135.

14. Корочкина, Е.А. Влияние микроэлементов цинка, кобальта, йода, селена, марганца, меди на здоровье и продуктивные качества животных / Е.А. Корочкина // Генетика и разведение животных. - 2016. - №3. - С.69 - 73.

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

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

17. Пирогова, О.Е. Влияние факторов на развитие молочного скотоводства / О.Е. Пирогова, Н.В. Быковская // Вестник Российского Государственного Аграрного Заочного Университета.- 2014. - №17(22). - С. 129 -135.

18. Подобед, Л.И. Льняной жмых - пополняет ассортимент белковых добавок для животных и птицы / Л.И. Подобед // Эффективное животноводство. - 2019. - №5. - С.46 - 48.

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

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

21. Экструдированный пищевой концентрат в рационах молодняка крупного рогатого скота / В.Ф. Радчиков, С.Л. Шинкарева, В.К. Гурин и др. –Жодино, 2017. -118 с.

22. Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution / A.J. John, C.E.F. Clark, M.J. Freeman, K. Kerrisk // Animal. - 2016. - No. 1(9). - P. 1484-1492.

23. 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.

References

1. Bogolyubova, N.V. Osobennosti obmennyh processov v organizme korov s ispol'zovaniem v racionah kompleksa dopolnitel'nogo pitaniya / N.V. Bogolyubova, V.N. Romanov, R.A. Rykov // Genetika i razvedenie zhivotnyh. - 2019. - №4.- S. 92 - 97.

2. Buryakov, N.P. Racional'noe kormlenie molochnogo skota / N.P. Buryakov, M.A. Buryakova. – M.: RGAU-MSKHA, 2015. – 314 s.

3. Bykova, E.V. Vliyanie organicheskogo mikroelementnogo kompleksa joda OMEK-J na metabolicheskie processy v organizme dojnyh korov / E.V. Bykova, A.P. Korobov, A.P. Gumenyuk // Agrarnyj nauchnyj zhurnal.- 2017. -

№ 6. - S. 3–6.

4. Vliyanie smesi ekstrudirovannoj «Energolen K-standart» na produktivnost' korov v period razdoya. Otchet po NIR. Nacional'naya akademiya nauk Belarusi. - 2014.- S. 17.

5. Gusev, I.V. Referentnye intervaly biohimicheskih pokazatelej krovi dlya kontrolya polnocennosti kormleniya molochnogo skota / I.V. Gusev, R.A. Rykov // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. - 2018. - №6. - S. 22-25.

6. Dobriyan, E.I. Funkcional'nye molochnye produkty, obogashchyonnye PNZHK semejstva Omega-3 i Omega-6 //E.I. Dobriyan, E.A. YUrova, N.A. ZHizhin // Molochnaya promyshlennost'. -2013. - №11. - S. 45-46.

7. Dorovskih, V.I. Sovershenstvovanie upravleniya processom doeniya zhivotnyh / V.I. Dorovskih, O.A. Atkeshov // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2012. - №6. - S.20-21.

8. Zoteev, V.S., Simonov A.G., Kirichenko A.V. Ekstrudirovannye semena l'na maslichnogo v kormlenii telyat/ V.S. Zoteev, A.G. Simonov, A.V. Kirichenko // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. - 2012. - №1. –S. 96-100.

9. Zubov, V.A. L'nyanoe semya, ego sostav i svojstva / V.A. Zubov, L.L. Osipova, T.I. Lebedeva // ZHurnal Rossijskogo himicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva. - 2016. - №2. - S. 14 -16.

10. Ispol'zovanie sovrmennyh tekhnologij v molochnom zhivotnovodstve / F.F. Sitdikov, B.G. Ziganshin, R.R. SHajdullin i dr. // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2020.- № 1(57. – S.81-85.

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

12. Kistina, A.A. Nauchno-prakticheskoe obosnovanie primeneniya seleno-soderzhashchih preparatov v kormlenii krupnogo rogatogo skota: Avtoref. diss. dokt s.-h. nauk. Saransk, 2011. – 40 s.

13. Kijko, E.I. Principy markernoj selekcii v molochnom skotovodstve / E.I. Kijko // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. - 2010. - T. 15. - № 1. - S. 134-135.

14. Korochkina, E.A. Vliyanie mikroelementov cinka, kobal'ta, joda, selena, marganca, medi na zdorov'e i produktivnye kachestva zhivotnyh / E.A. Korochkina // Genetika i razvedenie zhivotnyh. - 2016. - №3. - S.69 - 73.

15. Kostomahin, N.M. Tekhnologii doeniya korov s cel'yu polucheniya vysokokachestvennogo moloka / N.M. Kostomahin, M.N. Kostomahin // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. - 2020.- № 4.- S.12 -19.

16. Marinchenko, T.E. Perspektivnye razrabotki v oblasti molochnogo skotovodstva / T.E. Marinchenko // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. - 2020.- №2(38). – S.124 - 129.

17. Pirogova, O.E. Vliyanie faktorov na razvitie molochnogo skotovodstva / O.E. Pirogova, N.V. Bykovskaya // Vestnik Rossijskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Zaochnogo Universiteta. - 2014. - №17(22). - S. 129 -135.

18. Podobed, L.I. L'nyanoj zhmyh - popolnyaet assortiment belkovyh dobavok dlya zhivotnyh i pticy / L.I. Podobed // Effektivnoe zhivotnovodstvo. - 2019. - №5. - S.46 - 48.

19. Rekomendacii po detalizirovannomu kormleniyu molochnogo skota / A.V. Golovin, A.S. Anikin, N.G. Pervov i dr. – Dubrovicy. – 2016. – S.66 - 68

20. Filippova E.E. Avtomaticheskoe i robotizirovannoe doenie: sravnitel'nyj analiz // Molochnaya promyshlennost'.- 2020. -№ 7.- S. 61- 63.

21. Ekstrudirovannyj pishchevoj koncentrat v racionah molodnyaka krupnogo rogatogo skota / V.F. Radchikov, S.L. SHinkareva, V.K. Gurin i dr. –ZHodino, 2017. -118 s.

22. Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution / A.J. John, C.E.F. Clark, M.J. Freeman, K. Kerrisk // Animal. - 2016. - No. 1(9). - P. 1484-1492.

23. 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.

Информация об авторах

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

Information about the authors

V. Dorovskikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; G. Shulaev – Candidate of Agricultural Sciences; R. Milushev – Full Doctor of Agricultural Sciences, V. Zharikov - younger scientific employee.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 14.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 17.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 637.116.2:636.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-35-42

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ НА СОСОК ЖИВОТНОГО В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Владимир Иванович Доровских[1], Сергей Михайлович Ведищев[2], Вадим Сергеевич Жариков[3]

[1,3] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия
[1] dorovskih50@mail.ru
[3] vadim_688@bk.ru
[2] Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
[2] serg666_65@mail.ru

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

Реферат. *Сосковая резина, непосредственно контактирующая с выменем животного, оказывает значительное влияние на качество процесса доения и на заболевания вымени животного. Из-за больших затрат на поддержание работоспособного состояния сосковой резины зарубежные фирмы рекомендуют не проводить технического обслуживания сосковой резины, а менять ее через 2500 доений, что неизбежно приводит к недоиспользованию ресурса. Учитывая сложившуюся ситуацию, предложено проводить диагностический контроль состояния сосковой резины на работающих доильных аппаратах в соответствии с разработанным способом и осуществлять выбраковку, в зависимости от технического состояния. Определение основных параметров доильного аппарата осуществлялось с использованием устройств для контроля стабильности вакуума доильной установки и для измерения давления сосковой резины на сосок. Исследования проведены в лабораторных условиях и на молочной ферме. Разработанный способ и технические средства позволили провести исследования и установить зависимости величины давления на конец соска для отечественных сосковых резин. Установлены зависимости давления различных типов сосковых резин на сосок от значений режимных параметров. Изучена динамика изменения давления на сосок в процессе эксплуатации. Показано, что давление на сосок в процессе эксплуатации может регулироваться как рабочим вакуумом, так и натяжением сосковой резины, при этом диапазон регулировки составляет 35% диапазона допустимых значений. Установлено, что сосковые резины могут эксплуатироваться в режиме оптимальных значений давления на сосок.*

Ключевые слова: *сосковая резина, давление на сосок, способ измерения, техническое обслуживание, диагностика, релаксация, срок службы.*

A STUDY OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF TIPPLE RUBBER ON THE NIPPLE OF THE ANIMAL IN THE PROCESS OF OPERATION

Vladimir Dorovskih[1], Sergey Vedishchev[2], Vadim Zharikov[3]

[1, 3] All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1] dorovskih50@mail.ru
[3] vadim_688@bk.ru
[2] Tambov State Technical University, Tambov, Russia
[2] serg666_65@mail.ru

Abstract. *Teat liner in direct contact with the animal's udder has a significant impact on the quality of the milking process and on diseases of the animal's udder. Foreign firms recommend not to carry out maintenance of the teat rubber, but to change it after 2500 milkings due to the high costs of maintaining the working condition of the teat rubber, which inevitably leads to underutilization of the resource. Taking into account the current situation, it is proposed to carry out diagnostic control of the state of the teat rubber on working milking machines in accordance with the developed method and to carry out culling, depending on the technical condition. Determination of the main parameters of the milking machine was carried out using devices to control the stability of the vacuum of the milking machine and to measure the pressure of the teat rubber on the teat. The studies were carried out in laboratory conditions and on a dairy farm. The developed method and technical means made it possible to conduct research and establish the dependence of the pressure on the end of the nipple for domestic teat rubbers. Dependences of the pressure of various types of teat rubbers on the teat on the values of regime parameters have been established. The dynamics of changes in pressure on the nipple during operation was studied. It is shown that the pressure on the nipple during operation can be regulated by both the operating vacuum and the tension of the liner, while the adjustment range is 35% of the range of permissible values. It has been established that teat rubbers can be operated in the mode of optimal pressure on the teat.*

Keywords: *teat rubber, pressure on the nipple, method of measurement, maintenance, diagnostics, relaxation, service life.*

Для цитирования: Доровских В.И., Ведищев С.М., Жариков В.С. Исследование влияния различных типов сосковой резины на сосок животного в процессе эксплуатации // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 35-42. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-35-42.

For citation: Dorovskih V., Vedishchev S., Zharikov V. A study of the influence of different types of tipple rubber on the nipple of the animal in the process of operation // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 35-42. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-35-42.

Введение. Сосковая резина доильного стакана является самой ответственной частью аппарата, так как через нее осуществляется непосредственное воздействие аппарата на соски вымени коровы. Резина защищает сосок вымени от действия постоянного вакуума. Величина ее натяжения в доильном стакане должна стимулировать рефлекс молокоотдачи и обеспечивать высокую интенсивность молоковыведения в процессе доения [1, 2].

В процессе эксплуатации доильных аппаратов натяжение и физико-механические свойства сосковой резины изменяются [3]. Это приводит к отклонению величины натяжения, от заданной уже после первой недели работы новой резины в аппарате и уменьшается на 8,2 Н, девятой – на 23,6 Н, шестнадцатой недели – на 35,3 Н [4]. Однако рекомендуемые сроки использования сосковой резины очень различны.

В соответствии с агрозоотехническими требованиями вся сосковая резина в одном доильном аппарате должна иметь одинаковую жесткость. В настоящее время жесткость сосковой резины определяют двумя способами: по величине растяжения при нагрузке ее массой 6 кг за время 6 с или по вакууму смыкания противоположных стенок. Расхождение жесткости сосковой резины в одном доильном аппарате по вакууму смыкания не должно превышать 2 кПа и по удлинению при нагрузке ее грузом в 6 кг – не более 5 мм. К эксплуатации допускается сосковая резина с величиной вакуума смыкания 40 – 90 мм рт. ст. (5,3–12 кПа) или с величиной удлинения 20 – 35 мм [5].

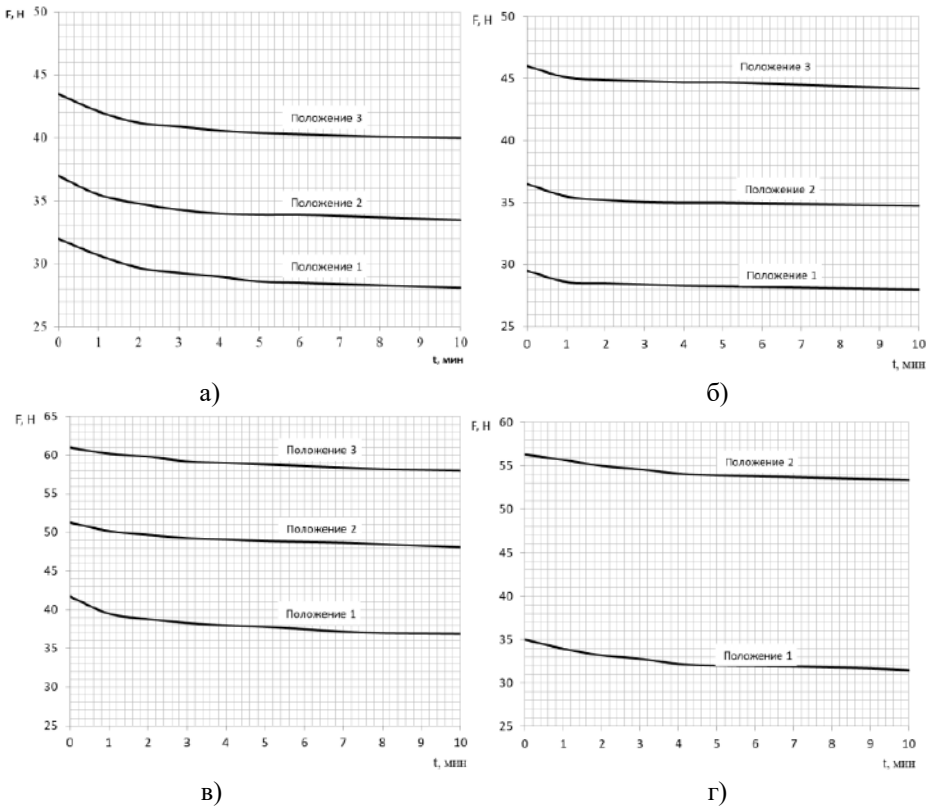
Зарубежные фирмы рекомендуют не проводить технического обслуживания сосковой резины, а менять ее через 2500 доений. Такая технология неизбежно приводит к недоиспользованию ресурса одного из основных расходных материалов на доильной установке.

Срок службы отечественных резин не определен, и она используется, до тех пор, пока не порвется, а это отрицательно сказывается как на процессе доения, так и на здоровье животных.

Материалы и методы. Исследования проведены в лабораторных условиях, а также на молочной ферме АО «Голицыно» Никифоровского района, Тамбовской области. Определение закономерностей изменения натяжения чулка сосковой резины, осуществлялось с помощью установки. Определение основных параметров доильного аппарата осуществлялось с использованием методов и средств приборного контроля: устройство для контроля стабильности вакуума доильной установки (патент РФ № 2153800); устройство для измерения давления сосковой резины на сосок (патент РФ № 2767527) [6-8].

Результаты и их обсуждение.

При назначении регламентов технического обслуживания сосковых резин следует учитывать целый ряд факторов и в частности - значительную релаксацию напряжения при их установке в доильный стакан. Поэтому для учета этого явления были проведены исследования по определению закономерностей изменения натяжения чулка сосковой резины различных моделей во времени, результаты которых представлены на рисунке 1.



а- ДД 00.041А (резина); б – аналог ДД 00.041А (силикон); в – модель 0-513; г – модель 0-528.

Рисунок 1 – Графики релаксации натяжения сосковых резин в доильном стакане при температуре 20 - 22^{o}С.

Из графиков видно, что силиконовая сосковая резина, выполненная с теми же геометрическими параметрами, что и резиновая модель ДД 00.041А характеризуется большей величиной натяжения при одинаковой деформации и сам процесс релаксации проявляется быстрее и в меньшей мере. Для резины модели 0-513 характерно большее усилие натяжения в доильном стакане, чем у резины ДД 00.041А и силиконового аналога. У резины модели 528 диапазон усилий примерно такой же, как у модели 0-513 с учетом конструктивного исполнения. Относительная стабилизация натяжения для резины наступает примерно через 5 минут, для силикона примерно

через 1,5 минуты. Откуда следует, что метод настройки доильных аппаратов по величине растяжения при нагрузке ее массой 6 кг за время 6 с не обладает высокой достоверностью.

Результаты исследования зависимости давления ($Р_д$) новой сосковой резины модели ДД.00.041А при различном натяжении (F) от рабочего вакуума ($Р_р$) представлены на рисунке 2.

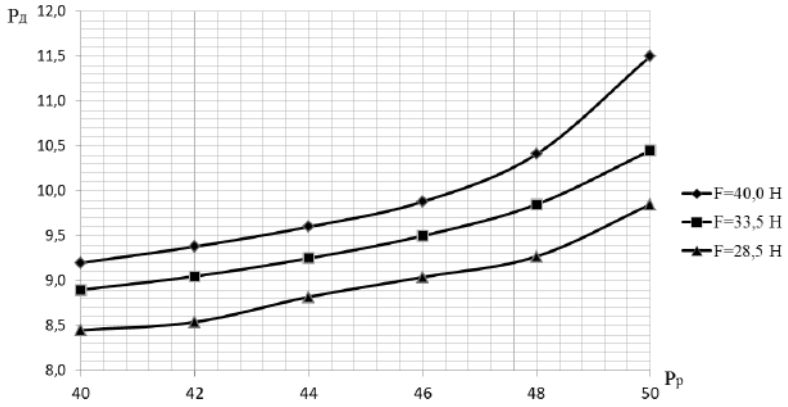


Рисунок 2 – Зависимости давления на сосок сосковой резины модели ДД.00.041А от рабочего вакуума при ее натяжении в доильном стакане

Из рисунка видно, что давление на сосок возрастает с увеличением вакуума и натяжения и носит нелинейный характер. Зависимости давления различных типов сосковых резин на сосок, полученные в результате исследований, показывают, что давление на сосок в процессе эксплуатации может регулироваться как рабочим вакуумом, так и натяжением сосковой резины, при этом диапазон регулировки составляет 35% диапазона допустимых значений.

При исследовании изменения соотношения периодов разомкнутого и замкнутого состояния сосковой резины доильного аппарата в процессе эксплуатации было установлено, что величина рабочего вакуума не оказывает влияния на соотношение тактов пульсаторов типа «Интерпульс» и других аналогичных конструкций (рисунок 3).

Для доильного аппарата фирмы «Интерпульс» с пульсатором LL90 и с соотношением тактов 60:40 изменение относительной длительности такта сосания в процессе эксплуатации для различных моделей сосковых резин представлены на рисунке 4.

Из рисунка видно, что различные модели сосковых резин в процессе эксплуатации обеспечивают различную длительность такта сосания и, следовательно, различную отсасывающую способность доильного аппарата, разница при этом незначительна и составляет около 2%. Изменение относительной длительности такта сосания в процессе эксплуатации также невелико и колеблется в пределах 1-1,5%.

Изменение натяжения сосковых резин различных моделей в процессе эксплуатации представлены на рисунке 5. Из рисунка видно, что снижение натяжения сосковых резин при наработке 2400 короводоек достигает 20%.

Изменение вакуума смыкания сосковых резин различных моделей в процессе эксплуатации представлены на рисунке 6. Снижение вакуума смыкания при наработке 2400 короводоек для представленных сосковых резин весьма существенно и находится в пределах 35 - 40%.

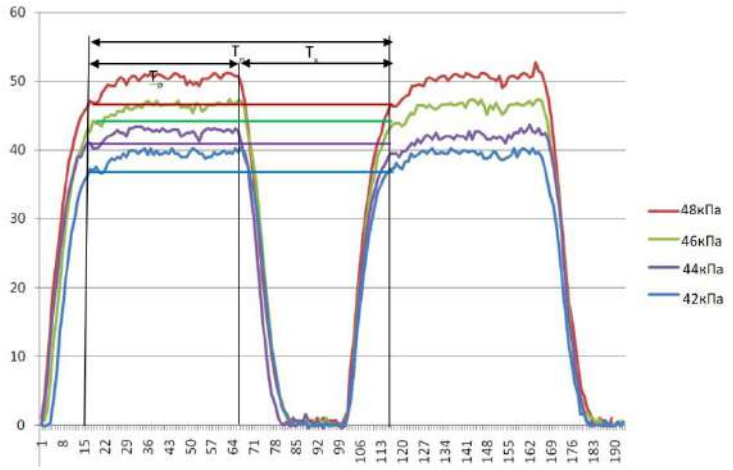


Рисунок 3. - Осциллограмма изменения вакуума в межстенной камере доильного стакана при различных величинах рабочего вакуума

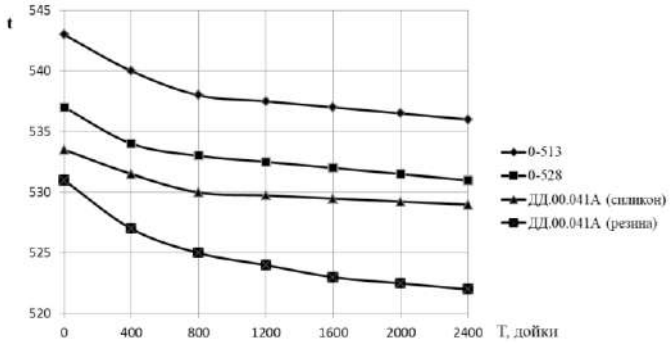


Рисунок 4 – Зависимость относительной длительности такта сосания от наработки разных моделей сосковых резин

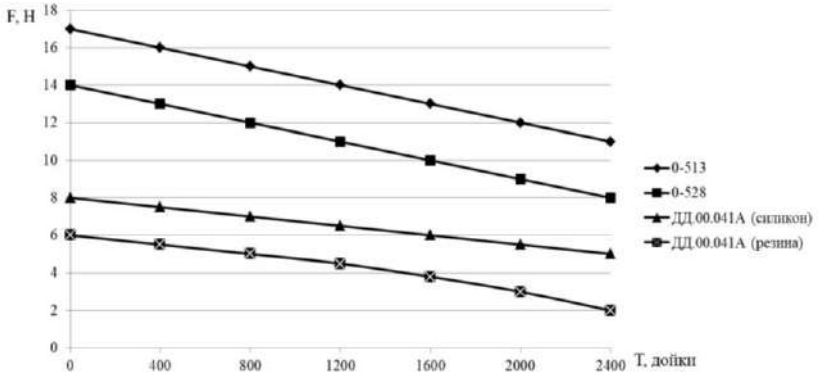


Рисунок 5 – Зависимость натяжения чулка сосковой резины от наработки

Изменение давления сосковых резин на сосок в процессе эксплуатации представлены на рисунке 7. Из рисунка видно, что в пределах наработки 2000 короводоек только модель ДД.00.041А (резина) достигает предельно допустимого значения, для остальных моделей математическое ожидание значения параметра находится в допустимых пределах (таблица 1).

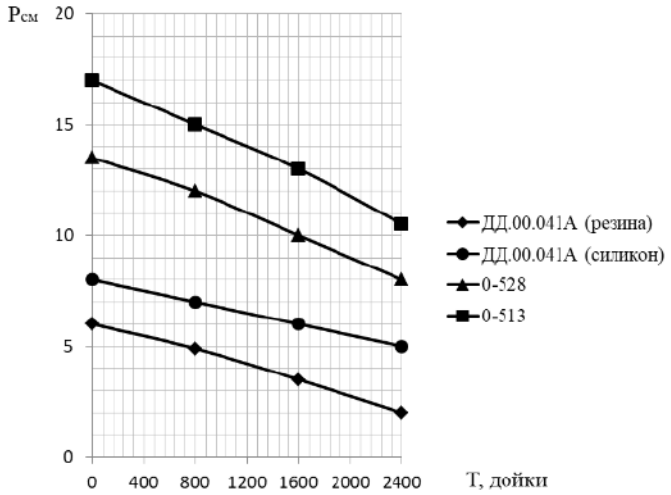


Рисунок 6 – Зависимость вакуума смыкания сосковой резины от наработки

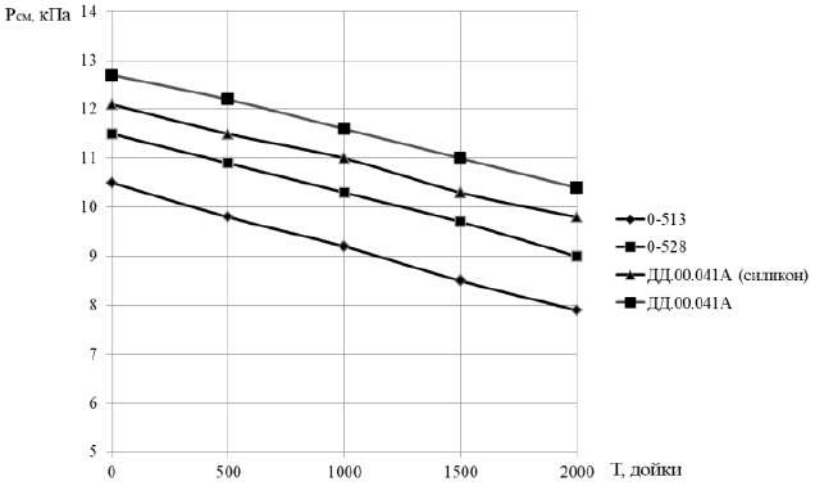


Рисунок 7 – Зависимость давления сосковых резин на сосок от наработки

Однако для принятия решения о периодичности проведения диагностических мероприятий необходимо определить диапазоны варьирования параметра в течение наработки.

Данные таблицы 1 показывают, что математическое ожидание значения параметра с возрастанием наработки снижается и достигает при 2000 короводоек 9,36 кПа, что примерно на 20% ниже начального уровня. Дисперсия при этом остается практически постоянной (0,241 - 0,253).

Исследования изменения величины давления сосковой резины на сосок модели ДД.00.041А в процессе эксплуатации, проведенные в реальных условиях производства в АО Голицыно (рисунок 8) показали что в пределах наработки сосковой резины равной 1200 доек средняя величина давления на сосок нелинейно снижалась с 10,7 до 9,2 кПа и находилась с учетом дисперсии параметра в пределах допуска (8-14кПа).

При достижении наработки 1200 доек на поверхности сосковой резины появились трещины, и она была заменена на резину модели 0/108 производства фирмы De Laval. Эта резина отработала 10 месяцев, что соответствует выполнению примерно 4600 доек и превышает назначенный ресурс

(2500 доек) почти в два раза. Контрольные замеры в течение всей эксплуатации показали, что величина давления сосковой резины на сосок находилась в пределах допуска.

Таблица 1 - Характеристики варьирования параметра в процессе эксплуатации сосковой резины

Наработка, короводоек	X_i	P_i	$X_i P_i$	$P_i(X_i-M)^2$	σ	X_{min}	X_{max}	M	D
0	11,47	0,2	2,294	0,02738	0,244	11,10	12,57	11,84	0,05974
	11,73	0,3	3,519	0,00363					
	12,00	0,4	4,800	0,01024					
	12,27	0,1	1,227	0,01849					
500	10,67	0,1	1,067	0,02540	0,253	10,42	11,93	11,174	0,063386
	10,93	0,2	2,186	0,01191					
	11,20	0,4	4,480	0,00027					
	11,47	0,3	3,441	0,02628					
1000	9,87	0,1	0,987	0,02025	0,241	9,597	11,04	10,32	0,05814
	10,13	0,3	3,039	0,01083					
	10,40	0,4	4,16	0,02560					
	10,67	0,2	2,134	0,02540					
1500	9,33	0,15	1,3955	0,02282	0,246	8,982	10,458	9,72	0,06055
	9,60	0,4	3,84	0,00578					
	9,87	0,3	2,961	0,00675					
	10,13	0,15	1,5195	0,02522					
2000	9,07	0,3	2,721	0,02523	0,251	8,73	9,99	9,36	0,06312
	9,33	0,4	3,732	0,00036					
	9,60	0,2	1,92	0,01152					
	9,87	0,1	0,987	0,02601					

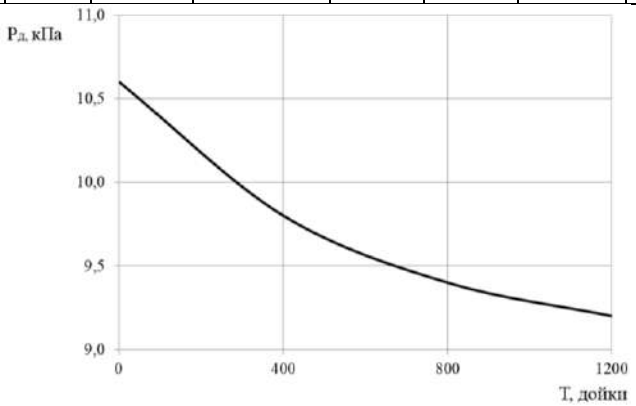


Рисунок 8 - Изменение величины давления сосковой резины на сосок модели ДД.00.041А в процессе эксплуатации.

Выводы. Полученные результаты показали, что сосковые резины могут с успехом эксплуатироваться за пределами назначенного производителем ресурса при условии периодического контроля величины давления на сосок.

Испытания сосковой резины модели 0-528 производства фирмы «Экстрасервис» показали, что она производит давление на сосок при номинальном режиме работы гораздо больше предельно допустимого. Использование этой резины вызвало заболевание гиперкератозом кончика соска примерно у 15% коров. Замена этой резины на модель 503-1 производства фирмы De Laval привела к полному выздоровлению животных.

На основе результатов исследований разработана новая технология диагностики и настройки доильных аппаратов при их эксплуатации, включающая: общие положения; требования к организации рабочего места; правила проведения работ по диагностике и настройке доильных аппаратов; правила безопасности.

Список источников

1. Worstorff H. Zur. Gestaltung von Säug und Entlastungsphase beim maschinellen Milchentzug. - Landtechnik. – 1983. - Ig. 38. - H. 5. – S.203-205.

2. Жилов И.В. Натяжение сосковой резины // Техника в сельском хозяйстве. – 1964. - №3. – С. 31 – 32.

3. Борознин В.А., Борознин А.В. Сосковая резина основной объект диагностирования доильного оборудования. Сборник научных докладов XIII международной научно-практической конференции, Тамбов, 2005, с 295-300

4. Борознин В.А., Борознин А.В. Определение оперативного ресурса сосковой резины. Механизация и электрификация сельского хозяйства, №4, 2007, с. 15-16

5. Техническое обслуживание машин и оборудования молочных ферм. Методические рекомендации. Новосибирск – 1975.

6. Доровских В.И., Доровских Д.В. Исследование релаксации натяжения сосковой резины при ее установке в доильный стакан, НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ, №4, 2017, с. 43-49.

7. Патент РФ № 2153800 МПК МПК A01J 7/00. Устройство для контроля стабильности вакуума доильной установки. / Доровских В.И., Кулаев Ю.В. – опубл. 10.08.2000

8. Патент РФ № 2767527 МПК A01J 7/00. Устройство для измерения давления сосковой давления сосковой резины на сосок. / Доровских В.И., Доровских Д.В., жариков В.С. – опубл. 17.03.2022.

References

1. Worstorff H. Zur. Gestaltung von Säug und Entlastungs phase beim maschinellen Milchentzug. - Landtechnik. - 1983. - Ig. 38. - H. 5. - S.203-205.

2. Zhilov I.V. Teat rubber tension // Technique in agriculture. - 1964. - No. 3. - S. 31 - 32.

3. Boroznin V.A., Boroznin A.V. Teat rubber is the main object of diagnostics of milking equipment. Collection of scientific reports of the XIII international scientific-practical conference, Tambov, 2005, pp. 295-300

4. Boroznin V.A., Boroznin A.V. Determination of the operating resource of the teat rubber. Mechanization and electrification of agriculture, No. 4, 2007, p. 15-16

5. Maintenance of machines and equipment of dairy farms. Guidelines. Novosibirsk - 1975.

6. Dorovskikh V.I., Dorovskikh D.V. The study of the tension relaxation of the teat rubber when it is installed in the milking cup, SCIENCE IN CENTRAL RUSSIA, No. 4, 2017, p. 43-49.

7. RF patent No. 2153800 IPC IPC A01J 7/00. Device for monitoring the stability of the vacuum of the milking machine. / Dorovskikh V.I., Kulaev Yu.V. - publ. 08/10/2000

8. RF patent No. 2767527 IPC A01J 7/00. A device for measuring the pressure of the nipple pressure of the liner on the nipple. / Dorovskikh V.I., Dorovskikh D.V., Zharikov V.S. - publ. 03/17/2022.

Информация об авторах

В. И. Доровских – кандидат технических наук, доцент; С.М. Ведищев – доктор технических наук, профессор; В.С. Жариков – младший научный сотрудник

Information about the authors

V. Dorovskikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; S. Vedishchev – Full Doctor of Technical Sciences, Professor V. Zharikov - younger scientific employee.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 25.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.363.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-43-52

ТЕХНОЛОГИЯ СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОРМА

Игорь Евгеньевич Припоров [1]

[1]*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Краснодарский край, Россия*
[1]i.priporov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8201-2819

Реферат. *Технологическая модернизация животноводства требует производства полнорационных комбинированных кормов. Основной задачей развития животноводства является устойчивое производство кормовых смесей с использованием высокоэффективных ресурсосберегающих машин и технологий. Было выявлено, что недостатком способа смешивания сыпучих материалов является отсутствие анализа качества компонентов кормов. Для устранения данных недостатков было разработано устройство для смешивания компонентов корма. В разработанной технологии смешивания кормов за счет конструктивных особенностей при наличии мультимедийного устройства достигается повышенная точность оценки качества и характера смешивания корма. При наличии в технологии помимо мультимедийного устройства персонального компьютера с программным обеспечением Mathcad обеспечивается однородность полученного корма в реальном времени. Для получения однородной смеси корма необходимо добиться следующих рациональных параметров, которые составляют* υ *= 1,82м/с, P = 1,39 МПа, t = 9,47мин при степени однородности 89,4%..*

Ключевые слова: *белковый корм, смеситель, жмых подсолнечный, мультимедийное устройство, персональный компьютер, крапан-распредитель.*

TECHNOLOGY OF MIXING FEED COMPONENTS

Igor Priporov [1]

[1]*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin Crops, Krasnodar, Krasnodar region, Russian Federation*
[1]i.priporov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-8201-2819

Abstract. *In our country, animal husbandry needs technological modernization due to the fact that with a large amount of resources, it does not meet the needs of the country's population for animal products, since their import exceeds 40% of annual consumption. With such imports, per capita consumption of these products is not included according to medical standards. In order to realize the task of restoring and developing its production, it is necessary to feed with full-fledged feed mixtures. To increase the productivity of farm animals, high-quality full-fledged feeds are needed, which are satisfied by combined ones. The productivity of them and poultry by 50-60% depends on the quality of its consumption. A promising direction for improving the efficiency of animal husbandry should be a balanced diet with bulk feed mixtures, as well as high-quality compound feeds in farms. If the diets are unbalanced by biologically active substances, it causes metabolic disorders in animals, which is accompanied by morbidity. The main task of animal husbandry development is dominated by their sustainable production with highly efficient resource-saving machines and technologies. The disadvantage of the method of mixing bulk materials is the lack of analysis of the quality of feed components. To eliminate these shortcomings, a device for mixing feed components was developed, which is described by the device and the principle of its operation. In the developed feed mixing technology, due to the design features in the presence of a multimedia device, an increased accuracy in assessing the quality and nature of feed mixing is achieved. If the technology has a personal computer with Mathcad*

software in addition to a multimedia device, the uniformity of the received feed in real time is ensured. To obtain a homogeneous feed mixture, it is necessary to achieve the following rational parameters, which are υ = 1.82 m / s, P = 1.39 MPa, t = 9.47 min with a degree of uniformity of 89.4%.

Keywords: *protein feed, mixer, sunflower cake, multimedia device, personal computer, krapan distributor.*

Для цитирования: Приворов И.Е. Технология смешивания компонентов корма // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 43-52. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-43-52.

For citation: Priporov I. Technology of mixing feed components // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 43-52. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-43-52.

Введение. Производство продукции животноводства, рациональное кормление животных и производственных групп имеют физиологическое, хозяйственное и экономическое значения. Состав и качество рационов влияют на здоровье животных, их рост и развитие, параметры производительности, на физическую работоспособность и др. Для достижения зоотехнического и экономического эффекта на основе кормления животных, необходимо произвести сбалансирование между составом и питательностью рационов для конкретной производительности [1-3].

В нашей стране животноводство не удовлетворяет потребности населения по продуктам животного происхождения, их импорт составляет более 40% от годового потребления. Требуется технологическая модернизация животноводства за счет внедрения современных ресурсосберегающих технологий. Эффективность технологий в животноводстве определяется генетическим потенциалом используемых животных; качеством получаемой продукции (мясо. молоко и др.); качеством машин, оборудования, энергии; удельными затратами и качеством кормов. Продуктивность животноводства на 50-60% зависит от качества кормов [4, 5]. Для сельскохозяйственных предприятий качество кормов актуально. Они приводят наибольшим финансовым потокам в структуре себестоимости ее продукции и птицеводства. Сегодня усиливается контроль готовой животноводческой продукции и кормов, а также сырья, которое входит в их состав [6, 7, 8].

С кормами связаны многие проблемы в животноводстве: недостаток хранилищ для грубых и сочных кормов; недостаток или перерасход кормов; чистка кормущек, раздельное использование отдельных компонентов рациона (сено, комбикорма, силос и др.); недостаток современных эффективных средств механизации; несоблюдение требований к подготовке кормов и др. В качестве качественных полнорационных кормов привлекательны комбинированные [9,10]. Необходимо сбалансированное по биологически активным веществам питание животных сыпучими кормовыми смесями, а также комбикормами высокого качества в хозяйствах. Отсутствие такого питания приводит к нарушениям обмена веществ животных, вызывает различные болезни [11-13].

Премиксы и белково-витаминно-минеральные добавки в хозяйствах часто неэффективны из-за неправильного смешивания и дозирования [14]. Ученые зарубежья проводят исследования по кормлению животных, в результате которых отмечается их положительный эффект при подготовке кормов [15-19] и особенно полнорационными кормами [15,20].

Очевидна необходимость хорошей централизованной кормовой базы для любого животноводческого предприятия, способной обеспечить снабжать фермы качественными кормами.

Но наряду с этим важна подготовка кормов децентрализовано непосредственно перед кормлением животных. С целью экономии многие предприятия малых форм хозяйствующих субъектов приготавливают корма сами с помощью небольших комплексов, способных выполнять различные технологические операции. Применение кормов, приготовленных в условиях хозяйства

на животноводческих предприятиях, снижает вероятность приобретения продукта плохого качества и сокращает затраты на транспортирование корма, хранение и приготовление [21,22].

Материалы и методы. Для эффективного производства кормовых смесей в животноводстве необходимо смешивание компонентов корма. При этом производительность и однородность их смешивания зависит от конструктивных параметров смесителей и режимов их работы. Проведенные исследования подтвердили, что большинство разработанных смесителей являются циклическими, которые наиболее предпочтительнее по сравнению с другими. Однако с течением времени изменяются зоотехнические требования по смешиванию сухих и жидких компонентов в кормосмесях и по этой причине необходимо произвести усовершенствование конструктивных и технологических их параметров [23-26].

Смешивание их осуществляется в кормосмесителях, которые обеспечивают высокую однородность смеси по питательности корма. Сыпучие корма в серийных смесителях не обеспечивают зоотехнические требования по качеству смеси [27].

Известен способ их смешивания и выдачи кормов, согласно [28], который включает загрузку его компонентов в емкость на транспортер с формированием слоя монолита по объему. Далее отделение порций его компонентов с торца монолита за счет подачи его в емкость счесывающему рабочему органу и сбрасывание их на поперечный транспортер с перераспределением между собой компонентов корма.

Недостатком способа является отсутствие анализа качества компонентов кормов.

Известен способ смешивания сыпучих материалов, согласно [29], который включает следующие технологические операции: подача смешиваемых компонентов в камеру смешивания, основной компонент подают в нее псевдосжиженным потоком, а частицы вводимых компонентов поступают под прямым углом к направлению движения его и с разной скоростью движения.Недостатком способа является отсутствие анализа качества компонентов корма, которые поступают в камеру смешивания.

Для устранения данных недостатков в Кубанском ГАУ имени И.Т. Трубилина было разработано устройство для смешивания компонентов корма (рисунок 1), на который получен патент [30]. Устройство для реализации способа смешивания компонентов корма, содержит накопительную емкость 1, горизонтально размещенным под ней с зазором приемным транспортером 2, питатель с распределителем 3. Также устройство имеет анализатор 4 качества корма, компрессор 5, электронный блок 6 управления, персональный компьютер 7, мультимедийное устройство 8, приемную емкость 9 для смешанного корма с клапаном-распределителем 10, емкость 11 для дополнительного смешивания корма, емкость 12 готового корма. Анализатор 4 качества корма расположен над питателем с распределителем 3, выполненный в виде единого узла, расположенном над накопительной емкостью 1 и соединен с емкостью 11 для дополнительного смешивания корма. Накопительная емкость 1 соединена с компрессором 5. Компрессор 5 соединен с электронным блоком 6 управления. Дно накопительной емкости 1 выполнено в виде жалюзийной решетки с приводом (на рисунке 1 не показано) и соединено с электронным блоком 6 управления. Мультимедийное устройство 8 расположено над приемным транспортером 2 и соединено с персональным компьютером 7. Персональный компьютер 7 соединен с клапаном-распределителем 10 приемной емкости 9 для смешанного корма, расположенный над входом емкости 11 для дополнительного смешивания корма. Выход емкости 11 для дополнительного смешивания корма соединен со входом емкости 12 готового корма. Питатель с распределителем 3 имеет отводящие каналы, соединенные с накопительной емкостью 1, крайние из которых выполнены по форме параболы, а центральный имеет прямоточную цилиндрическую форму. Привод имеет шаговый двигатель для регулирования открытия и закрытия жалюзи решетки накопительной емкости 1.

Способ смешивания компонентов корма осуществляется следующим образом. Предварительно компоненты корма поступают в анализатор 4 его качества, если корм недостаточно очищен, то его направляют на дополнительную очистку, осуществляемой известным способом, который приведен в Патенте № 2 636 480. Затем компоненты корма поступают в питатель с распределителем 3 через отводящие каналы 13 в накопительную емкость 1. Продольное расположение компонентов кормов внутри накопительной емкости, поступающие самотеком

через ее открытое дно с укладкой слоев на приемный транспортер 2. Во время смешивания в накопительной емкости 1 подают под давлением не более 2МПа и в течение 5-10 минут воздушную струю в нижнюю часть сбоку накопительной емкости для создания псевдожиженного состояния компонентов корма и после смешивания контролируют качество перемешивания компонентов корма.

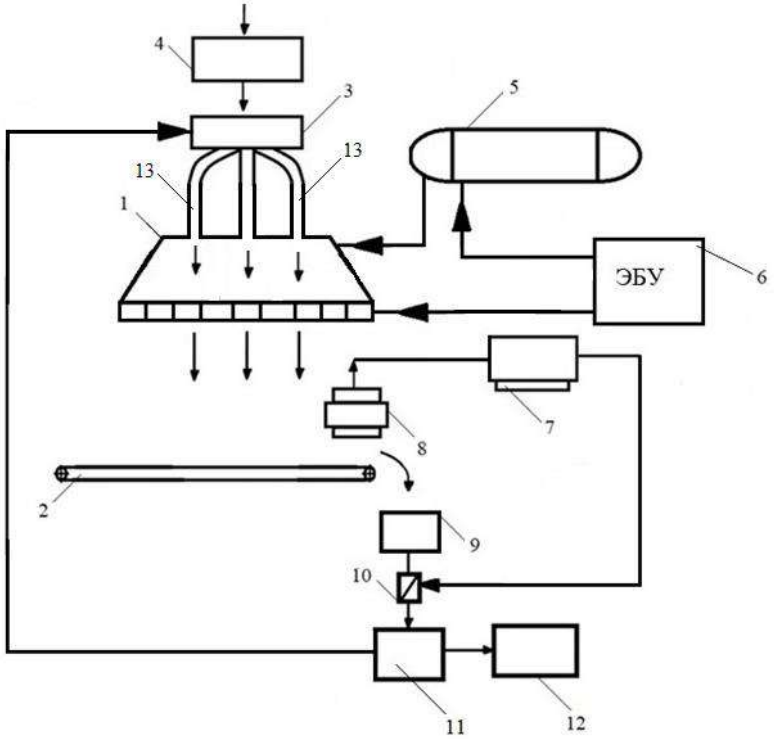


Рисунок 1 – Устройство для реализации способа смешивания компонентов корма – общий вид (патент №2769725 РФ)

Если давление в компрессоре будет больше 2 МПа, то будут происходить скачки давления внутри него на разницу между начальным и конечным давлением. Если меньше 2 МПа, то не будет поддерживать компоненты корма в псевдожиженном состоянии и приведет неоднородности.

Если время будет меньше указанного диапазона (5-10 минут) то компоненты корма не успеют перемешаться и не полученный корм неоднородный.

Если больше 10 минут, то компоненты корма при смешивании будут травмироваться что приведет к несоответствию корма зоотехническим требованиям.

Далее через открытое жалюзи дно накопительной емкости 1, корм поступает на приемный транспортер 2. После поступления корма на приемный транспортер 2 жалюзи дно в накопительной емкости 1 закрывается и включается приемный транспортер 2.

Приемный транспортер 2 подает смешанный корм в емкость 9 для его смешивания. Персональный компьютер 7 подает сигнал клапану-распределителю 10 и через емкость 11 для дополнительного смешивания корм поступает в емкость 12 готового корма.

Для контроля качества однородности смешивания корма с помощью мультимедийного устройства 8 получают изображение смешанного корма. Далее это изображение подают на компьютерную обработку с программным обеспечением Mathcad для определения качества однородности смешивания соответствующее зоотехническим требованиям на смешивание.

Если после смешивания корм не соответствует зоотехническим требованиям на смешивание, то он поступает через емкость 11 для дополнительного смешивания корма в питатель с

распределителем 3 и процесс повторяется до соответствия корма зоотехническим требованиям на смешивание.

Для проверки однородности смешивания в разработанной установке исходя из проведенного анализа литературной информации был проведен многофакторный план Бокса-Бенкина по методике, приведенной в работе [31].

Факторы и уровни варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы и уровни варьирования

Факторы	Значение фактора			Интервал варьирования
	+1	0	–1	
Скорость воздушного потока (x_1), м/с	3	2	1	1
Давление, создаваемое компрессором (x_2), МПа	2	1,5	1	0,5
Время смешивания (x_3), мин.	10	8	6	2

В качестве критерия оптимизации была выбрана степень однородности смешивания компонентов корма. Согласно зоотехническим требованиям на смешивание компонентов корма, например концентрированных степень однородности смешивания находится в пределах 85 – 95% [32].

Результаты исследований. После проведения многофакторного эксперимента было получено уравнение регрессии в:

- кодированном виде

$$y = 89{,}05 + 0{,}602x_1 - 1{,}2x_2 + 0{,}691x_3 - 4{,}125x_{12} - 0{,}874x_{13} - 0{,}375x_{23} + 2{,}437x_1^2 - 1{,}5625x_2^2 - 0{,}64x_3^2, \quad (1)$$

где y – степень однородности смешивания компонентов корма, %.

Знаки перед b_i в уравнении (1) указывают на то, что изменение x_i вызывает увеличение («+») или уменьшение («–») степени однородности смешивания. Величина коэффициентов парных взаимодействий b_{ij} говорит о том, что действие одного из рассматриваемых факторов зависит от уровня фактора, так как b_{ij} имеет отрицательный знак, то степень однородности смешивания уменьшается в тех случаях, когда оба фактора x_i и x_j находятся на нижних уровнях. Анализируя коэффициенты b_i уравнения регрессии, можно сделать вывод, что наибольшее влияние [31] на степень однородности смешивания оказывает давление, создаваемое компрессором (коэффициент регрессии 1,2), затем – время смешивания (коэффициент регрессии 0,691) и в меньшей мере – скорость воздушного потока (коэффициент регрессии 0,602).

Подсчет коэффициентов канонического уравнения показал, что B_1 = 2,437; B_2 = –1,599; B_3 = –0,603.

Уравнение в канонической форме будет

$$Y - 89{,}38 = 2{,}437X_1^2 - 1{,}599X_2^2 - 0{,}603X_3^2. \quad (2)$$

После подстановки в уравнение (2) разных значений критерия оптимизации получили уравнения второй степени в стандартной форме, с помощью которых построены поверхности отклика [31] (рисунки 2-4).

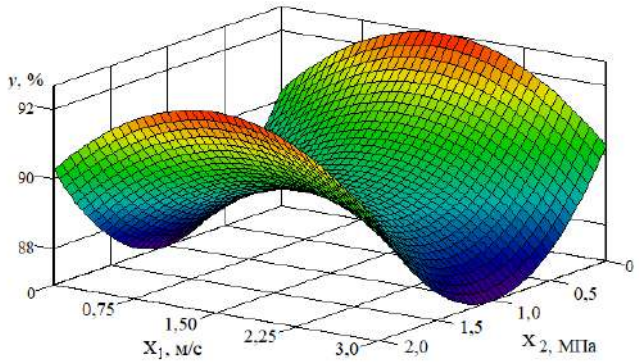


Рисунок 2 – Зависимость степени однородности смешивания компонентов корма от скорости воздушного потока и давления, создаваемого компрессором

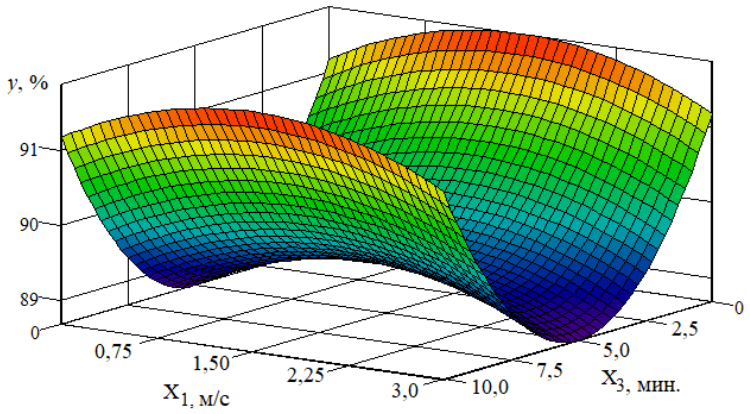


Рисунок 3 – Зависимость степени однородности смешивания компонентов корма от скорости воздушного потока и времени смешивания

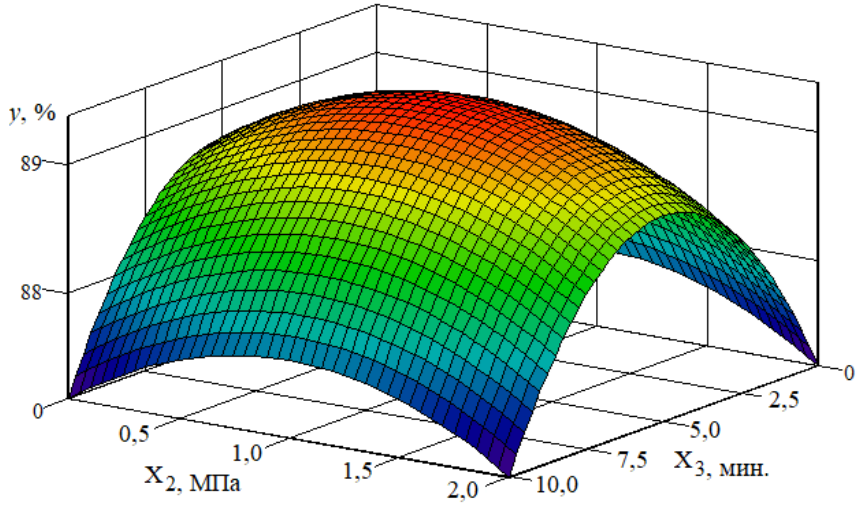


Рисунок 4 – Зависимость степени однородности смешивания компонентов корма от давления, создаваемого компрессором и времени смешивания

Рассмотрение двумерного сечения показывает, что совместное взаимодействие факторов (x_1 и x_2), (x_1 и x_3), (x_2 и x_3) в области эксперимента имеет экстремум по показателю [29] степени

однородности смешивания компонентов корма в точке $\lambda = 89{,}4\%$ при значении факторов соответственно υ = 1,82м/с, *P* = 1,39 МПа, t = 9,47мин.

Выводы. В разработанной технологии смешивания кормов за счет конструктивных особенностей при наличии мультимедийного устройства достигается повышенная точность оценки качества и характера смешивания корма

При наличии в технологии помимо мультимедийного устройства персонального компьютера с программным обеспечением Mathcad обеспечивается однородность полученного корма в реальном времени.

Для получения однородной смеси корма необходимо добиться следующих рациональных параметров, которые составляют υ = 1,82м/с, *P* = 1,39 МПа, t = 9,47мин при степени однородности 89,4%.

Список источников

1. Опара В.А., Корж О.В., Попсуй В.В. Упрощенный способ определения качества смешивания компонентов комбикормов в производственных условиях // Селекция на современных популяциях отечественного молочного скота как основа импортозамещения животноводческой продукции: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 351-357.

2. Подобед Л.И. Настоящий комбикорм и где его готовят в Украине. В: Предложение. 2009, № 7, с. 112-115.

3. Проваторов Г.В., Проваторова В.О. Кормление сельскохозяйственных животных. Суммы, 2004. 510 с.

4. Neue Technologien Viehf1. Ütterung // Profi 2011. №3. С. 102–104.

5. Mischwagen aus Siloking Duo Avant// Profi 2009. №3. с. 58–60.

6. Єгоров Б.В., Макаринська А.В., Ворона Н.В. Особенности технологии производства высоко однородных кормовых добавок. В: Зернове продукты и комбикорма. 2014, № 2 (54), с. 37-40.

7. Крохина В.А., Калашников А.П., Фисинин В.И. и др. Комбикорма, кормовое добавки и ЗЦМ для животных (состав и применение): Справочник. Москва: Агропромиздат, 1990. 304 с.

8. Николаев В.Н., Зязев Е.В., Судаков К.В. Разработка аэродинамического смесителя сыпучих кормов // АПК России. 2021. Т. 28. № 2. С. 236-241.

9. Хольшев Н.В., Ведищев С.М., Милюков Н.О. и др. Разработка технологического процесса и устройства для смешивания сухих рассыпных кормосмесей // Вестник ВНИИМЖ. 2015. №4 (20). С. 167-172.

10. Коновалов В.В., Чупшев А.В., Фомина М.В. Результаты исследований смесителя сухих кормов // Вестник ВНИИМЖ. 2016. №4(24). С. 103-106.

11. Сергеев Н.С., Николаев В.Н., Гайнуллин Э.Н. Обоснование параметров вибрационного смесителя сыпучих кормов с активными перемешивающими элементами // Достижения науки и техники АПК. 2014. Т.28. №12. С. 57-59.

12. Сыроватка В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2010. 248с.

13. Васильев С.Н., Сечевой А.И. Обоснование энергосберегающей системы производства премиксов в условиях коллективных и фермерских хозяйств // Вестник АГАУ. 2007. №9. С. 52–54.

14. Сергеев Н.С., Николаев В.Н., Зязев Е.В. и др. Технология и технические средства для приготовления сыпучих кормовых смесей на базе аэродинамического смесителя // Известия Оренбургского ГАУ. 2014. № 6(50). С. 64-67.

15. Булатов С.Ю., Воронов Е.В., Шамин А.Е., Сергеев А.Г. Оценка равномерности распределения премиксов в полнорационных кормах при их подготовке в смесителях // Пермский аграрный вестник. 2019. № 3 (27). С. 4-12.

16. Nikkhah Akbar. Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2012 Vol. 3 (1). P. 22. DOI 10.1186/2049-1891-3-22.

17. Nikkhah A. Optimizing barley grain use by dairy cows: A betterment of current perceptions // Progress in Food Science and Technology. 2011. Vol. 1. P. 165-178.

18. Processing oats grain for cull cows finished in feedlot processamento do grão de aveia para alimentação de vacas de descarte terminadas em confinamento / J. Restle [et al.] // Ciência Animal Brasileira. 2009. Vol. 10 (2). P. 497-503.

19. Feed uses for barley / JL Black [et al.] // Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium. 2005. Hobart, Tasmania.

20. Передня В.И. Механизация приготовления полноценных кормосмесей на поточных линиях для эффективного использования кормов на скотоводческих фермах: дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1984. 373 с.

21. Чупшев А.В. Обоснование перспективной операционной схемы приготовления комбикормов-концентратов в условиях животноводческих предприятий // Нива Поволжья. 2021. № 3 (60). С. 135-141.

22. Винницки С., Романюк В., Савиных П.А., Скоркин В.К. Совершенствование технологии кормления высокопродуктивных коров. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства, 2019, № 3 (35), с. 147-151.

23. Фомичев М.А., Морозов В.В., Игнатенков В.Г., Аржанкова Ю.В. Повышение эффективности смешивания кормовых смесей // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сборник докладов XV Международной научно-практической конференции. Великие Луки, 2020. С. 149-154.

24. Афанасьев В.А. Проектирование, конструирование и разработка современного оборудования для комбикормовых предприятий [Текст] / В.А. Афанасьев, О.В. Денисов, А.А. Киселев // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационное развитие техники пищевых технологий». – Воронеж, 2015. – С. 220–224.

25. Морозов В.В., Савельева Л.Н. Сапропель – природный ресурс органического сырья для производства сапропеле-минеральных удобрений / Известия ВСГХА. – 2015. – №1. – С. 41-45

26. Шевцов А.А. Автоматическая оптимизация технологии приготовления комбикормов [Текст] / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, Е.С. Шенцова, О.П. Коломникова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006. – № 4. – С.

27. Яцунов А.Н., Сабиев У.К., Черняков А.В. Экспериментальные исследования процесса смешивания сыпучих кормов // Вестник ОмГАУ. 2016. № 4 (24). С. 193-198.

28. А.с. 1639549 СССР: А01 К 5/00. Способ смешивания и выдачи кормов / Доценко С.М.; заявитель и патентообладатель Благовещенский сельхозинститут. – № 4674968/15; заявл. 11.04.89; опубл. 07.04.91. Бюл. №13.

29. Патент № 2299092 РФ: МПК B01F7/16. Способ смешивания сыпучих материалов и устройство для его осуществления / Бойко И.Г., Науменко А.А., Семенцов В.И., Ужик В.Ф.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО "Белгородская государственная сельскохозяйственная академия". – № 2005135536/15; заявл. 15.11.2005; опубл. 20.05.2007. Бюл. №14.

30. Патент № 2769725 Российская Федерация: МПК A23N 17/00, A23K 10/00. Способ смешивания кормов / И.Е. Припоров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина». – № 2021116551; заявл. 07.06.2021; опубл. 05.04.2022. Бюл. №10.

31. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов, Ленинград: Колос, 1980. 168 с.

32. Опара В.А., Корж О.В., Попсуй В.В. Упрощенный способ определения качества смешивания компонентов комбикормов в производственных условиях // Селекция на соврем. популяциях отечеств. молоч. скота как основа импортозамещения животновод. продукции / Белгор. федер. аграр. науч. центр. – Белгород, 2018. - С. 351-357.

References

1. Opara V.A., Korzh O.V., Popsuj V.V. Uproshchennyj sposob opredeleniya kachestva smeshivaniya komponentov kombikormov v proizvodstvennyh usloviyah // Selekciya na sovremennyh populyaciyah otechestvennogo molochnogo skota kak osnova importozameshcheniya zhivotnovodcheskoj produkcii: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. 2018. S. 351-357.

2. Podobed L.I. Nastoyashchij kombikorm i gde ego gotovyat v Ukraine. V: Predlozhenie. 2009, № 7, s. 112-115.

3. Provatorov G.V., Provatorova V.O. Kormlenie sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh. Summy, 2004. 510 s.

4. Hol'shev N.V., Vedishchev S.M., Milyukov N.O. i dr. Razrabotka tekhnologicheskogo processa i ustrojstva dlya smeshivaniya suhih rassypnyh kormosmesej // Vestnik VNIIMZH. 2015. №4 (20). S. 167-172.

5. Konovalov V.V., CHupshev A.V., Fomina M.V. Rezul'taty issledovanij smesitelya suhih kormov // Vestnik VNIIMZH. 2016. №4(24). S. 103-106.

6. Neue Technologien Viehf1. Ütterung // Profi 2011. №3. S. 102–104.

7. Mischwagen aus Siloking Duo Avant// Profi 2009. №3. s. 58–60.

8. Sergeev N.S., Nikolaev V.N., Gajnullin E.N. Obosnovanie parametrov vibracionnogo smesitelya sypuchih kormov s aktivnymi peremeshivayushchimi elementami // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2014. T.28. №12. S. 57-59.

9. Syrovatka V.I. Mashinnye tekhnologii prigotovleniya kombikormov v hozyajstvah. M.: GNU VNIIMZH, 2010. 248s.

10. Vasil'ev S.N., Sechevoj A.I. Obosnovanie energosberegayushchej sistemy proizvodstva premiksov v usloviyah kollektivnyh i fermerskih hozyajstv // Vestnik AGAU. 2007. №9. S. 52–54.

11. Sergeev N.S., Nikolaev V.N., Zyazev E.V. i dr. Tekhnologiya i tekhnicheskie sredstva dlya prigotovleniya sypuchih kormovyh smesej na baze aerodinamicheskogo smesitelya // Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2014. № 6(50). S. 64-67.

12. Єgorov B.V., Makarins'ka A.V., Vorona N.V. Osobennosti tekhnologii proizvodstva vysoko odnorodnyh kormovyh dobavok. V: Zernove produkty i kombikorma. 2014, № 2 (54), s. 37-40.

13. Krohina V.A., Kalashnikov A.P., Fisinin V.I. i dr. Kombikorma, kormovoe dobavki i ZCM dlya zhivotnyh (sostav i primenenie): Spravochnik. Moskva: Agropromizdat, 1990. 304 s.

14. Nikolaev V.N., Zyazev E.V., Sudakov K.V. Razrabotka aerodinamicheskogo smesitelya sypuchih kormov // APK Rossii. 2021. T. 28. № 2. S. 236-241.

15. Bulatov S.YU., Voronov E.V., SHamin A.E., Sergeev A.G. Ocenka ravnomernosti raspredeleniya premiksov v polnoracionnyh kormah pri ih podgotovke v smesitelyah // Permskij agrarnyj vestnik. 2019. № 3 (27). S. 4-12.

16. Nikkhah Akbar. Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2012 Vol. 3 (1). R. 22. DOI 10.1186/2049-1891-3-22.

17. Nikkhah A. Optimizing barley grain use by dairy cows: A betterment of current perceptions // Progress in Food Science and Technology. 2011. Vol. 1. R. 165-178.

18. Processing oats grain for cull cows finished in feedlot processamento do grão de aveia para alimentação de vacas de descarte terminadas em confinamento / J. Restle [et al.] // Ciência Animal Brasileira. 2009. Vol. 10 (2). R. 497-503.

19. Feed uses for barley / JL Black [et al.] // Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium. 2005. Hobart, Tasmania.

20. Perednya V.I. Mekhanizaciya prigotovleniya polnocennyh kormosmesej na potochnyh liniyah dlya effektivnogo ispol'zovaniya kormov na skotovodcheskih fermah: dis. ... d-pa tekhn. nauk. Minsk, 1984. 373 s.

21. CHupshev A.V. Obosnovanie perspektivnoj operacionnoj skhemy prigotovleniya kombikormov-koncentratov v usloviyah zhivotnovodcheskih predpriyatij // Niva Povolzh'ya. 2021. № 3 (60). S. 135-141.

22. Vinnicki S., Romanyuk V., Savinyh P.A., Skorkin V.K. Sovershenstvovanie tekhnologii kormleniya vysokoproduktivnyh korov. Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva, 2019, № 3 (35), s. 147-151.

23. Fomichev M.A., Morozov V.V., Ignatenkov V.G., Arzhankova YU.V. Povyshenie effektivnosti smeshivaniya kormovyh smesej // Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve: sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Velikie Luki, 2020. S. 149-154.

24. Afanas'ev V.A. Proektirovanie, konstruirovanie i razrabotka sovremennogo oborudovaniya dlya kombikormovyh predpriyatij [Tekst] / V.A. Afanas'ev, O.V. Denisov, A.A. Kiselev // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Innovacionnoe razvitie tekhniki pishchevyh tekhnologij». – Voronezh, 2015. – S. 220–224.

25. Morozov V.V., Savel'eva L.N. Sapropel' – prirodnyj resurs organicheskogo syr'ya dlya proizvodstva sapropele-mineral'nyh udobrenij / Izvestiya VSGHA. – 2015. – №1. – S. 41-45

26. SHevcov A.A. Avtomaticheskaya optimizaciya tekhnologii prigotovleniya kombikormov [Tekst] / A.A. SHevcov, L.I. Lytkina, E.S. SHencova, O.P. Kolomnikova // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. – 2006. – № 4. – S.

27. YAcunov A.N., Sabiev U.K., Chernyakov A.V. Eksperimental'nye issledovaniya processa smeshivaniya sypuchih kormov // Vestnik OmGAU. 2016. № 4 (24). S. 193-198.

28. A.s. 1639549 SSSR: A01 K 5/00. Sposob smeshivaniya i vydachi kormov / Docenko S.M.; zayavitel' i patentoobladatel' Blagoveshchenskij sel'hozinstitut. – № 4674968/15; zayavl. 11.04.89; opubl. 07.04.91. Byul. №13.

29. Patent № 2299092 RF: MPK B01F7/16. Sposob smeshivaniya sypuchih materialov i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / Bojko I.G., Naumenko A.A., Semencov V.I., Uzhik V.F.; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO "Belgorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya". – № 2005135536/15; zayavl. 15.11.2005; opubl. 20.05.2007. Byul. №14.

30. Patent 2769725 Rossijskaya Federaciya: MPK A23N 17/00, A23K 10/00. Sposob smeshivaniya kormov / I.E. Priporov; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina». – № 2021116551; zayavl. 07.06.2021; opubl. 05.04.2022. Byul. №10..

31. Mel'nikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. Planirovanie eksperimenta v issledovaniyah sel'skohozyajstvennyh processov, Leningrad: Kolos, 1980. 168 s.

32. Opara V.A., Korzh O.V., Popsuj V.V. Uproshchennyj sposob opredeleniya kachestva smeshivaniya komponentov kombikormov v proizvodstvennyh usloviyah // Selekciya na sovrem. populyaciyah otechestv. moloch. skota kak osnova importozameshcheniya zhivotnovod. produkcii / Belgor. feder. agrar. nauch. centr. – Belgorod, 2018. - S. 351-357.

Информация об авторах

И.Е. Припоров – кандидат технических наук, доцент ВАК.

Information about the authors

I. Priporov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Higher Attestation Commission.

Поступила в редакцию (Received): 27.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 29.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.358: 633.521
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-53-61

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛЬНОТРЕСТЫ

Михаил Геннадьевич Перов [1]
[1]*Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь. Россия*
[1]mexanikuspost@yandex.ru

Реферат. *Представлены результаты анализа состояния и пути повышения качества льнотресты. В качестве объектов исследования выбрана неоднородность ленты льна и ее структурные параметры. Приведен анализ причин образования неоднородности льнотресты и направления ее уменьшения. Показано, что показатели ее качества являются комплексными и образуются на двух этапах развития культуры: возделывания льна, а затем в процессе ее уборки. Механическое воздействие рабочих органов льноуборочных машин приводит к увеличению неоднородности льносырья. Так, на этапе теребления, вытеребленные ленты льна характеризуются растянутостью стеблей в ленте ($Р_л$=1,14 раз), что на 0,02% больше ярусности стеблестоя (1,12 раз), угол отклонения стеблей в ленте составит $\alpha_л$=9,73°, неравномерность расстила ленты будет Нр=23,1%. Все эти показатели являются исходными, так как при выполнении последующих операций по приготовлению льнотресты происходит их увеличение в сравнении с исходными. Пассивным экспериментом получены адекватные эксперименту регрессионные модели зависимости растянутости стеблей в ленте $Р_л$, раз (1), угла их отклонения в ленте $\alpha_л$, град. (2), и неравномерности расстила ленты $Н_р$, % (3) от этапа выполненной уборочной операции $Э_у$ ($Э_у$=2; 3; 4; 5), которые могут быть использованы при экспресс оценке качества выполняемой технологической операции и неоднородности льнотресты. Для снижения отрицательного воздействия рабочих органов уборочных машин на стебли необходимо проводить уборочные работы в агротехнические сроки и эксплуатировать агрегаты на оптимальных технологических режимах. Наиболее эффективно направление повышения качества льнотресты, заключающееся в разработке принципиально новых рабочих органов бесконтактного взаимодействия с обрабатываемым материалом.*

Ключевые слова: *лен-долгунец, льнотреста, качество, неоднородность, структурные параметры ленты, диаграммы, регрессионные модели, технологические операции.*

ANALYSIS OF THE STATE AND WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF FLAX

Makhail Perov [1]
[1]*Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver. Russian Federation*
[1]mexanikuspost@yandex.ru

Abstract: *The results of the analysis of the state and ways to improve the quality of flax are presented. The heterogeneity of the flax ribbon and its structural parameters were chosen as the objects of research. The analysis of the causes of the formation of heterogeneity of flax and the direction of its reduction is given. It is shown that its quality indicators are complex and are formed at two stages of culture development: flax cultivation, and then in the process of its harvesting. The mechanical impact of the working bodies of flax harvesting machines leads to an increase in the heterogeneity of flax raw materials. So, at the stage of pulling, the pulled flax ribbons are characterized by the elongation of the stems in the ribbon (Rl = 1.14 times), which is 0.02% more than the tiering of the stem (1.12 times), the angle of deviation of the stems in the ribbon will be al = 9.73 °, the unevenness of the ribbon will be Hp = 23.1%. All these indicators are initial, since when performing subsequent operations for the preparation of flax, they increase in comparison with the initial ones. By passive experiment, regression models adequate to the experiment were obtained for the dependence of the elongation of stems in the tape Rl, times (1), the angle of their deviation in the tape al, deg. (2), and the unevenness of the spreading of the*

Hp tape, % (3) of the stage of the performed harvesting operation Eu (Eu=2; 3; 4; 5), which can be used in the express assessment of the quality of the technological operation performed and the heterogeneity of the flax. To reduce the negative impact of the working bodies of harvesting machines on the stems, it is necessary to carry out harvesting operations in agrotechnical terms and operate the units at optimal technological modes. The most effective direction of improving the quality of flax is the development of fundamentally new working bodies of contactless interaction with the processed material.

Keywords: *flax, flax fiber, quality, heterogeneity, structural parameters of the tape, diagrams, regression models, technological operations*

Для цитирования: Перов М.Г. Анализ состояния и пути повышения качества льнотресты // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 53-61. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-53-61.

For citation: Perov M. Analysis of the state and ways to improve the quality of flax// Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 53-61. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-53-61.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005)

Acknowledgments: the work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State task of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNTs LK (No. FGSS-2022-0005)

Введение. Россия – традиционный производитель льна-долгунца и льняных тканей. Спрос на них и изделия из льна на мировом рынке не падает и должен сохраняться до 2025 года и в последующие годы [1, 2].

Лен-долгунец, обладающий уникальными природными свойствами, имеет безотходный цикл переработки, продукты которого характеризуются широким спектром применения в различных отраслях, обладает высоким экспортным потенциалом [3]. В условиях введения санкций и политики импортозамещения стратегическое значение льна для России крайне важно, так как он является практически единственной отечественной прядильной культурой – источником дефицитного сырья. В настоящее время, несмотря на государственную поддержку отрасли, количественные и качественные позиции производства длинного волокна и продукции из этого вида сырья в значительной мере утрачены. Средний номер длинного волокна в стране составляет 10 номер, тогда как текстильной промышленности для производства кондиционной продукции необходимо длинное волокно 14 номера и выше [4]. Мысли, изложенные профессором Чаяновым А.В. [5] можно отнести и к нашему времени, который написал ... «с особым вниманием должны мы подсчитывать то немногое, что еще осталось у нас и на чем может быть построено наше национальное возрождение. Для нас русских, одним из таких устоев нашего народного хозяйства является льняная культура, наиболее исконный из промыслов северной России. Собирая на своих полях значительно более половины мирового урожая льняного волокна, мы не можем относиться к этой отрасли хозяйства иначе, как с полным признанием ее глубочайшего государственного и национального значения».

Кризисная ситуация в льноводстве сложилась из-за недооценки роли и места данной отрасли в экономике страны, перекосов в инвестиционной и ценовой политике, отсутствия должного внимания к развитию материально-технической базы льноводства, а также социальных проблем на селе.

Лен, как наиболее многооперационная культура, при возделывании которой используется большое число технологических операций и специализированных технических средств, требует глубокого анализа и изучения всех возможных факторов формирования параметров качества льнотресты.

Основной причиной низкого качества льнотресты (по отрасли показатель качества равен 1,0 – 1,05 ед.) является неоднородность ленты стеблей и изменение ее структурных параметров [6, 7]. Однородность льнотресты важна при любом ее качестве. Как правило, рост технологической эффективности обуславливает повышение экономической эффективности.

Цель работы – изучение факторов возникновения неоднородности льнотресты и разработка путей уменьшения их влияния на ее качество.

Материалы и методы. Исследования проводили с использованием методов общего, статистического и информационно-логического анализа показателей качества работы льноуборочных машин.

Изучение факторов возникновения неоднородности льнотресты проводили на основе системного анализа изменения многолетних (более 50 лет) показателей производства льна по всей цепочке взаимосвязанных технологических операций, выполняемых льноуборочными машинами.

В процессе проведения исследований выполнялось обоснование основных направлений повышения качества льнотресты. Значения усредненных показателей работы льноуборочных машин (с 1965 по 2021 гг.) показаны в таблице 1.

Исходный материал характеризовался показателями, изменяющимися в широком диапазоне: урожайность культуры – от 2,4 … 6,6 т/га, длина стеблей была в пределах 56,0 – 93,3 см, а их относительная влажность 6,3 … 64,4%, растянутость лент 1,02 … 1,33.

Таблица 1 – Усредненные данные испытаний льноуборочных машин (льнокомбайнов, подборщиков-оборачивателей, вспушивателей и пресс-подборщиков) на МИС, ВНИИЛ и ВНИПТИМЛ (1965...2021г.г.)

Показатели	Наименование операции $Э_y$				
	1 прямостоящий стеблестой	2 теребление	3 оборачивание	4 вспушивание	5 прессование
Ярусность теблестоя, раз	1,12				
Растянутость стеблей $P_л$ в ленте, раз;		1,14	1,16	1,57	1,26
Увеличение растянутости стеблей в ленте по сравнению с исходной, %			1,65	1,54	8,89
Угол $\alpha_л$ отклонения стеблей в ленте, град.		9,73	12,92	15,23	17,05
Увеличение угла отклонения стеблей в ленте по сравнению с исходной, град.			3,19	5,50	2,97
Неравномерность $H_р$ расстила ленты, %		23,1	28,53	27,9	35,28
Увеличение неравномерности расстила ленты по сравнению с исходной, %			5,43	4,8	7,07

Уборка льна проводилась на полях с различным рельефом, в том числе неровным, с гребнями и впадинами от 2 до 12 см. Ленты нередко были разостланы из полеглых спутанных стеблей льна. Испытания проходили на Калининской, Кировской, Львовской и Западной машинно-испытательных станциях (МИС), а также на опытных и производственных посевах ВНИИЛ и ВНИПТИМЛ (Тверская обл.), то есть в основных льносеющих зонах на различных сортах льна-долгунца и в разных условиях уборки. Поэтому полученные средние показатели качества работы (с доверительной вероятностью 0,95...0,99) были наиболее приемлемыми для дальнейшего анализа.

Результаты и их обсуждение. Анализ причин образования неоднородности льнотресты показал, что показатели ее качества являются комплексными и образуются на двух этапах развития культуры: возделывания льна, а затем в процессе ее приготовления и уборки (рисунок 1 *а, б*).

1. Как следует из рисунка 1*а* образование неоднородности льнотресты начинается с этапа подготовки почвы к посеву и заканчивается этапом подбора с льнища вылежавшейся льнотресты пресс-подборщиками с формированием рулонов для дальнейшей переработки их на льнозаводах (предприятиях первичной переработки). Так как семена льна-долгунца относятся к мелкосеменным культурам, то способы проведения и качество выполнения предпосевной обработки почвы во многом определяют как урожайность, так и дальнейшее качество льнопродукции, сохранение и повышение плодородия почвы на долгие годы.

От качества подготовки почвы (рисунок 1, *б*) зависит выровненность поверхности поля (наличие комков и борозд), что влияет на качество посева, а на этапе уборки на увеличенную комлевую растянутость ленты растений, зависящую от структурных параметров ленты стеблей.

2. На этапе посева семян и их заделки почвой (рисунок 1, *а*) необходимо выполнение условия использования кондиционного посевного материала, а также равномерного распределения семян льна высевающими аппаратами по площади поля и глубине заделки, что благоприятно сказывается на росте и развитии растений в период вегетации (рисунок 1, *б*). От первых двух этапов зависит ярусность стеблестоя, которая на этапе уборки определяет комлевую растянутость растений в вытребленных лентах.

а)

б)

Рисунок 1 – Этапы образования неоднородности льнотресты – *а)*, и направления ее уменьшения – *б)*

3. В период появления всходов и роста растений (рисунок 1, *а*) необходимо выполнение всех агротехнологических приемов: рационального применения удобрений и средств защиты растений, обеспечивающих оптимальное питание во время их роста, а также защиту льна от болезней, вредителей и сорняков, что обеспечивает увеличение продуктивности льна и качество льнопродукции. Этот период кроме продолжительности вегетации может характеризоваться неоднородностью растений по диаметру стебля, высоте растений и их спелости, зоне и высоте расположения семенных коробочек на стебле, полеганию стеблестоя и т.д., что в значительной степени зависит от правильности выполнения технологических операций (рисунок 1, *б*).

4. На этапе теребления растений льна льнотеребилками и льнокомбайнами (рис.1, *а*) показатели качества их работы в большей мере зависят от неоднородности стеблей, определенной в пунктах 1 –3, а также от скорости агрегата, высоты установки теребильного аппарата над поверхностью поля, угла наклона теребильного аппарата и ширины его захвата, а также спелости и влажности стеблей в процессе уборки, проведение уборочных работ в сжатые сроки. Применение рациональных параметров и режимов работы уборочных агрегатов (рисунок 1, *б*) обеспечивает приемлемые структурные показатели лент льна: минимальную растянутость стеблей в ленте, угол отклонения стеблей в ленте и неравномерность расстила ленты, сохраняет качество

льносырья и исходные показатели [8] для работы машин, используемых при приготовлении льнотресты;

5. При двухфазной уборке операцию очеса лент льна, разостланных льнотеребилками, проводят подборщиками-очесывателями, которые в силу особенности механического воздействия рабочих органов этих машин на неочесанную ленту льна увеличивают исходне показатели растянутости и угла отклонения стеблей в ленте, а также неравномерность ее расстила. Для повышения качества очесанных лент, целесообразно в технологический процесс этих машин ввести операции комлеподбивания и оборачивания очесанной ленты перед расстилом ее на льнище (рисунок 1, *б)*;

6. Эффективным приемом повышения качества получаемой льнотресты, является оборачивание лент стеблей в период их вылежки в тресту. Оборачивание улучшает цвет стеблей в нижнем слое ленты, в результате чего они становятся более однородными по цвету, способствует сохранности качества льнотресты при неблагоприятных погодных условиях уборки, обеспечивает более быстрое просыхание ленты перед прессованием в рулоны. В целом же оборачивание лент льнотресты повышает качество длинного волокна до 1,0 сортономера [9–11]. В тоже время при оборачивании ленты стеблей происходит увеличение неоднородности как по растянутости и углу отклонения стеблей в ленте, так и ее неравномерности расстила (рисунок 1, *а*). Эти показатели возрастают при неоднократном оборачивании лент и при работе подборщиков-оборачивателей на лентах, проросших травой и прибитых дождями к льнищу, а также при недостаточно точном направлении подбирающих барабанов по центру тяжести лент. Для повышения качества обернутых лент целесообразно применение в конструкции подборщиков-оборачивателей устройств для проведения комлеподбивания стеблей, а также обеспечение соотношения окружной скорости конца пальцев подбирающего барабана к скорости агрегата (рисунок 1, *б*));

7. Вспушивание лент льна, как и оборачивание, направлено на сохранение и повышение качества льнотресты. В процессе вспушивания лент происходит отрыв стеблей от льнища их разрыхление, частичное освобождение от проросшего травостоя и повторный расстил на поле. Наибольший эффект достигается при вспушивании сильно проросших травой и прибитых дождями лент для сохранения их качества и ускорения подсушивания перед прессованием в рулоны. Однако в следствии разрыхления слоя стеблей и частичного их перемещения для обоих операций характерно некоторое повышение неоднородности ленты тресты [12] (рисунок 1, *а, б*). Еще большее увеличение неравномерности льнотресты возникает при сочетании приемов оборачивания и вспушивания лент и наоборот;

8. На конечном этапе уборки подбор лент тресты производят пресс-подборщиками с формированием цилиндрических паковок массой 150...250 кг, плотностью 100...150 гк/м^3 и диаметром до 1,5м. При этом из-за неточности направления движения (копирования) пресс-подборщика по лентам льнотресты стебли получают дополнительную неоднородность, которая выражается в увеличении растянутости и угла отклонения стеблей в ленте, а также неравномерности линейной плотности ленты в рулоне [13] (рисунок 1 *а, б*).

В результате обработки данных таблицы 1 в универсальном статистическом пакете STADIA [14] были построены диаграммы и регрессионные зависимости факторов изменения неоднородности льнотресты, показанные рисунок 2.

Заключительным этапом производства льна-долгунца, является – уборка. Независимо от способа уборки или применяемой технологии, стебли льна-долгунца, разостланные в ленты, получают дополнительную неоднородность, выраженную в увеличении растянутости и угла отклонения стеблей в ленте, а также неравномерности линейной плотности ленты. Кроме этого, часть выращенного урожая стеблей льна повреждается. При ручном теребливании повреждения стеблей льна составляли от 8 до 14 %. Причем по видам это были обрыв технической длины стебля и открытый излом стебля, их расплющивание и др. Все эти повреждения стеблей отрицательно влияют на выход длинного волокна. Кроме ручного теребления все остальные способы уборки и технологии используют льноуборочные машины, которые во время работы также повреждают часть стеблей льна. Так при машинном теребливании льна, в отличие от ручного, получается большее количество расплющенных стеблей (от 8…20 %). Отдельные из них повреждаются в 2^x и более местах подлине стебля.

Подбирающие аппараты подборщиков-оборачивателей и рулонных пресс-подборщиков льна, которые допускают повреждения стеблей, влияющие на уменьшение выхода длинного волокна: открытый излом стебля, обрыв технической длины стебля, от 1 до 5 %.

Как видно из рисунка 2, первые три этапа возделывания льна-долгунца, оказывают начальное влияние на неоднородность льносырья, равную ярусности стеблестоя (1,12 раз), которая уже существует перед началом уборки.

Известно, что на одном и том же поле, урожайность льна может значительно колебаться. Вследствие этого, при различной густоте стеблестоя, ленты вытеребленного льна будут разной толщины на отдельных участках поля, в результате чего процесс вылежки льнотресты будет протекать неравномерно.

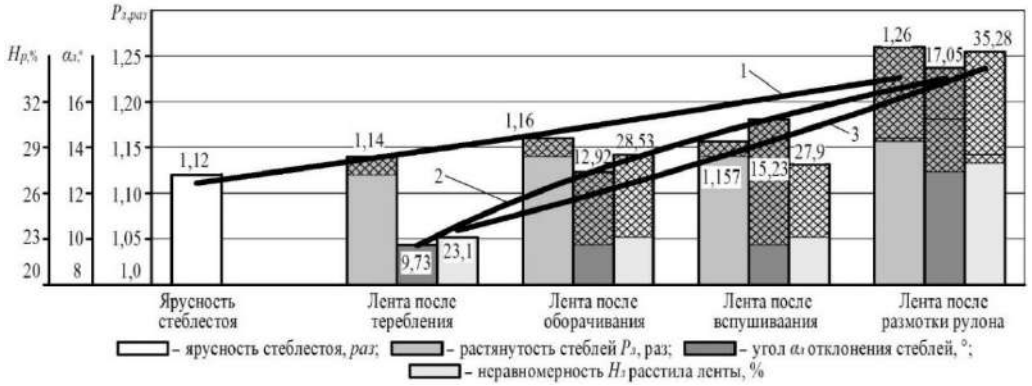


Рисунок 2 - Диаграммы и регрессионные зависимости факторов изменения неоднородности льнотресты: 1 – растянутости стеблей $P_л$ в ленте, *раз*; 2 – угла $\alpha_л$ отклонения стеблей в ленте, *град*; 3 – неравномерности $H_р$ расстила ленты, %

Механическое воздействие рабочих органов льноуборочных машин приводит к увеличению неоднородности льносырья. Так на этапе теребления (рисунок 2) вытеребленные ленты льна характеризуются растянутостью стеблей в ленте ($P_л$*=1,14 раз)*, что на 0,02% больше ярусности стеблестоя (1,12 раз). Также ленты характеризуются углом отклонения стеблей в ленте $\alpha_л$*=9,73°* и неравномерностью расстила ленты *Нр=23,1%.* Все эти показатели являются исходными, так как при выполнении последующих операций по приготовлению льнотресты происходит их увеличение по отношению к исходным.

С целью получения высококачественной льнотресты, в процессе вылежки лент льна в поле, необходимо проведение операций оборачивания или вспушивания лент льна. Вспушивание лент льна является одной из важных операций на этапе приготовления льнотресты при уборке льна. Целесообразность его проведения вызвана, прежде всего, необходимостью отрыва от земли и вспушивания, прибитых к почве дождями или проросших сорняками лент льнотресты, что способствует сохранению ее качества в лентах, сокращению сроков их просушки и возможности более раннего выполнения технологических операций, и повышению производительности работы рулонных пресс-подборщиков. Как видно из рисунка 2, процессы оборачивания, вспушивания и подбор лент льнотресты с образованием рулонов увеличивают показатели неоднородности льносырья.

Пассивным экспериментом получены экспериментальные уравнения, описывающие изменения неоднородности льнотресты в зависимости от выполняемой уборочной операции (этапа):

$$\mathrm{P_л} = \mathrm{EXP}\left(0{,}09174 + 0{,}01858 \cdot Э_у\right) \quad (1)$$

$$\alpha_л = 0{,}0132 + 0{,}0018 \cdot Э_у + 0{,}001 \cdot Э_у^2 \quad (2)$$

$$\mathrm{H_р} = \mathrm{EXP}\left(2{,}909 + 0{,}1248 \cdot Э_у\right) \quad (3)$$

где $P_л$ – растянутость стеблей в ленте, раз; $\alpha_л$ – угол отклонения стеблей в ленте, град; $H_р$ – неравномерность расстила ленты, %; $Э_у$ – этап выполнения уборочной операции ($Э_у=2$ – *теребление;* $Э_у=3$ – оборачивание; $Э_у=4$ – вспушивание; $Э_у=5$ – прессование) .

Выводы.

1. Проведенный на основе многолетних исследований анализ состояния отрасли показал, что лен-долгунец по-прежнему обладает высоким экспортным потенциалом, и в условиях санкций и осуществления импортозамещения значение его для страны возрастает. Основной причиной низкого качества льнотресты (1,0...1,05 ед.) является ее неоднородность и ухудшение структурных параметров ленты в процессе выполнения обязательных уборочных операций: теребления посевов, оборачивания, вспушивания и подбора лент с формированием рулонов. Для снижения отрицательного воздействия рабочих органов уборочных машин на стебли необходимо проводить уборочные работы в агротехнические сроки и эксплуатировать агрегаты на оптимальных технологических режимах.

2. На основании полученных в результате исследований статистических данных получены адекватные эксперименту регрессионные модели зависимости растянутости стеблей в ленте $P_л$, раз (1), угла их отклонения в ленте $\alpha_л$, град. (2), и неравномерности расстила ленты $H_р$, % (3) от этапа выполненной уборочной операции $Э_у$. Регрессионные модели позволяют по показателям исходного материала оценить конечное качество льнотресты в зависимости от этапа уборки, и могут быть использованы при экспресс оценке качества выполняемой технологической операции и неоднородности льнотресты.

3. Предложены направления повышения качества льнотресты путем совершенствования технологии ее получения, наполнением новыми экологически чистыми технологическими процессами выравнивания ленты стеблей и ее расстила по выровненной поверхности льнища без нарушения структурных параметров, применения средств контроля выполнения процессов и автоматизации приготовления льнотресты, разработки новых рабочих органов без механического взаимодействия с обрабатываемым материалом.

Список источников

1. Маркетинговое исследование «Мировой и Российский рынок льна и льняной продукции 2015-2021 гг. с прогнозом до 2015 г.» / ЭКЦ «Инвест-Проект». – М.: ЭКЦ «Инвест-Проект». – 2021. – 106 с. URL: https://expertcc.ru/upload/iblock/3bc/3bc9bcf7e5b6c7d739cedb4c68593a5c.pdf

2. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р. А. Ростовцев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 45–52.

3. Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. В. Лубяные культуры в России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы их переработки. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021; – №1. – С. 30–40.

4. Рожмина Т.А., Понажев В.П. Состояние и перспективы развития льняного сектора России / Вестник Российской академии естественных наук. – 2015. –№1. – С. 59-63.

5. Чаянов А. В. Русское льноводство, льняной рынок и льняная кооперация / Центральное товарищество льноводов. – М: [б. и.], 1918. – 177 с.

6. Трибуналов М. Н., Дорофейчик Д.М., Курилович А.П. Анализ растянутости стеблей льна в ленте при теребленнии / Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 21-23 ноября 2018 г. - Минск : БГАТУ, 2018. - С. 80-83.

7. Петроченко П.А., Коропченко С.П. Исследование динамики изменения основных качественных показателей ленты тресты льна-долгунца // Молодой ученый. – 2014. – №10, часть II. – С. 189-191.

8. ГОСТ 33734-2016 Техника сельскохозяйственная. Комбайны и машины для уборки льна. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ. 2017. – 53 с.

9. Зинцов А. Н., Ковалев М. М., Перов Г. А. Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 126–144.

10. Шиндин А.П. Лен. Технологии возделывания и защиты от вредных организмов / А.П. Шиндин [и др.] – М.: ООО НПО «РосАгроХим». 2012. – 144 с.

11. Зинцов А.Н. Исследование инновационного процесса комлеподбивания стеблей в слое при оборачивании лент льна-долгунца / А.Н. Зинцов, М.М. Ковалев, В.Н. Соколов, Г.А. Перов // Наука в Центральной России. – 2021. – №4. – С. 40-50.

12. Ковалев М.М., Перов Г.А., Перов М.Г. Интенсификация процесса вспушивания лент льна //Техника и оборудование для села. – 2015. – №12. – С. 24-29.

13. Большакова С.Р. Обоснование параметров рулонов для промышленного приготовления тресты на основе оптимизации процесса прессования льносырья: автореф. дисс. канд. техн. наук. – Кострома, 1995. – 20 с.

14. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного статистического анализа данных : учебное пособие / 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 484 с. 12.

References

1. Marketing research "The world and Russian market of flax and flax products 2015-2021 with a forecast up to 2015" / ECC "Invest-Project". – Moscow: ECC "Invest-Project". – 2021. – 106 p. URL: https://expertcc.ru/upload/iblock/3bc/3bc9bcf7e5b6c7d739cedb4c68593a5c.pdf

2. The main problems of scientific support of flax growing / R. A. Rostovtsev [et al.] // Agricultural machines and technologies. 2020. Vol. 14, No. 3. pp. 45-52.

3. Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A.V. Lubyanye cultures in Russia and abroad: the state, problems and prospects of their processing. Technical cultures. Scientific Agricultural journal. 2021; – No. 1. – pp. 30-40.

4. Rozhmina T.A., Ponazhev V.P. The state and prospects of the development of the flax sector of Russia / Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. – 2015. – No. 1. – pp. 59-63.

5. Chayanov A.V. Russian flax growing, flax market and flax cooperation / Central Partnership flax growers. – Moscow: [B. I.], 1918. – 177 p.

6. Tribunals M. N., Dorofeichik D.M., Kurilovich A.P. Analysis of the elongation of flax stems in Technical support of innovative technologies in agriculture: collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference, Minsk, November 21-23, 2018 - Minsk : BGATU, 2018. - pp. 80-83.

7. Petrochenko P.A., Koropchenko S.P. Investigation of the dynamics of changes in the main qualitative indicators of the flax-dolgunets tape trusts // A young scientist. - 2014. – No. 10, part II. – pp. 189-191.

8. GOST 33734-2016 Agricultural machinery. Combines and machines for harvesting flax. Test methods. – M.: Standartinform. 2017. – 53 p.

9. Zintsov A. N., Kovalev M. M., Perov G. A. Probabilistic model of kinematics of a device for reducing the elongation of flax stems in a ribbon // Engineering technologies and systems. 2022. Vol. 32, No. 1. pp. 126-144.

10. Shindin A.P. Flax. Technologies of cultivation and protection from harmful organisms / A.P. Shindin [et al.] – M.: OOO NPO "RosAgroHim". 2012. – 144 p.

11. Zintsov A.N. Investigation of the innovative process of combing stems in a layer when wrapping flax ribbons / A.N. Zintsov, M.M. Kovalev, V.N. Sokolov, G.A. Perov // Science in Central Russia. – 2021. – No. 4. – pp. 40-50.

12. Kovalev M.M., Perov G.A., Perov M.G. Intensification of the process of fluffing flax ribbons //Machinery and equipment for the village. – 2015. – No.12. – pp. 24-29.

13. Bolshakova S.R. Justification of the parameters of rolls for industrial preparation of trusts based on optimization of the process of pressing flax raw materials: abstract. diss. candidate of Technical Sciences. – Kostroma, 1995. – 20 p.

14. Kulaichev A. P. Methods and means of complex statistical data analysis : textbook / 5th ed., reprint. and add. — Moscow : INFRA-M, 2022. - 484 p. 12.

Информация об авторах

М.Г. Перов – младший научный сотрудник.

Information about the authors

M.Perov - Junior Researcher

Поступила в редакцию (Received): 10.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 12.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 539.319
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-62-68

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ИЗНАШИВАНИЯ НА РЕСУРС НАГРУЖЕННЫХ КОНСОЛЬНО – ЗАКРЕПЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Владимир Филиппович Комогорцев[1], Ирина Владимировна Козарез[2], Сергей Александрович Феськов[3], Марина Александровна Михальченкова[4], Галина Владимировна Орехова[5]

[1,2,3,5]Брянский государственный аграрный университет, п.Кокино, Россия
[1] komvf@inbox.ru
[2] ikozarez@yandex.ru
[3] feskovwork@gmail.com
[5] orehowagalka@yandex.ru
[4]Брянский институт управления и бизнеса, Брянкс, Россия
[4] mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Владимир Филиппович Комогорцев, komvf@inbox.ru
Corresponding author Vladimir Komogortsev, komvf@inbox.ru

Реферат. *Среди деталей рабочих органов грунторазрабатывающих орудий определенное место занимают консольно – закрепленные конструктивные элементы, которые эксплуатируются в условия абразивного изнашивания высокой интенсивности. Известные теоретические исследования не позволяют прогнозировать ресурс консольно закрепленных деталей с учетом фактора изнашивания и деформационной способности материала. В работе теоретически решали две задачи по определению ресурса детали до того момента, когда: 1 - изнашиваемый участок настолько истончится, что область перехода от изношенной части к не изношенной станет более опасной при изгибе, чем область консольного закрепления; 2 - произойдет разрушение в зоне перехода от неизношенного участка к изношенному. Решение задач проводилось с применением методов курса «Сопротивления материалов». За расчетную схему была принята консольно – закрепленная балка переменного сечения. Учитывали, что основным параметром, характеризующим прочность изгибаемой балки, является величина растягивающих деформаций, возникающих на ее выпуклой стороне. Теоретическими исследованиями определены условия возникновения опасности разрушения и непосредственно самого разрушения в сечении детали, где имеет место переход от изношенной части к не изношенной. Итогом решения двух задач явился вывод формул, по которым можно спрогнозировать ресурс детали при ее локальном изнашивании. Получено математическое выражение, позволяющее рассчитать время эксплуатации локально - изнашиваемой консольно – закрепленной детали, когда ширина поперечного сечения области износа уменьшается настолько, что участок перехода к неизношенной части становится более опасным, чем консольное крепление. Получено математическое выражение, позволяющее определить ресурс конструктивного элемента для случая, когда его разрушение произойдет в месте перехода от изношенной области к неизношенной.*

Ключевые слова: *ресурс, прогнозирование, локальное изнашивание, консольное закрепление, опасное сечение, разрушение.*

THE EFFECT OF LOCAL WEAR ON THE RESOURCE OF LOADED CANTILEVER – FIXED PARTS

Vladimir Komogortsev[1], Irina Kozarez[2], Sergey Feskov[3], Marina Mikhalchenkova[4], Galina Orekhova[5]

[1, 2, 3,5] *Bryansk State Agrarian University. P. Kokino, Russian Federation*
[1] komvf@inbox.ru
[2] ikozarez@yandex.ru
[3] feskovwork@gmail.com
[5] orehowagalka@yandex.ru
[4] *Bryansk Institute of Management and Business. Bryansk, Russian Federation*
[4] mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

Abstract. *Among the details of the working bodies of soil-developing tools, cantilever-fixed structural elements occupy a certain place, which are operated under conditions of high-intensity abrasive wear. Known theoretical studies do not allow predicting the resource of cantilevered parts, taking into account the wear factor and the deformation ability of the material. Two tasks were theoretically solved in the work on determining the resource of a part until the moment when: 1 - the wear section becomes so thin that the transition area from the worn part to the non-worn part becomes more dangerous when bending than the cantilever fastening area; 2 - destruction will occur in the transition zone from the unworn to the worn area. Problem solving was carried out using the methods of the course "Strength of materials". The cantilever-fixed beam of variable section is taken as the design scheme. It was taken into account that the main parameter characterizing the strength of a bent beam is the magnitude of tensile strains that occur on its convex side. It was taken into account that the main parameter characterizing the strength of a bent beam is the magnitude of tensile strains that occur on its convex side. The conditions for the occurrence of the danger of destruction and the destruction itself in the section of the part, where the transition from the worn part to the non-worn part takes place, are determined by theoretical studies. The result of solving two problems was the derivation of formulas by which it is possible to predict the resource of a part in case of its local wear. A mathematical expression has been obtained that makes it possible to calculate the operating time of a locally worn cantilever-fixed part, when the width of the cross-section of the wear area decreases so much that the transition area to the unworn part becomes more dangerous than the cantilever fastening. A mathematical expression has been obtained that makes it possible to determine the resource of a structural element for the case when its destruction occurs at the point of transition from a worn area to a non-worn one.*

Keywords: *resource, forecasting, local wear, cantilever fastening, dangerous section, destruction*.

Для цитирования: Комогорцев В.Ф., Козарез И.В., Феськов С.А., Михальченкова М.А., Орехова Г.В. Влияние локального изнашивания на ресурс нагруженных консольно-закрепоенных деталей // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 62-68. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-62-68.

For citation: Komogortsev V., Kozarez I., Feskov S., Mikhalchenkova M., Orehova G. The effect of local wear on the resource of loaded cantilever-fixed parts // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 62-68. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-62-68.

Введение. В процессе эксплуатации детали некоторых технических средств претерпевают геометрические изменения, нередко выражающиеся в износах отдельных участков [1, 2, 3]. Такое явление наблюдается у ряда конструктивных элементов почвообрабатывающих орудий [4,5]. Примером могут служить локально изношенные лемеха и отвалы (рисунки 1 а, б; 2) [6, 7], а также зубья ковшей экскаваторов, отдельные детали горнодобывающей техники и дорожных машин. Их общей особенностью является консольное крепление.

Уменьшение поперечного сечения вследствие истирания на локальном участке изделия нередко приводит к появлению трещин (рис. 3 а), изгибов (рисунок 3 б) и изломов (рисунок 3 в) из-за неспособности материала сопротивляться деформациям, вызванными внешними силами. Например, давлением почвы на деталь рабочего органа почвообрабатывающего орудия.

а) б)

Рисунок 1 – Лучевидный износ: а) - носка цельнометаллического лемеха со сквозным протиранием; б) – составного лемеха в области, расположенной в непосредственной близости крепления долота

Рисунок 2 – Износ носка отвала по толщине с образованием лучевидной формы (фрагмент)

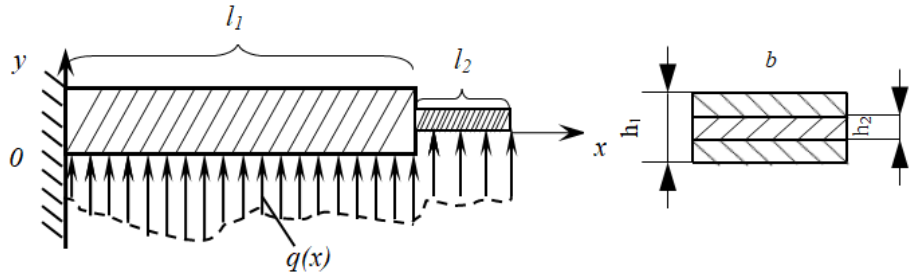
а) б) в)

Рисунок 3 – Дефекты как результат изнашивания плужных лемехов а) - трещины; б) - изгибы, скручивания, прогибы; в) - разрушения

Однако известные теоретические исследования, посвященные изучению влияния внешних силовых факторов на поперечный изгиб консольно-закрепленных деталей в случае локального износа малочисленны [8] и не дают ответа на вопрос о прогнозировании их ресурса.

Цель следования. Цель исследования заключается в решении двух задач. Задача 1: определение ресурса детали (времени ее эксплуатации) до того момента, когда изнашиваемый участок настолько истончится, что область перехода от тонкой (изношенной) части к толстой (не изношенной) станет более опасной при изгибе чем область консольного закрепления. Задача 2: определения ресурса детали до того момента, когда произойдет ее разрушение в зоне перехода от неизношенного участка к изношенному.

Решение задач. Исходя из вышеизложенного за расчетную схему (с определенными допущениями) можно принять консольно-закрепленную балку с участками различной толщины (рисунок 4, а, б). Участок l_1 большей толщены (h_1) и участок l_2 меньшей толщиной (h_2), который расположен на правом конце балки, имитируя тем самым наиболее изношенную часть детали.



а) б)

Рисунок 4 – Расчетная схема (а – продольное сечение; б – поперечное сечение)

При решении задач использовались формулы классического курса «Сопротивление материалов» [9].

Рассмотрим защемленную на своем левом конце балку, имеющую на участке длины l_1 толщину h_1 и модуль упругости материала E_1, а на участке длины l_2 - толщину h_2 и модуль упругости материала E_2 . При этом $E_1 \approx E_2$. Ширина балки b постоянна на всём её протяжении (рисунок 1 б, вид балки с торца). На балку действует некоторая распределенная по её длине нагрузка $q = q(x)$, (Н/м), представляющая собой силу, отнесенную к единице длины балки. Необходимо оценить прочность изгибаемой данной нагрузкой балки.

Основным параметром, характеризующим прочность изгибаемой балки, является величина растягивающих деформаций, возникающих на выпуклой (нижней) стороне балки [9]. Для балки, поперечное сечение которой является прямоугольником с шириной b и высотой h, эта деформация находится по формуле:

$$\varepsilon(x) = \frac{\sigma(x)}{E} = \frac{M(x)}{EW} = \frac{6M(x)}{Ebh^2} \quad (0 \le x \le l) \tag{1}$$

где $M(x)$ – изгибающий момент в сечении балки,

E – модуль упругости материала балки,

$W = \frac{bh^2}{6}$ - момент сопротивления сечения балки при её изгибе, l – длина балки. Таким образом, растягивающие деформации на нижних поверхностях соответствующих участков данной составной балки имеют вид:

$$\varepsilon(x) = \frac{6M(x)}{Ebh_1^2} \quad (0 \le x \le l); \; \varepsilon(x) = \frac{6M(x)}{Ebh_2^2} \quad (l_1 \le x \le l_1 + l_2) \tag{2}$$

Максимальными, а следовательно, и наиболее опасными для прочности балки являются значения этих деформаций при $x = 0$ и $x = l_1$:

$$\varepsilon(0) = \frac{6M(0)}{Ebh_1^2}; \quad \varepsilon(l_1) = \frac{6M(l_1)}{Ebh_2^2} \tag{3}$$

Определив эти деформации и сравнив их между собой, можно определить сечение, наиболее опасное для прочности балки.

Ограничимся рассмотрением наиболее простого случая:

$$q(x) = q_0 = const \quad (0 \le x \le l_1 + l_2) \tag{4}$$

Найдем изгибающий момент $M(x)$, создаваемый этой нагрузкой в сечении x. Это момент, создаваемый нагрузкой, действующей на балку справа от этого сечения. Имеем:

$$M(x) = \int_x^{l_1+l_2}(t-x)\cdot q(t)\cdot dt = q_0 \cdot \int_x^{l_1+l_2}(t-x)\cdot dt =$$
$$= q_0 = \frac{(l_1+l_2)^2}{2}\cdot\left(1-\frac{x}{l_1+l_2}\right)^2 \quad (5)$$

С учетом выражения (5), формулы (3) примут вид:

$$\varepsilon(0) = 3\frac{p_0}{E}\left(\frac{l_1+l_2}{h_1}\right)^2;\ \varepsilon(l_1) = 3\frac{p_0}{E}\left(\frac{l_2}{h_2}\right)^2 \quad (6)$$

$$p_0 = \frac{q_0}{b}\ (\text{Н/м}^2); \quad (7)$$

Формулы (6) дают значения растягивающих деформаций, возникающих в точке защемления балки и в точке стыковки её частей соответственно. Сравнивая их между собой и учитывая, что для разных сортов стали $E_2 \approx E_1$, для стальной составной балки получим:

$$\frac{\varepsilon(l_1)}{\varepsilon(0)} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2\cdot\left(\frac{l_2}{l_1+l_2}\right)^2 \quad (8)$$

Из равенства (8) следует, что если $\lambda > 1$, т. е. если

$$\frac{l_2}{l_1+l_2} > \frac{h_2}{h_1}, \quad (9)$$

то наиболее опасным сечением при изгибе составной части балки при равномерной нагрузке на неё является её сечение стыковки $x = l_1$.

$$\frac{l_2}{l_1+l_2} < \frac{h_2}{h_1}\ , \quad (10)$$

то наиболее опасным сечением будет место защемления балки.

Толщина h_2 меняется со временем по закону

$$h_2 = h_{2\text{н}} - ct \quad (11)$$

где $h_{2\text{н}}$ – начальная толщина изнашиваемой части;

c – интенсивность изнашивания;

t – время изнашивания.

А участок l_1заметного износа не претерпевает и, следовательно, его толщина h_1 не меняется. В соответствии с целью имеют место две задачи. Задача первая - через какое время t участок l_2 истончится настолько, что плоскость стыковки $x = l_1$ станет более опасной при изгибе балки, чем плоскость ее защемления? Задача вторая - через какое время $t_{\text{кр}}$ произойдет излом более тонкой балки в месте ее крепления к более толстой?

Решение первой задачи. В момент времени t согласно (8) должно выполняться равенство $\varepsilon(l_1) = \varepsilon(0)$, то есть должно выполняться равенство

$$\frac{l_2}{l_1+l_2} = \frac{h_2}{h_1} => h_2 = h_1\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2} =>$$
$$h_{2\text{н}} - ct = h_1\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2} => ct = h_{2\text{н}} - h_1\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2};$$
$$\frac{ct}{h_{2\text{н}}} = 1 - \frac{h_1}{h_{2\text{н}}}\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2} \quad (12)$$

При малых значениях начальной толщины $h_{2н}$ величина $\frac{ct}{h_{2н}}$ определяемая формулой (12), может оказаться отрицательной. Это означает, что уже при начальной толщине $h_{2н}$ концевой части балки место стыковки балок будет более опасным для прочности балки, чем место ее защемления. Таковым оно останется и в последующие моменты времени, когда концевая часть балки будет становиться тоньше.

Решение второй задачи. Излом в месте стыковки балок произойдет, когда деформация $\varepsilon(l_1)$ концевой балки в этом месте станет критической:

$$\varepsilon(l_1) = \varepsilon_{2кр} => 3 \cdot \frac{p_0}{E} \cdot \frac{l_2^2}{h_2^2} = \varepsilon_{2кр} =>$$

$$=> h_2 = l_2 \sqrt{\frac{3}{\varepsilon_{2кр}} \cdot \frac{p_0}{E}} => h_{2н} - ct_{кр} = l_2 \sqrt{\frac{3}{\varepsilon_{2к}} \cdot \frac{p_0}{E}} =>$$

$$=> \frac{ct_{кр}}{h_{2н}} = 1 - \frac{l_2}{h_{2н}} \cdot \sqrt{\frac{3}{\varepsilon_{кр}} \cdot \frac{p_0}{E}} \quad (13)$$

Здесь $t_{кр}$ – время, через которое равномерно с интенсивностью изнашивающаяся c балка с меньшим сечением лопнет в месте ее стыка с балкой большего сечения.

Выводы

1. Получено математическое выражение, позволяющее рассчитать время эксплуатации (ресурс) локально - изнашиваемой консольно – закрепленной детали, когда ширина поперечного сечения области износа уменьшается настолько, что участок перехода к неизношенной части становится более опасным, чем консольное крепление.

2. Получено математическое выражение, позволяющее определить ресурс конструктивного элемента для случая, когда его разрушение произойдет в месте перехода от изношенной области к неизношенной.

Список источников

1. Кожухова Н.Ю., Ковалев А.П. Специфика геометрии износа плужных лемехов в зависимости от типа почв // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - 2012. - № 1 (11). - С. 101-105.

2. Прудников С.Н., Лавров В.И. Метод лунок при определении геометрии износа криволинейных поверхностей деталей почвообрабатывающих орудий // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 4 (56). - С. 68-72.

3. Козарез И.В., Феськов С.А., Косачев С.В., Мокрогузов И.М., Дрикоз А.А. Возможность восстановления культиваторных лап для высева семян // Сельский механизатор. - 2020. - № 1. - С. 26-27.

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

5 Кожухова Н.Ю., Михальченкова М.А., Орехова Г.В., Шкуратов Г.В., Королев В.В. Существующие методы устранения лучевидного износа // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. - 2021. - № 1. - С. 84-100.

6. Козарез И.В., Михальченков, А.М. Обзор способов восстановления плужных лемехов // Труды ГОСНИТИ. - 2012. - Т. 109. - № 2. - С. 30-34.

7. Михальченков А.М., Козарез И.В., Дьяченко А.В., Тюрева А.А. Изнашивание и ресурс восстановленных по различным технологиям отвалов сельскохозяйственного назначения // Технология металлов. - 2021. - № 1. - С. 47-51.

8. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Козарез И.В., Михальченкова М.А., Дьяченко А.В. Влияние внешних силовых факторов на прочность равномерно нагруженных консольно-закрепленных деталей при условии их абразивного изнашивания // Агроинженерия. - 2021. - № 4 (104). - С. 41-45.

9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб для вузов. – 10-е изд. перераб.и доп. – Изд - во МГТУ им. Баумана, 1999. – 592с.

Reference

1. Kozhukhova N.Yu., Kovalev A.P. Specifics of the wear geometry of plowshares depending on the type of soil // Design, use and reliability of agricultural machinery. - 2012. - № 1 (11). - Pp. 101-105.

2. Prudnikov S.N., Lavrov V.I. The method of holes in determining the geometry of wear of curved surfaces of parts of tillage tools // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. - 2016. - № 4 (56). - Pp. 68-72.

3. Kozarez I.V., Feskov S.A., Kosachev S.V., Mokroguzov I.M., Drikoz A.A. The possibility of restoring cultivator paws for sowing seeds // Rural mechanizer. - 2020. - No. 1. - pp. 26-27.

4. Erokhin M.N., Novikov V.S., Valezhnikova E.V., Paramonov D.P. On the evaluation of the efficiency of the working organs of tillage machines Proceedings of the Academy of Engineering Sciences named after A.M. Prokhorov. - 2013. - no. pp. 99-106. 4.

5 Kozhukhova N.Yu., Mikhalchenkova M.A., Orekhova G.V., Shkuratov G.V., Korolev V.V. Existing methods of eliminating xiphoid wear // Proceedings of the Faculty of Engineering and Technology of the Bryansk State Agrarian University. - 2021. - No. 1. - pp. 84-100.

6. Kozarez I.V., Mikhalchenkov, A.M. Review of methods of restoration of plowshares // Proceedings of GOSNITI. - 2012. - Vol. 109. - No. 2. - pp. 30-34.

7. Mikhalchenkov A.M., Kozarez I.V., Dyachenko A.V., Tyureva A.A. Wear and resource of agricultural dumps restored by various technologies // Technology of metals. - 2021. - No. 1. - pp. 47-51.

8. Mikhalchenkov A.M., Komogortsev V.F., Kozarez I.V., Mikhalchenkova M.A., Dyachenko A.V. The influence of external force factors on the strength of uniformly loaded cantilever-fixed parts under the condition of their abrasive wear // Agroengineering. - 2021. - № 4 (104). - Pp. 41-45.

9. Feodosiev V.I. Resistance of materials: Studies for universities. – 10th ed. reprint.and additional Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 1999. – 592s.

Информация об авторах

В. Ф. Комогорцев – кандидат физико-математиечских наук, доцент; И. В. Козарез – кандидат технических наук, доцент; С. А. Феськов – кандидат технических наук, доцент; М.А. Михальченкова – магистр, старший преподаватель; Г.В. Орехова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

V. Komogortsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; I. Kozarez – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; S. Feskov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Mikhalchenkova - Master's degree, senior lecturer, G. Orekhova - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 28.06.2022 Принята к публикации (Accepted): 03.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-69-73

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА СВОЙСТВА МОТОРНОГО МАСЛА

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

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

Реферат. *Представлены материалы исследований по анализу качества и влияния характеристик дизельного топлива на свойства моторного масла. В первом приближении установлена взаимосвязь некоторых характеристик дизельного топлива со сроком службы моторного масла в двигателях сельскохозяйственной техники. Выборочный анализ физико – химических характеристик топлив, приобретаемых у коммерческих структур и хранящихся на нефтескладах хозяйств показал, что в 50 процентах проб имелось повышенное содержание серы, утяжеленный фракционный состав, низкотемпературные свойства не соответствовали заявленным в паспортах качества значениям. Отмечено, что количество используемых моторных масел М-10Г$_2$ и М-10ДМ с отклонениями от требований стандартов значительно сократилось. В процессе использования масел в двигателях тракторов в первые часы наработки наблюдается интенсивное изменение цвета масла, снижается щелочное число, увеличивается содержание нерастворимого осадка и кислотное число моторного масла. Установлено, что, несмотря на различное техническое состояние, нагрузки во многом накопление смол и продуктов окисления зависит от качества используемого дизельного топлива. Получены зависимости изменения щелочного числа масел М-10Г2 и М-10ДМ за период наработки 100 часов при использовании топлива, соответствующего требованиям ГОСТ и топлива утяжеленного фракционного состава. Установлено, что щелочное число масла М-10ДМ снизилось с 8 мг КОН/г до 5,3 мг КОН/г, в то время как при использовании топлива утяжеленного фракционного состава показатель щелочного числа снизился до 4,7 мг КОН/г. Аналогичные изменения наблюдались и в двигателях тракторов, работающих на масле М-10Г$_2$. Определено, что чем ниже качество дизельного топлива, тем больше в моторном масле накапливается загрязнений и более интенсивно снижаются свойства масла, что в конечном результате влияет на срок его службы до замены.*

Ключевые слова: *дизельное топливо, моторное масло, характеристики, свойства, зависимость, наработка, утяжеленный состав, загрязнения.*

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SOME CHARACTERISTICS OF DIESEL FUEL ON THE PROPERTIES OF ENGINE OIL

Valery Ostrikov [1], Alla Zabrodskaya [2], Viktor Vyazankin [3], Alexander Koshelev [4], Valentin Safonov[5]
[1,2,3,4] All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov. Russia
[1]viitinlab8@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-2927-768X

[5]*Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia*
[5]safonow2010sgau @.yandex.ru

Abstract. *Research materials on the analysis of the quality and influence of diesel fuel characteristics on the properties of engine oil are presented. The relationship of some characteristics of diesel fuel with the service life of engine oil in engines of agricultural machinery has been established as a first approximation. A selective analysis of the physico-chemical characteristics of fuels purchased from commercial structures and stored in oil depots of farms showed that 50 percent of the samples had an increased sulfur content, a weighted fractional composition, and low-temperature properties did not correspond to the values declared in the quality certificates. It was noted that the number of used motor oils M-10G2 and M-10DM with deviations from the requirements of the standards has significantly decreased. An intensive change in the color of the oil is observed during the use in tractor engines in the first hours of operation, the base number decreases, the content of insoluble sediment and the acid number of engine oil increases. It has been established that, despite the different technical condition, the load in many respects, the accumulation of resins and oxidation products depends on the quality of the diesel fuel used. The dependences of the change in the base number of M-10G2 and M-10DM oils over a period of 100 hours of operation were obtained when using fuel that meets the requirements of GOST and fuel with a weighted fractional composition. It was found that the base number of M-10DM oil decreased from 8 mg KOH/g to 5.3 mg KOH/g, while when using fuel with a weighted fractional composition, the base number decreased to 4.7 mg KOH/g. Similar changes were observed in the engines of tractors running on M-10G2 oil. It has been determined that the lower the quality of diesel fuel, the more contaminants accumulate in the engine oil and the properties of the oil decrease more intensively, which ultimately affects its service life before replacement.*

Keywords: *diesel fuel, engine oil, characteristics, properties, dependence, operating time, weighted composition, pollution.*

Для цитирования: Остриков В.В., Забродская А.В., Вязинкин В.С., Кошелев А.В., Сафонов В.В. Оценка влияния некоторых характеристик дизельного топлива на свойства моторного масла // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 69-73. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-69-73.

For citation: Ostrikov V., Zabrodskaya A., Vyazinkin V., Koshelev A., Safonov V. Evalution of the influence of some characteristics of diesel fuel on the properties of engine oil // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 69-73. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-69-73.

Введение. От качества используемых топлив и масел во многом зависит эффективность работы техники, затраты на эксплуатацию и ремонт двигателей внутреннего сгорания (ДВС), сроки выполнения сельскохозяйственных работ и т.д. Отклонение от нормативных значений дизельного топлива по фракционному составу может повлиять на мощностные характеристики ДВС, увеличение дымности выхлопных газов, повышение детонации и жесткости работы, образование отложений на деталях цилиндро – поршневой группы. Низкая вязкость дизельного топлива, его смазывающие свойства влияют на работу топливных насосов. Низкотемпературные характеристики: температура помутнения, предельная температура фильтруемости – могут быть определяющими свойствами при использовании топлива в зимний период эксплуатации тракторов и автомобилей [1].

Повышенное содержание фактических смол и серы провоцирует образование отложений на поршнях, головке блока цилиндров и клапанах ДВС.

При всех вышеперечисленных характеристиках следует отметить, что по мере совершенствования ДВС качество дизельного топлива оказывает несколько меньшее значение на процесс работы двигателя [2]. Так, например, двигатели с предкамерным и вихревым смесеобразованием вследствие разогретых до высокой температуры стенок предкамеры менее чувствительны к фракционному составу. Наддув способствует повышению термического режима

камеры сгорания и обеспечивает возможность работы на топливе утяжелённого фракционного состава [3-11].

Результаты и их обсуждение. В процессе сгорания топлива утяжеленного фракционного состава с повышенным содержанием серы продукты сгорания частично попадают в моторное масло, снижая его свойства и срок службы до замены. Выборочный анализ топлив, приобретаемых у коммерческих структур хозяйствами Тамбовской области, показал, что в 50 % проб имелось повышенное содержание серы, утяжелённый фракционный состав. Более 60 % топлив имели низкотемпературные характеристики, не соответствующие значениям, указанным в сертификатах качества.

В двигателях тракторов со значительным износом при использовании топлива с отклонениями от требований стандарта продукты сгорания топлива, смолы, асфальтены увеличивают вязкость масла, значительно повышают его загрязненность. При наработке 150 – 200 часов моторное масло может иметь значения выше браковочного по такому показателю как содержание нерастворимого осадка [8-11].

Рассматривая качество моторных масел, которые используются в сельскохозяйственной технике, следует отметить, что в последние 5 лет значительно сократилось количество масел М-10$Г_2$, М-10$Г_{2К}$, М-10ДМ, не соответствующих требованиям стандартов, приводящих к аварийному выходу из строя ДВС.

По большей части при использовании моторных масел в двигателях тракторов возникает вопрос резкого изменения цвета масла в первые часы работы. Имеются достаточно простые объяснения данным фактам, связанные с высокими моющими свойствами свежезаправленных масел.

До потребителя не всегда доводится информация о том, что резкое изменение цвета масла помимо «положительных» качеств свидетельствует о том, что в первые часы работы происходит резкое увеличение продуктов окисления (смол от смыва и промывки), а данный факт взаимосвязан со сроком службы масла до замены.

Наблюдение за подобного рода изменениями подтверждены результатами физико – химического анализа масла в двигателях тракторов (рисунок 1)

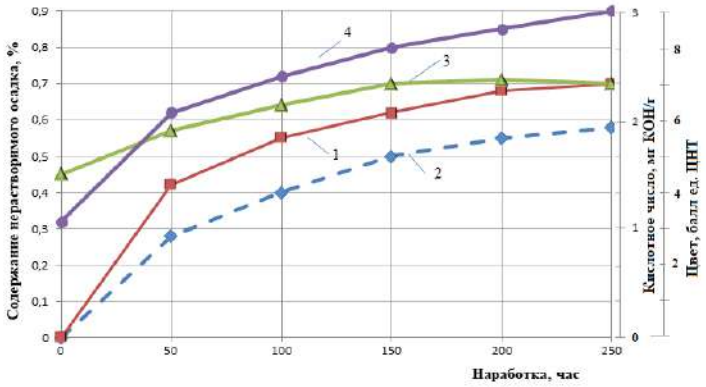


Рисунок 1 – Зависимость изменения содержания смол и кислотного числа моторного масла от наработки: 1 – изменение содержания нерастворимого осадка в масле после замены масла и наработки в ДВС; 2 – изменения содержания загрязнений в масле (с учетом промывки системы смазки перед заменой); 3 – изменение кислотного числа масла от наработки; 4 – изменение цвета масла в зависимости от наработки. 1,4 - без промывки системы смазки

Установлено, что после замены отработавшего свой срок моторного масла в первые 50 часов наработки в свежезаправленном масле наблюдается рост содержания нерастворимого осадка (1), что взаимосвязано с увеличением кислотного числа (3) и резким изменением цвета масла (4).

Безусловно данные показатели взаимосвязаны с техническим состоянием двигателя, нагрузками, качеством используемого дизельного топлива.

Тем не менее увеличение содержания смол, продуктов окисления в масле оказывает влияние на срок службы масла до замены, его браковочные значения. Исключить подобного рода негативные факторы частично возможно промывкой системы смазки двигателя после слива отработанного масла.

Представляет научный и практический интерес взаимосвязь некоторых показателей качества моторного масла и качества используемого дизельного топлива. Рассмотрим изменение щелочного числа от исходного показателя и фракционного состава дизельного топлива в моторных маслах.

На рисунке 2 представлена зависимость изменения щелочного числа масла в двигателях СМД-31А за период наработки на масле М-10$Г_2$ и М-10ДМ 100 часов при использовании топлива в соответствии с требованиями ГОСТ и дизельного топлива утяжеленного состава, 90 % которого перегоняется при температуре 370 °С.

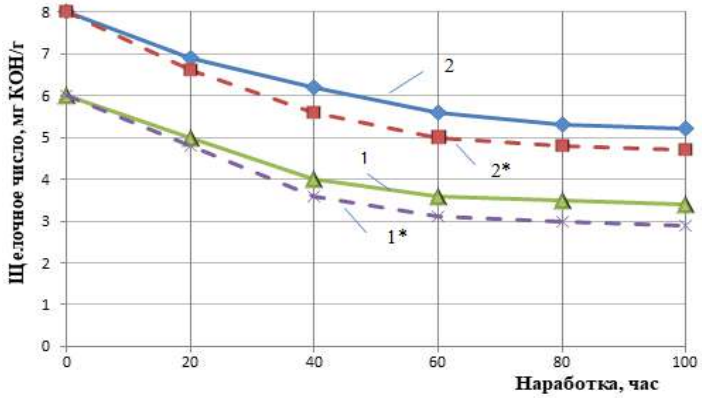


Рисунок 2 – Зависимость изменения щелочного числа масел от наработки и качества дизельного топлива (утяжелённый фракционный состав): 1,1* - масло М-10$Г_2$; 2,2* - масло М-10ДМ (* - топливо утяжеленного фракционного состава)

Определено, что за 100 часов наработки масла М-10$Г_2$ значение щелочного числа (1) снизилось при использовании топлива с показателями, соответствующими требованиям ГОСТ с 6 мг КОН/г до 4 мг КОН/г, в то время как при работе двигателя на топливе утяжелённого состава (1*) до 3,5 мг КОН/г. Аналогичен характер изменения свойства масла М-10ДМ (2) при использовании топлива утяжеленного состава (2*).

Данный факт возможно объяснить процессами угара, увеличенной дымности выхлопных газов, связанных в том числе с повышенным расходом антиокислительной присадки на нейтрализацию процесса окисления и т.д.

Заключение. В целом по результатам рассмотрения изменения свойств моторного масла от качества используемого дизельного топлива можно утверждать, что прослеживается их определённая взаимосвязь. Чем ниже качество дизельного топлива тем больше в моторном масле накапливаются загрязнений и более интенсивно снижаются антиокислительные свойства масла, что в конечном результате влияет на срок службы масла до замены.

Список источников

1. Лебедев В.В. Совершенствование процесса очистки дизельного топлива при приеме и выдаче на нефтескладах сельхозпредприятий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2003. 17 с.

2. Итинская Н.И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. -М.: 1982. 208 с.

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

4. Аллилуев В.А. Техническая эксплуатация машинотракторного парка. Москва: Агропромиздат, 1991. 367 с.

5. Петров И.А. Автомобильные масла, смазки, присадки. Москва: Машиностроение. 2001. 250 с

6. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в двигателях внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1970. – 270 с..

7. Кузнецов А. В. Топливо и смазочные материалы. М.: Колос, 2007. 199 с.

8. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторного масла и надежность двигателей. М.: Изд-во стандартов, 1981. 238с.

9. Арабян С.Г, Виппер А.Б., Холомонов И.А. Масла и присадки для транспортных и комбайновых двигателей. М.: Машиностроение. 1984. 208с.

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

11. Остриков В.В., Петрашев А.И., Сазонов С.Н., Забродская А.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие. Москва – Вологда: Инфра – Инженерия, 2019. 244 с.

References

1. Lebedev V.V. Improvement of the process of diesel fuel purification when receiving and issuing oil deposits of agricultural enterprises: Abstract. dis. ... Candidate of Technical Sciences. - M.: MGAU named after V.P. Goryachkin, 2003. 17 p.

2. Itinskaya N.I. Handbook of fuel, oils and technical liquids. Moscow. 1982. 208 p.

3. Shkolnikov V.M. Fuels, lubricants, technical fluids. Assortment and application.– Moscow: Techinform. 1999. 596 p.

4. Alliluyev V.A. Technical operation of the machine-tractor fleet. Moscow: Agropromizdat, 1991. 367 p.

5. Petrov I.A. Automobile oils, lubricants, additives. Moscow: Mechanical Engineering. 2001. 250 s

6. Grigoriev M.A. Purification of oil and fuel in internal combustion engines. M.: Mechanical engineering, 1970. – 270 p.

7. Kuznetsov A.V. Fuel and lubricants. M.: Kolos, 2007. 199 p.

8. Grigoriev M.A., Bunakov B.M., Doletsky V.A. Engine oil quality and engine reliability. Moscow: Publishing House of Standards, 1981. 238c.

9. Arabyan S.G., Vipper A.B., Holomonov I.A. Oils and additives for transport and combine engines. Moscow: Mechanical Engineering. 1984. 208c.

10. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Orobinsky V.I., Afonichev D.N. Determination of dispersing and stabilizing properties of motor oils and their contamination under operating conditions // Chemistry and technology of fuels and oils. 2019. No. 5 (615). pp. 48-52.

11. Ostrikov V.V., Petrashev A.I., Sazonov S.N., Zabrodskaya A.V. Fuel, lubricants and technical fluids: textbook. Moscow – Vologda: Infra – Engineering, 2019. 244 p.

Информация об авторах

В.В. Остриков – доктор технических наук, профессор; А.В. Забродская – научный сотрудник; В.С. Вязинкин – научный сотрудник; А.В. Кошелев – младший научный сотрудник; В.В. Сафонов - доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

V. Ostrikov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Zabrodskaya – researcher; V. Vyazinkin – researcher; A. Koshelev – junior researcher; V. Safonov - Doctor of Technical Sciences, Professor.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 01.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 03.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 629.032; 631.372
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-74-83

ПЛОЩАДЬ КОНТАКТА ШИНЫ С ОПОРОЙ, КАК ФУНКЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И ВНУТРИШИННОГО ДАВЛЕНИЯ

Валерий Юрьевич Ревенко[1], Виктор Иосифович Скорляков[2], Артем Борисович Иванов[3]

[1,2,3]Росинформагротех, Р.п. Правдинский, Московская область, Россия
[1]skskniish@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0336-5323
[2]skorlv@yandex.ru
[3]artem_b_ivanov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6462-6393

Автор ответственный за переписку: Валерий Юрьевич Ревенко, skskniish@rambler.ru
Corresponding author Valerij Revenko, skskniish@rambler.ru

Реферат. *Комплексное повышение эффективности мобильной сельскохозяйственной техники невозможно без учета уровня воздействия её движителей на почву, при этом важнейшей целевой задачей является улучшение сцепных качеств тракторов и сельхозмашин, в том числе за счет увеличения размеров площади контакта движителя с опорным основанием. Размеры контактирующей поверхности на границе раздела грунт–шина будут определять удельное давление пневмоколесной техники на почву, которое в свою очередь определяет уровень экологической безопасности системы «механизированное средство – окружающая среда – урожай». В качестве объектов исследований были выбраны широко распространенные в РФ сельскохозяйственные шины, всего 22 варианта. Исследования проводили при уровнях вертикальной нагрузки от 10 до 60 кН и внутришинного давления от 50 до 500 кПа. В результате проведенных исследований авторами предложена методика определения контурной площади контакта современных колесных движителей, при изменении внешних (нагрузки на ось колеса) и внутренних (внутришинного давления) факторов. прогнозировать уровень воздействия на почву колесных движителей не только существующей, но и проектируемой техники. Уровень адекватности математической модели, рассчитанный по критерию эффективности моделирования Нэша–Сатклиффа, составил 0,991. Простота и достаточная для инженерных расчетов точность делают её вполне пригодной для практического использования.*

Ключевые слова. *колесный движитель, вертикальная нагрузка на ось, внутришинное давление, пятно контакта, площадь, математическая модель.*

TIRE AND SUPPORT AREA AS A FUNCTION OF VERTICAL LOAD AND TIRE PRESSURE

Valery Revenko[1], Victor Skorlyakov[2], Artem Ivanov[3]

[1, 2, 3]Rosinformagrotekh. Pravdinsky Township, Moscow Region, Russian Federation
[1]skskniish@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0336-5323
[2]skorlv@yandex.ru
[3]artem_b_ivanov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6462-6393

Abstract. *A comprehensive increase in the efficiency of mobile agricultural machinery is impossible without taking into account the level of impact of its movers on the soil, while the most important target is to improve the coupling qualities of tractors and agricultural machines, including by increasing the size of the contact area of the mover with the supporting base. The dimensions of the contact surface at the soil-tire interface will determine the specific pressure of the pneumatic wheeled equipment on the soil,*

which in turn determines the level of environmental safety of the "mechanized vehicle – environment – crop" system. Agricultural tires, widely used in the Russian Federation, were chosen as objects of research, in total 22 options. The studies were carried out at vertical load levels from 10 to 60 kN and tire pressure from 50 to 500 kPa. As a result of the research, the authors proposed a method for determining the contour area of the contact of modern wheel propellers, with a change in external (wheel axle load) and internal (in-tire pressure) factors. The level of adequacy of the mathematical model, calculated by the Nash–Sutcliff modeling efficiency criterion, was 0.991. Simplicity and sufficient accuracy for engineering calculations make it quite suitable for practical use.

Keywords: *wheel mover, vertical axle load, tire pressure, contact patch, area, mathematical model.*

Для цитирования: Ревенко В.Ю., Скорляков В.И., Иванов А.Б. Площадь контакта шины с опорой, как функция вертикальной нагрузки и внутришинного давления // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 74-83. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-74-83.

For citation: Revenko V., Skorlyakov V., Ivanov A. Tire and support as a function of vertical load and tire pressure// Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 74-83. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-74-83.

Введение. В течение последних десятилетий размеры сельскохозяйственных шин постоянно увеличивались и в настоящее время достигли своего предела, обусловленного габаритными ограничениями современной тяжелой техники, передвигающейся по дорогам общего пользования. В то же время сохраняются негативные последствия переуплотнения почвы, вызванного перемещением той же техники по полям. Снизить уплотнение почвы, а следовательно, повысить урожайность выращиваемых на ней сельскохозяйственных культур, можно либо уменьшив нагрузку на ось колеса, либо увеличив площадь контакта колесных систем с опорной поверхностью [1]. Высокая сложность и энергонасыщенность современных машин не позволяет эффективно нивелировать действие первого фактора, а вот второй – вполне подлежит корректировке.

Постепенная эволюция шин от диагональных, к высокоэластичным радиальным позволила снизить нагрузку на почву за счет увеличения размеров контактирующей поверхности на границе раздела грунт–протектор. В настоящее время многие шины изготавливаются с использованием передовых технологий, которые позволяют им выдерживать высокие нагрузки, при относительно низком внутришинном давлении [2, 3]. Что в свою очередь увеличивает размер поверхности соприкосновения с опорой в сравнении с традиционными шинами. Инновационные конструкции резино-кордных оболочек шин способствуют оптимизации распределения напряжений в зоне их контакта с грунтом, снижая глубину колеи, а также уменьшая сопротивление качению и буксование [4, 5].

Таким образом, знание точного размера площади контакта движителей с почвой, а, следовательно, и величины контактных нормальных напряжений, является необходимым условием проведения сравнительной оценки как находящейся в эксплуатации, так и проектируемой техники [6].

В предыдущих наших исследованиях была предпринята попытка разработки математических моделей, связывающих величину площади контакта шины с размерными параметрами её резиново-кордной оболочки и величиной её деформации [7, 8]. Но, помимо размеров шин, на форму и размеры контактирующей поверхности существенное влияние оказывают также вертикальная нагрузка на колесо и величина давления воздуха в шинах.

В специализированной литературе по взаимодействию колесных систем с опорным основанием имеется довольно большое количество работ, описывающих "причинно-следственные связи" вышеперечисленных факторов с размерами контурной площади пятна контакта [9, 10, 11, 12]. Однако, основным их недостатком является слабая приспособленность для практических расчетов. Кроме того, насколько нам известно, никаких целенаправленных сравнений для шин разного типа, диаметра и ширины не проводилось, что затрудняет резюмировать общие выводы о

влиянии силовых воздействий и показателей эластичности на площадь контактной поверхности на границе раздела грунт–шина.

Цель данной работы – оценить влияние нагрузки на колесо, внутришинного давления, а также размерных характеристик шин на характер изменения контурной площади контакта современных сельскохозяйственных шин.

Материалы и методы.

В качестве объектов исследований были выбраны широко распространенные в РФ сельскохозяйственные шины размерности: 16,9R38; 23,1R26; 28LR26, 30,5L32, 66х43-25 и другие (всего 22 варианта). Исследования проводили при различных уровнях вертикальной нагрузки (от 10 до 60 кН) и внутришинного давления (от 50 до 500 кПа).

Измерения осуществляли на ровной бетонной площадке. Контурную площадь контакта протектора шины определяли в соответствии с ГОСТ 7057-81. Отпечаток получали путем многократного подъема и опускания колеса на металлический лист, толщиной 4 мм, до полного заполнения следами протектора пятна контакта. Нанесение мела на наружную поверхность грунтозацепов шины обеспечивало четкость отпечатка на черной поверхности листа. Полученный контур очерчивали кривой, охватывающей выступы (Рисунок 1).

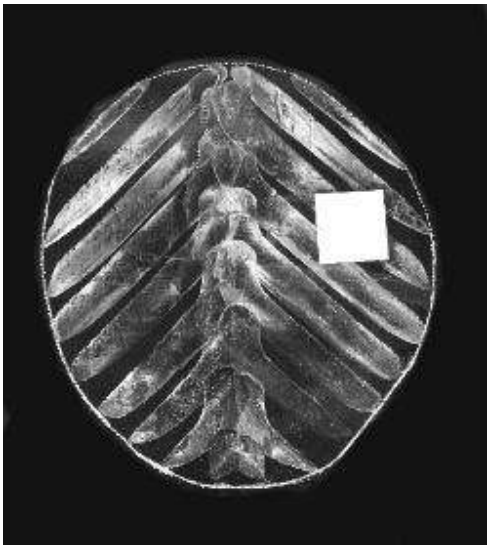


Рисунок 1 – Контурный отпечаток шины 30,5L32

Для определения площади контактной поверхности, отпечаток фотографировали с высоким разрешением цифровой фотокамерой. Далее, изображение преобразовывалось в монохромный формат и представлялось в виде прямоугольной матрицы $m \times n$, где каждый элемент принимал значение 0 или 255. Для расчета площади, количество элементов матрицы со значением 0 суммировалось и умножалось на масштабный коэффициент. Для расчета масштабного коэффициента использовали тонкую пластиковую пластину в форме квадрата со стороной 100 мм Калибровочная пластина использовалась также для устранения погрешности расчета, вызванной возможным отклонением оптической оси фотокамеры от строгой вертикали относительно отпечатка. Такой подход позволил значительно снизить трудоемкость обработки экспериментальных данных и обеспечить точность расчета площади контактной поверхности ± 0,6 мм^2.

Диаметр ненагруженной шины рассчитывали по длине окружности, измеренной на центральной линии протектора. Ширину профиля определяли на поверхности боковин в 4-х равнорасположенных точках. Статический радиус нагруженной вертикальным усилием шины измеряли от плоскости опоры до центра колеса.

Вертикальную нагрузку на ось колесного движителя создавали с помощью специализированной мобильной лабораторной установки «колесо-почва». Нагрузку изменяли дискретно, с шагом в 10 кН, до верхнего предела нагружения в 60 кН. Внутришинное давление выставляли с помощью образцового манометра.

Результаты и обсуждение. Размеры и форма пятен контакта протектора приведены на рисунке 2, на котором отчетливо видно, что их форма изменяется от овальной (при высоком давлении воздуха в шине и небольшой вертикальной нагрузке на ось), до прямоугольной – при понижении внутришинного давления и росте вертикальной нагрузки.

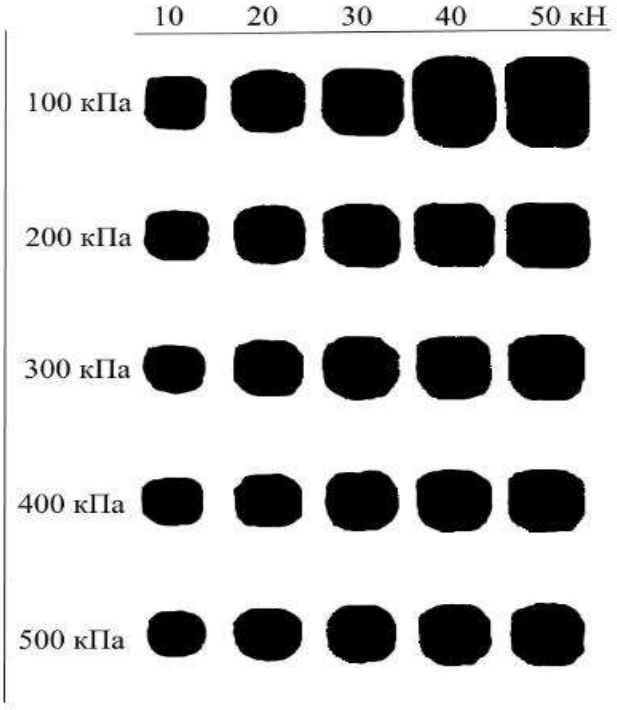


Рисунок 2 – Размеры и форма отпечатков протектора шин 600х65R38 на твердой поверхности

Характер изменения корреляционной связи «внутришинное давление – контурная площадь контакта» приведен на рисунке 3. Каждая из кривых приведенного графика соответствует своей величине вертикальной нагрузки на шину в 10, 20, 30, 40 и 50 кН. Причем, при аппроксимации их степенными линиями тренда получено довольно высокое значение коэффициента детерминации R^2: от 0,911 до 0,979. Степенная функция хорошо описывает и физический смысл характера взаимодействия протектора с опорой – с ростом внутришинного давления зона контакта вначале стремительно снижается, а затем интенсивность данного процесса замедляется и в конечном счете стремится к какому-либо конечному значению (асимптотически приближаясь к горизонтали), но не к нулю, как в случае с линейной зависимостью. Использование последней в виде аппроксимирующей функции не совсем корректно. Тем не менее, многие исследователи проводят «сглаживание» по трем точкам, чего явно недостаточно для получения и описания объективной картины происходящих явлений и процессов [13].

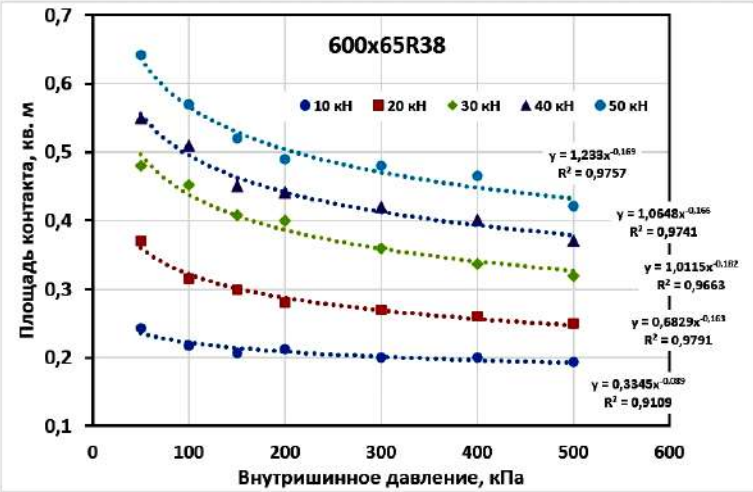


Рисунок 3 – Изменение площади пятна контакта при вертикальных нагрузках на ось колеса в 10, 20, 30,40 и 50 кН

Отдельно следует заметить, что выявленный нами характер связи «контурной площади контакта с внутришинным давлением» присущ не только данному конкретному типоразмеру шин, но и всем испытанным как нами, так и другими исследователями [14] образцам колесных движителей. Некоторые из них приведены на рисунке 4.

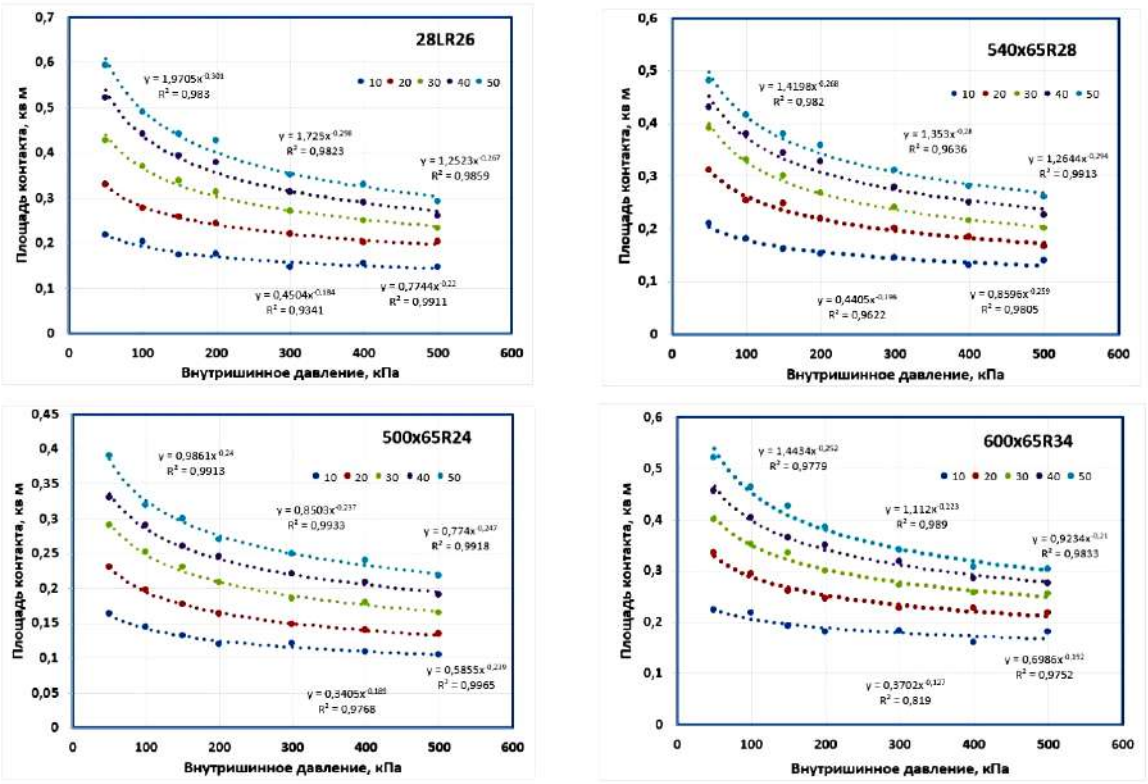


Рисунок 4 – Характер изменения площади отпечатка для шин: 28LR26, 540x65R28, 500x65R24, 600x65R34

Основной недостаток приведенных графиков – затрудненность определения площади контакта для промежуточных значений вертикальной нагрузки, не кратной 10, 20, 30 40 и 50 кН. Поэтому нами предложена несколько другая интерпретация связи контурной площади отпечатка с внутришинным давлением и вертикальной нагрузкой на ось: в виде трехмерных графиков. Приведенная на рисунке 5 поверхность отклика представляет собой геометрическую трактовку вышеназванной корреляционной связи. Для её построения используем результаты измерений, по которым построены графики, приведенные, например, на рисунке 3. Вначале построим трехмерные диаграммы рассеяния (называемые также XYZ диаграммами рассеяния), отражающие взаимосвязь между тремя переменными (X – нагрузка, Y – давление, Z – площадь). Полученный результат методом сглаживания (методом наименьших квадратов с весами, зависящими от расстояния, когда влияние отдельных точек уменьшается с расстоянием до поверхности) аппроксимируем сплайном, то есть функцией двух переменных, имеющей следующий вид:

$$z = k\frac{x^{0.479}}{y^{0.242}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, для шин данной размерности; $k=0,0852$; x – вертикальная нагрузка на колесо, кН; y – внутришинное давление, кПа.

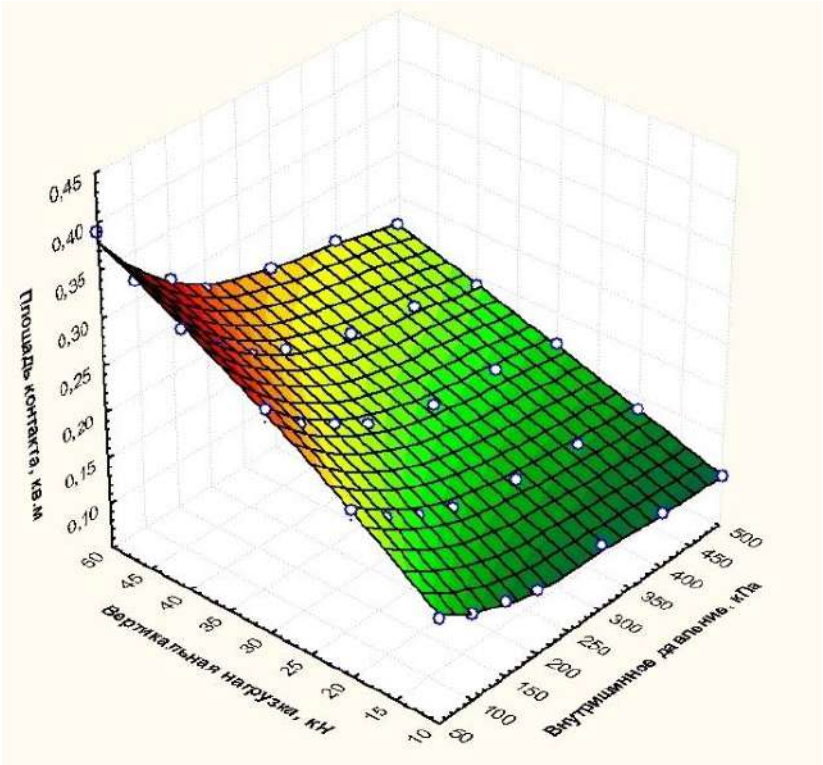


Рисунок 5 – Экспериментальные точки и аппроксимирующая поверхность отклика в двухфакторном эксперименте

Почему выбран именно этот вид аппроксимирующей функции? Во-первых, она довольно проста и легка в использовании при производстве инженерных расчетов. Во-вторых, коэффициент детерминации между экспериментальными данными и аппроксимирующей поверхностью отклика довольно высок. Для данного конкретного образца тракторной радиальной шины $R^2 = 0,992$. Для остальных исследуемых образцов шин данный показатель варьировал в диапазоне 0,961-0,997. Кроме того, график полезен для наглядного представления результатов исследований, включая возможность дальнейшей корректировки с использованием пользовательских функций.

Анализ приведенного на рисунке 5 графика показал, что в исследуемом диапазоне изменения вертикальной нагрузки на колесо и внутришинного давления, увеличение первого фактора ведет вначале к интенсивному, а затем – постепенному увеличению площади пятна контакта. С ростом давления воздуха в шине, наоборот происходит нелинейное снижение размеров контактирующей поверхности.

В процессе дальнейшего анализа результатов испытаний 22 образцов тракторных и комбайновых шин было выявлено, что все полученные аппроксимирующие поверхности можно привести к единой пользовательской функции:

$$S = k\frac{G_k^{0,5}}{p_w^{0,25}}, \quad (2)$$

где: S – площадь пятна контакта, м^2, *k*- коэффициент пропорциональности; $G_к$ – вертикальная нагрузка на колесо, кН; p_w – внутришинное давление, кПа.

На рисунке 6 представлены две поверхности отклика из которых нижняя построена по формуле (1), а верхняя – по формуле (2). Как видно из рисунка, с достаточной для инженерных расчетов точностью их можно взаимозаменять.

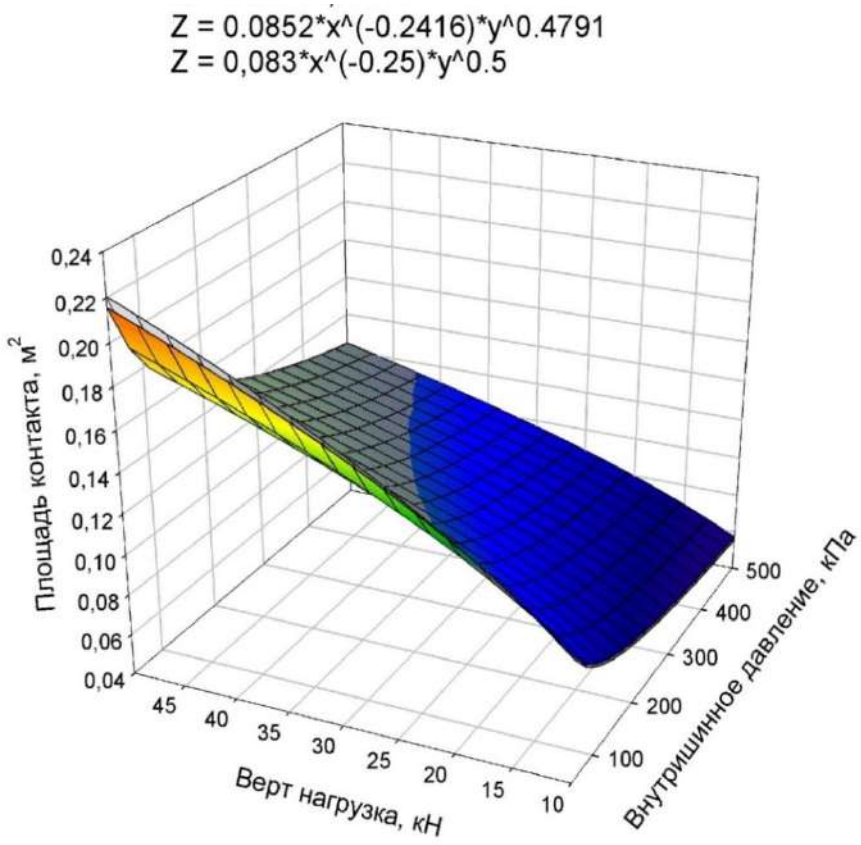


Рисунок 6 – Наложение графиков, построенных по двум формулам (приведены вверху)

Таким образом, независимо от типа шины (радиальная, диагональная), независимо от размеров резиново-кордной оболочки, площадь контакта будет пропорциональна корню квадратному из величины вертикальной нагрузки на ось колеса (выраженной в кН) и обратно пропорциональна корню четвертой степени из величины внутришинного давления (в кПа). Различия для каждого конкретного образца шин будут заключаться в значении коэффициента *k*. (Рис 6). Для вычисления последнего необходимо знать площадь пятна контакта оцениваемого образца шины, или её

аналога, имеющего тот же типоразмер, при любой конкретной величине $G_к$ и p_w. Дальнейшее изменение размеров поверхности соприкосновения протектора с опорным основанием, при изменении эластичности оболочки (внутришинного давления) и вертикальной нагрузки на колесо не сложно определить по формуле 2.

Оценку точности предлагаемой методики расчета размеров пятна контакта проведем для всей исследуемой группы шин по критерию NSE. Отметим, что характеристики некоторых образцов шин опубликованы в работе [7]. Результаты оценки приведены на графике (рис. 7), который демонстрирует насколько хорошо наблюдаемые и спрогнозированные данные соотносятся с линией $Y=x$, которая соответствует точному совпадению реальных значений с расчетными. Концентрация точек возле линии $Y=x$, наглядно доказывает адекватность предлагаемой модели. О том же свидетельствует высокое значение коэффициента эффективности моделирования по критерию NSE (Нэша-Сатклиффа) – NSE= 0,991.

Таким образом, предлагаемая нами методика определения контурной площади контакта современных колесных движителей, при изменении внешних (нагрузки на ось колеса) и внутренних (внутришинного давления) факторов вполне пригодна для практического использования. Для этого достаточно знать хотя-бы одно значение искомого показателя (S), при известном сочетании $G_к$ и p_w (вертикальной нагрузки на колесо и внутришинного давления). Затем, вычислив коэффициент пропорциональности, в конечном итоге рассчитать по формуле (2) контурную площадь контакта колесного движителя S = f ($G_к$ и p_w) для любых интересующих нас сочетаний $G_к$ и p_w.

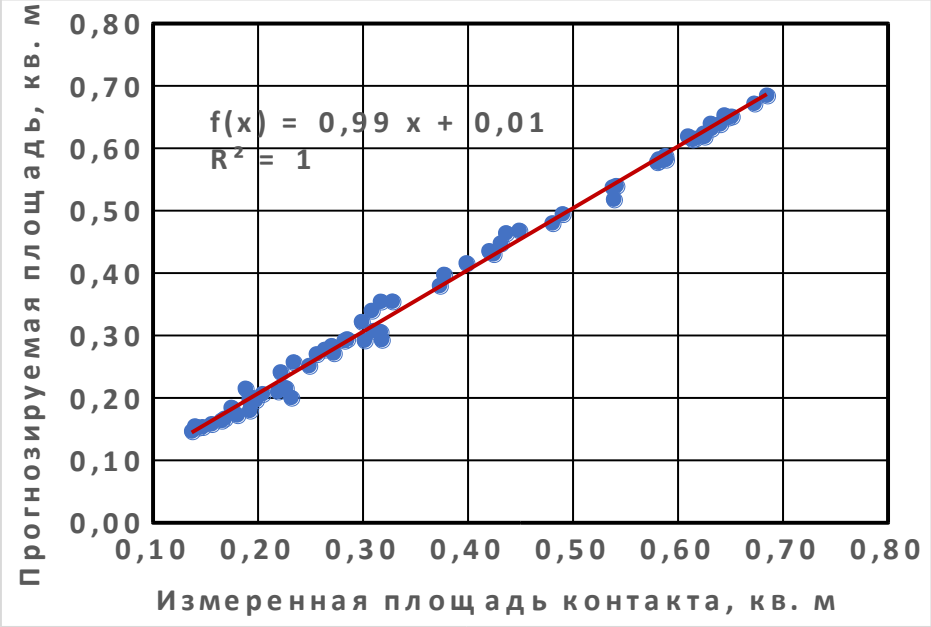


Рисунок 7 – Проверка степени совпадения результата моделирования и наблюдаемых значений S

Заключение. В результате проведённых исследований выявлено, что в исследуемом диапазоне изменения внутришинного давления и вертикальной нагрузки на ось колеса, увеличение последней ведет вначале к интенсивному, а затем к постепенному росту площади пятна контакта протектора с опорным основанием. С увеличением давления воздуха в шине происходит обратное явление - нелинейное снижение размеров контактирующей поверхности.

Предложенная эмпирическая модель для определения контурной площади контакта современных колесных движителей, при изменении внешних (нагрузки на ось колеса) и внутренних (внутришинного давления) факторов, вполне пригодна для практического использования. Высокий показатель критерия эффективности моделирования Нэша-Сатклиффа

(NSE = 0,991) свидетельствует о высокой степени достоверности разработанной модели и возможности её применения для сельскохозяйственных шин любых типоразмерных рядов (включая крупногабаритные и низкопрофильные), норм слойности, конструкций (радиальных или диагональных) и т.д.

Для производства расчетов достаточно знать хотя-бы одно значение площади контакта (S), при известном сочетании $G_к$ и p_w (вертикальной нагрузки на колесо и внутришинного давления). Затем, вычислив коэффициент пропорциональности рассчитать по предлагаемой формуле значение $S = f(G_к \text{ и } p_w)$ для любых интересующих нас сочетаний $G_к$ и p_w.

Метод позволит существенно улучшить качество прогнозной оценки уровня воздействия на почву как проектируемой, так и серийно выпускаемой тракторной, комбайновой и другой сельскохозяйственной техники.

Список источников

1. Русанов В. А. Проблемы переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

2. Schjønning P., Stettler M., Keller T., Lassen P., Lamandé M. Predicted tyre–soil interface area and vertical stress distribution based on loading characteristics // Soil & Tillage Research. 2015. V. 152. P. 52-66.

3. Ревенко В. Ю., Иванов А. Б., Скорляков В. И. Применение шин увеличенной размерности, как способ повышения эффективности работы машинно-тракторного агрегата / Наука в центральной России. 2022. № 2(56). С. 22-29 – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-22-29.

4. Schjшnning P, Lamander M, Tшgersen FA, Arvidsson J, Keller T. Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil–tyre interface. Biosystems Eng. 2008; 99: p. 119–133.

5. Gysi M, Maeder V, Weisskopf P. Pressure distribution underneath tires of agricultural vehicles. Trans ASAE 2001; 44: 1385–9.

6. Damme L., Stettler M., Pine, F., Vervaet P., Keller T., Munkholm L., Lamandé M. The contribution of tyre evolution to the reduction of soil compaction risks // Soil & Tillage Research. 2019. V. 194. P. 111- 121.

7. Ревенко В.Ю., Фролов С.С., Ткаченко А.Н., Иванов А.Б. Уточненная методика определения площади опорной поверхности шин современной сельскохозяйственной техники / Техника и оборудование для села. 2021. № 7 (289). С. 10-15. Doi: 10.33267/2072-9642-2021-7-10-15.

8. Ревенко В.Ю. Годжаев З.А., Русанов А.В. Методы оценки площади контакта колесных движителей с опорным основанием Тракторы и сельхозмашины. 2019. №5. С.48-54 https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-5-48-54

9. Way TR, Kishimoto T. Interface pressures of a tractor drive tyre on structured and loose soils. Biosystems Eng. 2004; 87: p. 375–386.

10. Jun H, Way TR, LoËfgren B, LandstroËm M, Bailey AC, Burt EC, et al. Dynamic load and inflation pressure effects on contact pressures of a forestry forwarder tire. J Terramechan 2004; 41: p. 209–222.

11. Keller T. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. Biosystems Eng. 2005; 92: p. 85–96.

12. Keller T., Sandin M., Colomba T., Horn R., Or D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning // Soil & Tillage Research. 2019. V. 194. P. 1- 12.

13. Липкань А.В., Панасюк А.Н., Годжаев З.А., Лавров А.В., Русанов А.В., Казакова В.А. Оценка способов экспериментально-аналитического определения контурной площади пятна контакта пневмошины с опорным основанием // Тракторы и седьхозмашины. 2021. № 1. С. 40-50 DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-40-50

14. Pillai P. Empirical equation for tire footprint area // Rubber Chem. Tech. 1986.V. 59(1). P. 155-159.

References

1. Rusanov V. A. Problemy pereuplotneniya pochv dvizhitelyami i effektivnye puti ee resheniya. – M.: VIM, 1998. – 368 s.

2. Schjønning P., Stettler M., Keller T., Lassen P., Lamandé M. Predicted tyre–soil interface area and vertical stress distribution based on loading characteristics // Soil & Tillage Research. 2015. V. 152. P. 52-66.

3. Revenko V. YU., Ivanov A. B., Skorlyakov V. I. Primenenie shin uvelichennoj razmernosti, kak sposob povysheniya effektivnosti raboty mashinno-traktornogo agregata / Nauka v central'noj Rossii. 2022. № 2(56). S. 22-29 – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-22-29.

4. Schjshnning P, Lamander M, Tshgersen FA, Arvidsson J, Keller T. Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil–tyre interface. Biosystems Eng. 2008; 99: p. 119–133.

5. Gysi M, Maeder V, Weisskopf P. Pressure distribution underneath tires of agricultural vehicles. Trans ASAE 2001; 44: 1385–9.

6. Damme L., Stettler M., Pine, F., Vervaet P., Keller T., Munkholm L., Lamandé M. The contribution of tyre evolution to the reduction of soil compaction risks // Soil & Tillage Research. 2019. V. 194. P. 111- 121.

7. Revenko V.YU., Frolov S.S., Tkachenko A.N., Ivanov A.B. Utochnennaya metodika opredeleniya ploshchadi opornoj poverhnosti shin sovremennoj sel'skohozyajstvennoj tekhniki / Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021. № 7 (289). S. 10-15. Doi: 10.33267/2072-9642-2021-7-10-15.

8. Revenko V.YU. Godzhaev Z.A., Rusanov A.V. Metody ocenki ploshchadi kontakta kolesnyh dvizhitelej s opornym osnovaniem Traktory i sel'hozmashiny. 2019. №5. S.48-54 https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-5-48-54

9. Way TR, Kishimoto T. Interface pressures of a tractor drive tyre on structured and loose soils. Biosystems Eng. 2004; 87: p. 375–386.

10. Jun H, Way TR, LoYOfgren B, LandstroYOm M, Bailey AC, Burt EC, et al. Dynamic load and inflation pressure effects on contact pressures of a forestry forwarder tire. J Terramechan 2004; 41: p. 209–222.

11. Keller T. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. Biosystems Eng. 2005; 92: p. 85–96.

12. Keller T., Sandin M., Colomba T., Horn R., Or D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning // Soil & Tillage Research. 2019. V. 194. P. 1- 12.

13. Lipkan' A.V., Panasyuk A.N., Godzhaev Z.A., Lavrov A.V., Rusanov A.V., Kazakova V.A. Ocenka sposobov eksperimental'no-analiticheskogo opredeleniya konturnoj ploshchadi pyatna kontakta pnevmoshiny s opornym osnovaniem // Traktory i sed'hozmashiny. 2021. № 1. S. 40-50 DOI: 10.31992/0321-4443-2021-1-40-50

14. Pillai P. Empirical equation for tire footprint area // Rubber Chem. Tech. 1986.V. 59(1). P. 155-159.

Информация об авторах

В. Ю. Ревенко – кандидат технических наук, ученый секретарь; В. И. Скорляков – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; А. Б. Иванов – научный сотрудник.

Information about the authors

V. Revenko – Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary; V. Skorlyakov – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher; A. Ivanov – researcher.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 29.06.2022 Принята к публикации (Accepted): 10.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.33.022.6
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-84-90

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЯЛКИ ОСНАЩЕННОЙ СОШНИКАМИ С ЗАДЕЛЫВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ БОРОЗД

Зубарев Андрей Геннадьевич[1], Бричков Сергей Валерьевич[2], Ларюшин Николай Петрович[3], Шуков Александр Васильевич[4]
[1,2,3,4]Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза, Россия
[1]larushinnp@mail.ru
[2]brichkov.sergey@mail.ru
[3]larushinnp@mail.ru
[4]Sashka-shukov@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Сергей Валерьевич Бричков, brichkov.sergey@mail.ru
Corresponding author Sergey Brichkov, brichkov.sergey@mail.ru

Реферат. *Для повышения одного из качественных показателей посева семян зерновых культур (раскладка семян на единицу длины или шаг посева) учеными Пензенского ГАУ был разработан, изготовлен и исследован экспериментальный сошник с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев, прикрепленных к корпусу сошника.* Для проведения лабораторно-полевых исследований использовалась сеялка СЗ-5,4, оснащенная экспериментальными сошниками. Изучалось влияние скорости посевного агрегата на неравномерность раскладки семян на единицу длины борозды. *Найдена адекватная математическая модель, а также построена графическая зависимость, характеризующая неравномерность распределения семян по длине рядка от скорости движения посевного агрегата, включающего в себя зерновую сеялку, оснащенную сошниками с заделывающими устройствами борозд, выполненными в виде двух пружинных пальцев, прикрепленных к корпусу сошника.* Адекватность модели проверена коэффициентом достоверности аппроксимации. *Установили, что оптимальным значением скорости движения посевного агрегата можно считать интервал значений от 6,5 до 11,2 км/ч. В данном диапазоне скоростей, произойдет снижение неудовлетворительной раскладки семян на единицу длины, что в свою очередь окажет влияние на повышение урожайности, производимой культуры, а также снижение затрат на её производство.*

Ключевые слова: *экспериментальный сошник, заделывающее устройство, сеялка, семена, пружинный палец.*

FIELD STUDIES OF A SEEDER EQUIPPED WITH COULTERS WITH FURROW SEALING DEVICES

Andrey Zubarev[1], Sergey Brichkov[2], Nikolay Laryushin[3], Alexander Shukov[4]
[1, 2, 3, 4] Penza state agrarian University, Penza, Russian Federation
[1]larushinnp@mail.ru
[2]brichkov.sergey@mail.ru
[3]larushinnp@mail.ru
[4]Sashka-shukov@yandex.ru

Abstract. *An experimental coulter with a furrow closing device made in the form of two spring fingers attached to the coulter body was developed, manufactured and studied by scientists of the Penza State Agrarian University to improve one of the quality indicators of sowing seeds of grain crops (seed layout per unit length or sowing step). Seeder SZ-5.4, equipped with experimental coulters, was used for laboratory and field research. The influence of the speed of the sowing unit on the uneven distribution of seeds per unit length of the furrow was studied.*

An adequate mathematical model has been found, and a graphical dependence has been constructed that characterizes the uneven distribution of seeds along the length of the row on the speed of the sowing unit, which includes a grain seeder equipped with coulters with furrow closing devices made in the form of two spring pins attached to the coulter body. The adequacy of the model is checked by the approximation confidence factor. It was found that the interval of values from 6.5 to 11.2 km/h can be considered the optimal value of the speed of the sowing unit. Reducing the unsatisfactory layout of seeds per unit length, which in turn will have an impact on increasing the yield of the crop produced, as well as reducing the cost of its production, will occur in this speed range.

Keywords: *experimental coulter, sealing device, seed drill, seeds, spring pin*.

Для цитирования: Зубарев А.Г., Бричков С.В., Ларюшин Н.П., Шуков. А.В. Полевые исследования сеялки оснащенной сошниками с заделывающими устройствами борозд // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 84-90. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-84-90.

For citation: Zubarev A., Brichkov S., Laryushin N., Shukov A. Field studies of a seeder equipped with coulters with furrow sealing devices// Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 84-90. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-84-90.

Введение. Основной операцией в технологии воспроизводства зерновых культур представляет собой посев. Урожайность имеет зависимость от многих факторов, таких как метеорологические условия, почвенная среда обитания, а также качественно и в сроки проведенные посевные работы. Всё перечисленное позволит снизить как затраты труда, так и себестоимость получаемой продукции.

Сошники, современных сеялок, не всегда отвечают агротехническим требованиям. В настоящее время в мировой практике, наибольшее распространение получили двухдисковые сошники, так как они достаточно точно копируют рельеф полей, имеют не плохие качественные показатели посева и меньшее тяговое сопротивление. Наряду с этим имеется и недостаток, такой как неудовлетворительная раскладка семян на единицу длины или шаг посева. Поэтому разработка сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника с целью улучшения качественных показателей посева семян (неудовлетворительная раскладка семян на единицу площади) является актуальной.

Учеными ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ был сконструирован, изготовлен и исследован сошник с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника, в котором постарались избежать указанный выше недостаток.

Материалы и методы. Для снижение неудовлетворительной раскладки семян на единицу длины в ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ сконструирован сошник с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника, изображенный на рисунке 1.

При работе сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника, заделка высеваемых семян происходит за счет сгруживания почвы пружинными пальцами в бороздку образованную дисками сошника, от этого снижается неудовлетворительная раскладка семян на единицу длины, а в результате выравнивания почвы подпружиненными пальцами семена располагаются на одинаковой глубине заделки.

Сошник с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника (рис.1) состоит из корпуса (1) и двух дисков (2), которые в свою очередь установлены под углом друг к другу. Также сошник с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника имеет направитель семян и рыхлитель почвы, выполненные в виде трубы (3) сечением которой является эллипс. С верху участок трубы (3) неподвижно крепится раструбом (4) к воронке семянапровителя (5) горловины (6) корпуса (1) сошника. К нижней части трубы (3) закреплен гаситель скорости семян (7). На задней части корпуса (1) сошника закреплено устройство для

заделки семян выполненным в виде двух пружинных пальцев, это устройство содержит два отдельных прикрепленных к корпусу сошника пружинных пальцев, один выполнен правым (8), а второй– левым (9) по ходу движения сошника с заделывающим устройством борозды. Концы пружин (10) выполнены в виде петлей 11. При помощи втулки (13) изготовленной из антифрикционного материала, в которую установлена поддерживающая ось 14 происходит крепление пружинных пальцев к корпусу сошника. Ось (14) со всех сторон имеет резьбу, и часть обработанную под квадрат (15). Сошник с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев имеет специальный рычаг (16) для регулировки необходимого угла наклона пружинных пальцев который закреплен гайкой (17).

Работа сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника заключается в следующем. Во время движения сеялки сошники с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев, установленные под углом друг к другу на корпусе (1), нарезают в почве бороздки для семян и удобрений. Семенной материал, попадает из семяпровода в воронку (5) через горловину (6), затем самотеком поступает в трубу (3), которая выполняет роль направителя посевного материала и рыхлителя почвы. Преодолевая гаситель скорости (7) посевной материал попадает в борозду. В результате установки на задней части корпуса (1) сошника заделывающего устройства выполненного в виде двух пружинных пальцев борозда заделывается почвой равномерно, без пропусков.

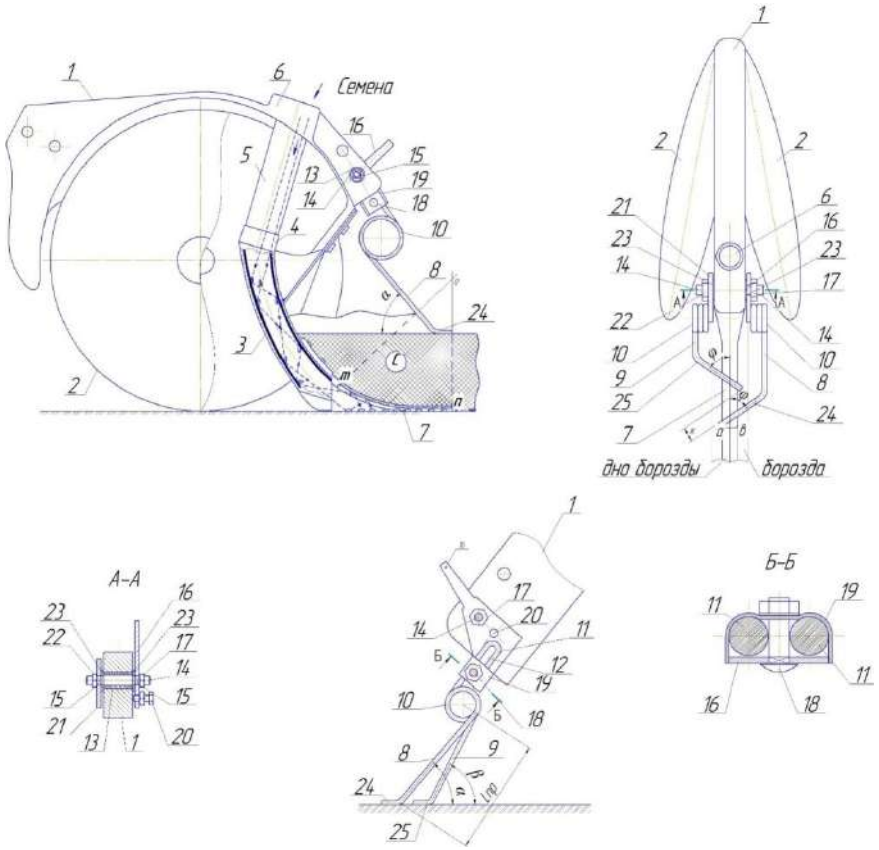


Рисунок 1 – Схематичное изображение сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника: 1 −корпус; 2– диск; 3 − труба; 4 −раструб; 5 − воронка; 6 −горловина; 7 − гаситель;8 – правый пружинный палец; 9 –левый пружинный палец; 10 − пружина; 11 − петля; 12 − паз; 13 − втулка; 14 −ось; 15 − квадрат;16 – рычаг;17 − гайка; 18 − болтовое соединение; 19 − накладка;

20 − фиксирующий винт; 21 − опорная пластина; 22 − гайка; 23 −шайба; 24–правый стержень; 25 –левый стержень;

Лабораторно-полевые исследования сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника (рисунок 3) проводились в соответствии с ГОСТ 31345-2007 и СТО АИСТ 5.6-2010 с использованием сеялки СЗ-5,4 (рисунок 2). Исследования проводились в 2022 гг. на полях БИОСИНТЕЗ-С Мокшанского района, Пензенской области.

Целью исследований сеялки СЗ-5,4, оснащенной экспериментальными сошниками с заделывающими устройствами борозды, выполненными в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника, явилось изучение влияния поступательной скорости посевного агрегата на неравномерность раскладки семян на единицу длины борозды.

Рисунок 2 - Общий вид сеялки СЗ-5,4с экспериментальными сошниками с заделывающими устройствами борозды, выполненными в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника

Рисунок 3 - Экспериментальный сошник с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника

Результаты и их обсуждение. Обработав результаты лабораторно-полевых исследований сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника получили адекватную математическую модель зависимости параметров неравномерности распределения семян по длине рядка от поступательной скорости

посевного агрегата, сеялка которого оснащена сошниками с заделывающими устройствами борозды, выполненными в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника.

$$\nu=0{,}328v^2-5{,}957v+49{,}35$$

где ν - неравномерность распределения семян по длине рядка,%

v - поступательная скорость посевного агрегата, сеялка которого оснащена сошниками с заделывающими устройствами борозды, выполненными в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника.

Адекватность модели проверена коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2=0{,}928$, что говорит о том, что модель хорошего качества.

В результате обработки опытных данных полученных в лабораторно-полевых исследованиях сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника, построили графическую зависимость неравномерности распределения семян зерновых культур по длине рядка (ν, %), от скорости движения посевного агрегата, сеялка которого оснащена сошниками с заделывающими устройствами борозды, выполненными в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника, которая приведена на рисунке 4.

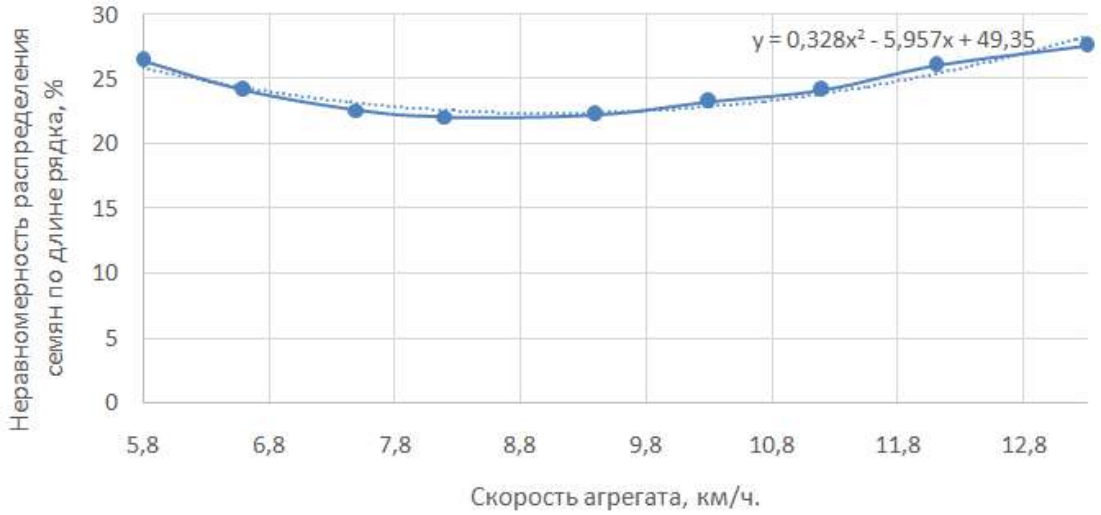


Рисунок 4 – Графическая зависимость неравномерности распределения семян по длине рядка от скорости движения посевного агрегата, сеялка которого оснащена сошниками с заделывающими устройствами борозды, выполненными в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника

Из представленной графической зависимости неравномерности распределения семян по длине рядка от скорости движения посевного агрегата, сеялка которого оснащена сошниками с заделывающими устройствами борозды, выполненными в виде двух пружинных пальцев прикрепленных к корпусу сошника видно, что оптимальный диапазон скоростей находится в пределе от 6,5 до 11,2 км/ч., так как неравномерность распределения семян по длине рядка в этом диапазоне составила 22–24%.

Заключение. При использовании экспериментального сошника с заделывающим устройством борозды, выполненным в виде двух пружинных пальцев, прикрепленных к корпусу сошника получен следующий результат: равно устойчивый, однородный, посев, без образования в семенопровители заторов, дно борозды уплотненное по всей длине. При работе сошника, исключено раскатывание семян по дну борозды, так как происходит быстрое их уплотнение почвой пружинными пальцами, при этом обеспечивается быстрое, равномерное прорастание

семян. Все перечисленное выше улучшает качество посева семян, что в свое время приводит к повышению благоплодию производимой культуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский фонд фундаментальных исследований» (договор №19 – 38 – 90158/19)

Список источников

1. Ларюшин, Н.П. Посевные машины. Теория, конструкция, расчёт / Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, В.В. Шумаев [и др.] – Москва: Росинформагротех, 2010.- 292 с.
2. Петухов, Д.А. Современные посевные машины / Д.А. Петухов, В.В. Сердюк // Техника и оборудования для села. – 2012. – № 1. – С. 18–21.
3. Конструкция сошника с заделывающим устройством борозды для зерновой сеялки / Н. П. Ларюшин, С. В. Бричков, А. В. Шуков, Т. А. Кирюхина // Нива Поволжья. – 2021. – № 1(58). – С. 127-131.
4. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Москва: Изд-во стандартов, 2007. – 28 с.
5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической об-работки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с
6. Лабораторные исследования сошника зерновой сеялки с заделывающим устройством борозды / С. В. Бричков, Н. П. Ларюшин, А. Н. Калабушев, А. В. Шуков // Нива Поволжья. – 2021. – № 3(60). – С. 97-101.
7. Ларюшин Н.П., Ванин Д.В., Шумаев В.В., Кирюхина Т.А. Конструкция сошника сеялки для посева зерновых культур //Нива Поволжья. 2018. № 4 (49). С. 137-143.
8. Ларюшин, Н.П. Технология и средство механизации посева мелкосеменных масличных культур комбинированными сошниками сеялки. Теория, конструкция, расчет/ Н.П. Ларюшин, В.В. Шумаев, А.В. Шуков. – Пенза : РИО ПГАУ, 2018 .— 179 с.

References

1. Larjushin, N.P. Posevnye mashiny. Teorija, konstrukcija, raschjot / N.P. Larjushin, A.V. Machnev, V.V. Shumaev [i dr.] – Moskva: Rosinformagroteh, 2010.- 292 s.
2. Petuhov, D.A. Sovremennye posevnye mashiny / D.A. Petuhov, V.V. Serdjuk // Tehnika i oborudovanija dlja sela. – 2012. – № 1. – S. 18–21.
3. Konstrukcija soshnika s zadelyvajushhim ustrojstvom borozdy dlja zernovoj sejalki / N. P. Larjushin, S. V. Brichkov, A. V. Shukov, T. A. Kirjuhina // Niva Povolzh'ja. – 2021. – № 1(58). – S. 127-131.
4. GOST R 52778-2007. Ispytanija sel'skohozjajstvennoj tehniki. Metody jekspluatacionno-tehnologicheskoj ocenki. – Moskva: Izd-vo standartov, 2007. – 28 s.
5. Dospehov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj ob-rabotki rezul'tatov issledovanij). – 5-e izd., dop. i pererab. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 351 s
6. Laboratornye issledovanija soshnika zernovoj sejalki s zadelyvajushhim ustrojstvom borozdy / S. V. Brichkov, N. P. Larjushin, A. N. Kalabushev, A. V. Shukov // Niva Povolzh'ja. – 2021. – № 3(60). – S. 97-101.
7. Larjushin N.P., Vanin D.V., Shumaev V.V., Kirjuhina T.A. Konstrukcija soshnika sejalki dlja poseva zernovyh kul'tur //Niva Povolzh'ja. 2018. № 4 (49). S. 137-143.
8. Larjushin, N.P. Tehnologija i sredstvo mehanizacii poseva melkosemennyh maslichnyh kul'tur kombinirovannymi soshnikami sejalki. Teorija, konstrukcija, raschet/ N.P. Larjushin, V.V. Shumaev, A.V. Shukov. – Penza : RIO PGAU, 2018 .— 179 s.

Информация об авторах

А. Г. Зубарев – инженер; С. В. Бричков – аспирант; Н. П. Ларюшин – доктор технических наук, профессор; А.В. Шуков – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. G. Zubarev - engineer; S. V. Brichkov – post-graduate student; N. P. Laryushin - Doctor of Technical Sciences, Professor; A.V. Shukov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

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

Поступила в редакцию (Received): 12.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.08.2022

Тип статьи: обзорная
УДК 631,363
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-91-101

ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Сергей Михайлович Ведищев[1], Анатолий Иванович Завражнов[123], Прохоров Алексей Владимирович[1], Екатерина Богдановна Ложкина[2]
[1,2,3]Тамбовский государственный технический университет, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Мичуринский государственный аграрный университет
[1]serg666_65@mail.ru; pav1981@bk.ru
[123]aiz@mgau.ru
[2]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com

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

Реферат. *Поиск рациональной конструкции смесителя кормов животных сводится к определению конструктивно-режимных параметров машины, которая по своим показателям качества и энергозатрат наиболее полно отвечала бы зоотехническим и технико-экономическим требованиям. Был сделан анализ наиболее типичных конструкций смесителей кормов. Выявлены их основные недостатки: малая производительность, сложность аппаратурных решений основных процессов, большая энергоемкость узла смешивания и вероятность заклинивания при попадании посторонних предметов; отсутствие контроля за параметрами смешивания; сложность процесса выгрузки готового продукта и его автоматизации; ручное управление узлами. Предложена классификация смесителей кормов по показателям наибольшего влияния на качество смеси и энергозатраты процесса: виду кормов; кинематическому режиму; характеру смешивания; конструктивному признаку; конструктивному исполнению бункера; по количеству смешивающих валов; расположению рабочего органа; способу смешивания; по виду движения смешиваемых компонентов; по типу рабочего органа. Выбрана перспективная конструкция: по виду кормов – для сухих; по кинематическому режиму – тихоходная; по характеру смешивания – периодического действия; по конструктивному признаку – с неподвижным корпусом; по конструктивному исполнению бункера – круглой формы; по количеству смешивающих валов – двухвальная; по расположению рабочего органа – наклонная; по способу смешивания – принудительного действия; по виду движения смешиваемых компонентов – циркуляционная; по типу рабочего органа – шнековая с активным каналом обратного хода. Использование такой конструкции обеспечит высокое качество смешивания; повысит технологическую надежность работы смесительных агрегатов; снизит удельные затраты энергии на процесс приготовления порции комовой смеси.*

Ключевые слова: *классификационные признаки, показатель качества, смеситель, энергозатраты.*

OVERVIEW AND ANALYSIS OF MIXING DEVICE DESIGNS

Sergey Vedishchev [1], Anatoly Zavrazhnov[123], Alexey Prokhorov[1], Ekaterina Lozhkina[2]
[123]Tambov State Technical University, All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Michurinsk State Agrarian University
[1]serg666_65@mail.ru; pav1981@bk.ru
[123]aiz@mgau.ru
[2]lozhkina.ekaterina2016@gmail.com

Abstract. *The search for a rational design of an animal feed mixer is reduced to determining the structural and operational parameters of a machine that, in terms of its quality and energy costs, would most fully meet the zootechnical and technical and economic requirements. The analysis of the most typical designs of feed mixers was made. Their main shortcomings were revealed: low productivity, complexity of hardware solutions of the main processes, high energy consumption of the mixing unit and the probability of jamming when objects hit the sides; lack of control over the mixing parameters; complexity of the process of unloading the finished product and its automation; manual control of nodes. The classification of feed mixers is proposed according to the indicators of the greatest influence on the quality of the mixture and the energy consumption of the process: the type of feed; kinematic mode; the nature of mixing; the constructive sign; the design of the hopper; the number of mixing shafts; the location of the working body; the method of mixing; by the type of movement of the components being mixed; by the type of working body. A promising design was chosen: according to the type of feed – for dry; according to the kinematic mode - slow–speed; by the nature of mixing – periodic action; by the structural feature - with a fixed body; by the design of the hopper – round shape; by the number of mixing shafts – two–shaft; by the location of the working body – inclined; by the method of mixing – forced action; by the type of movement of the components being mixed - circulating; by the type of working body – screw with an active reverse channel. The use of such a design will ensure high quality of mixing; will increase the technological reliability of the mixing units; it will reduce the specific energy costs for the process of preparing a portion of the lump mixture.*

Keywords: *classification features, quality indicator, mixer, energy consumption.*

Для цитирования: Ведищев С.М., Завржнов А.И., Прохоров А.В., Ложкина Е.Б. Обзор и анализ конструкций смесительных устройств // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 91-101. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-91-101.

For citation: Vedishchev S., Zavrazhnov A., Prokhorov A., Lozhkina E. Overview and analysis of mixing device designs // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 91-101. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-91-101.

Введение. Для приготовления кормов животным в нашей стране и за рубежом нашли применение смесители кормов, как выпускаемые серийно, так и отдельные образцы, изготовленные аспирантами и соискателями НИИ вузов, конструкторских бюро, а также специалистами и рационализаторами хозяйств. Разнообразие этих устройств связано с различными зоотехническими требованиями к процессу смешивания для различных видов и возрастных групп животных, разнообразием зональных особенностей кормов и их физико-механических свойств, размерами и назначением кормоприготовительного оборудования, в также поиском рациональной конструкцией машины, которая по своим показателям качества наиболее полно отвечала бы зоотехническим и технико-экономическим требованиям [1].

Материалы и методы. Для выявления направления совершенствования существующих смесителей кормов рассмотрим классификацию и проведем анализ наиболее типичных конструкций таких машин [1].

С учетом ранее разработанных классификаций смесителей кормов [1 – 13] по показателям наибольшего влияния на качество смеси и энергозатраты процесса их целесообразно классифицировать по следующим основным признакам (рис. 1): виду кормов; кинематическому режиму; характеру смешивания; конструктивному признаку; конструктивному исполнению бункера; по количеству смешивающих валов; расположению рабочего органа; способу смешивания; по виду движения смешиваемых компонентов; по типу рабочего органа.

По виду кормов целесообразны смесители для сухих рассыпных кормосмесей, как наиболее технологичных.

По кинематическому режиму работы смесители разделяются на тихоходные ($k < 30$) и быстроходные ($k > 30$). Время приготовления в быстроходных смесителях несколько меньше, чем в тихоходных, но выше удельные энергозатраты на единицу корма. Быстроходные смесители

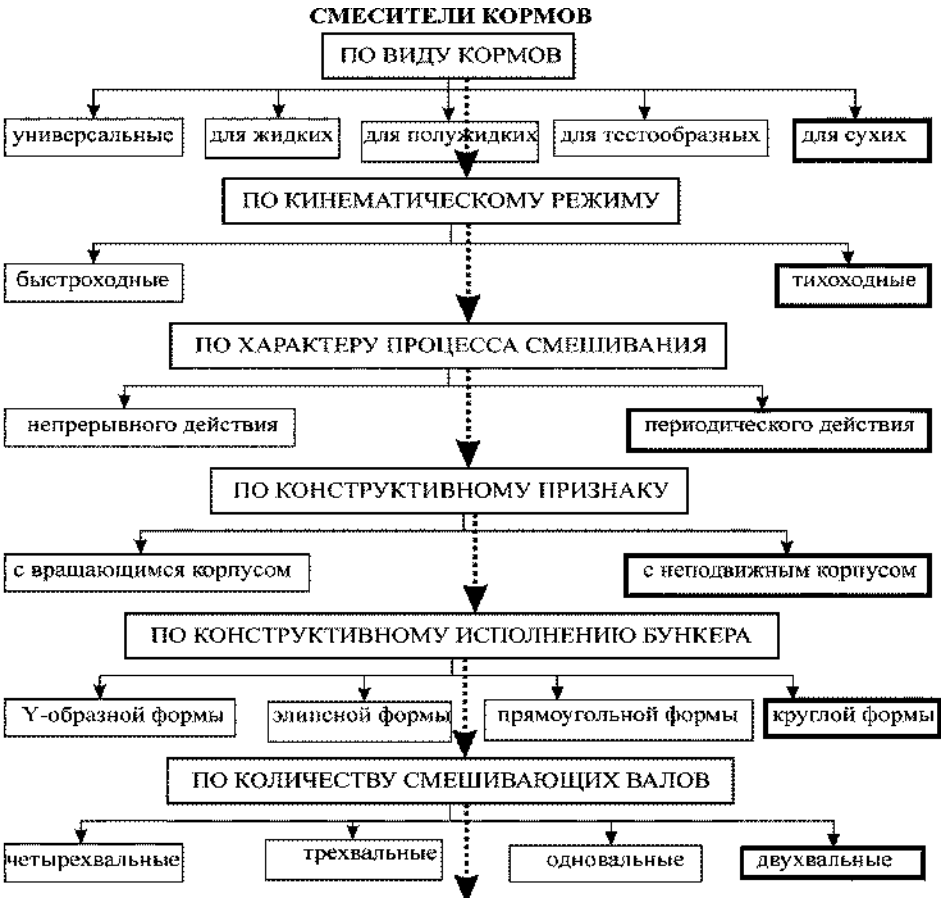
применимы не для всех типов кормов. При высокой частоте вращения рабочих органов происходит дополнительное измельчение компонентов корма [13].

По характеру процесса смесители подразделяются на: непрерывного и периодического действия [2]. В смесителях непрерывного действия исходные компоненты подаются постоянно, проходя процесс перемещения от места загрузки к месту выгрузки. Использование смесителей непрерывного действия требует точного дозирования компонентов для получения готового продукта высокого качества. [2].

Смесители периодического действия также разделяются по принципу воздействия на перемешиваемый материал: гравитационного и принудительного действия [2]. Смесители принудительного действия оснащены смесительными рабочими органами, которые воздействуя на массу исходных компонентов, осуществляют их перераспределение [2].

Применение смесителей периодического действия выгодно при кормлении небольшого количества животных в условиях фермерских хозяйств. Применение таких смесителей повышает качество смешивания, что сказывается на продуктивности животных [1].

При смешивании кормовых продуктов по конструктивному признаку применяются смесители с вращающимся корпусом, либо барабанные смесители. Барабанные смесители различаются формой корпуса и его расположением к оси вращения. [1, 12].



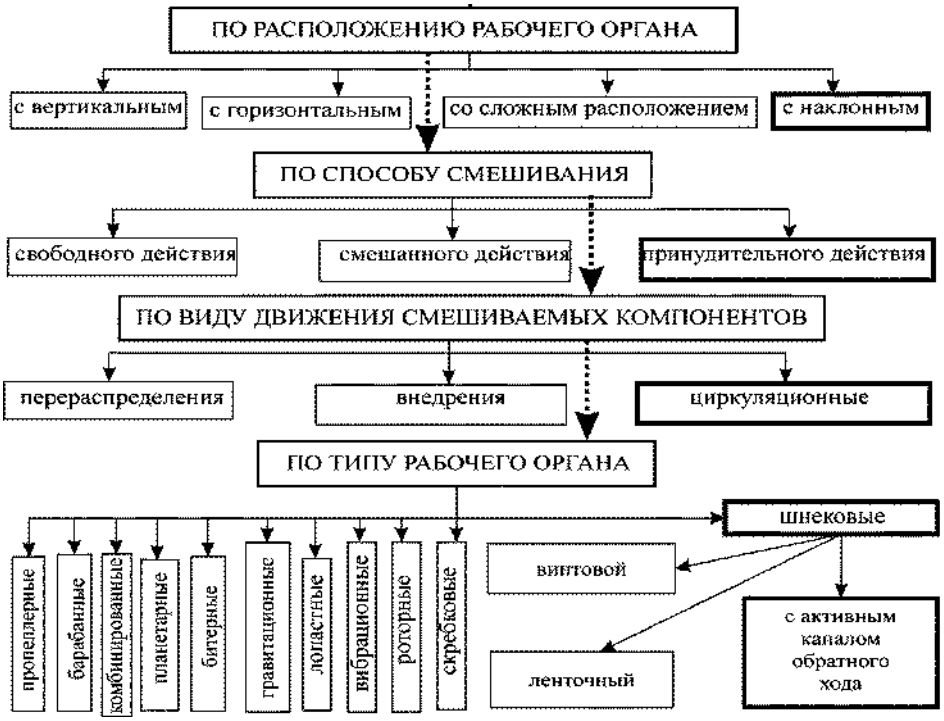


Рисунок 1 – Классификация смесителей кормов

Барабанные смесители относятся к тихоходным машинам, так как окружная скорость вращения их корпуса не велика и составляет 0,17 – 1,00 м/с [10]. К преимуществам барабанных смесителей можно отнести: простоту устройства; возможность смешивания компонентов без истирания и разрушения формы; перемешивание абразивных компонентов. К недостаткам: низкое качество смешивания; длительный цикл смешивания; большие энергетические затраты на единицу готовой продукции [10].

Для рационального перемешивания кормовых материалов применяют одно-, двух-, трех- и четырехвальные ленточные смесители [14]. Увеличение количества рабочих органов приводит к усложнению конструкции.

По расположению рабочих органов смесители можно разделить на вертикальные, горизонтальные, с наклоном и сложное [8].

Вертикальное расположение оси шнеков (1 – 2 шнека) и наличие зазора между шнеком и стенкой смесительной камеры позволяет кормовой массе, поднимаемой шнеком, свободно сползать вниз по стенкам воронкообразной смесительной камеры, что создает щадящий режим обработки компонентов рациона без повреждения их структуры.

Простота конструкции, небольшие затраты на техобслуживание и быстрая окупаемость вертикальных смесителей оказывают хорошую перспективу для их использования сельхозтоваропроизводителями [10].

Одним из видов смесителей с вертикальными рабочими органами являются планетарные смесители. Особенностью планетных смесителей является множество вариантов конструкций рабочих органов (лопастные, шнековые, винтовые и ряд других) и возможность их замены [2]. Достоинство: высокая производительность; высокое качество перемешивания; способность перемешивать материалы с различными физическими свойствами. Недостатки: высокие энергозатраты; сложная конструкция планетарной передачи; большое время разгрузки.

Смесители с горизонтальными рабочими органами обеспечивают высокое качество смеси и низкие удельные затраты энергии. Конструкция смесителя с горизонтальным расположением шнека (2 - 4 шнека) предусматривает перемещение кормовой массы по дну смесительной камеры,

что приводит к усиленному износу стенок смесительной камеры и повышенный риск повреждения перемешивающей системы инородными телами, а также вызывает интенсивное воздействие на структуру кормовых компонентов, сдавливание кормовой массы по дну смесительной камеры и образование комков [14].

Преимущества смесителей с наклонными рабочими органами заключаются в лучшей организации циркуляции компонентов корма с исключением застойных зон, прессования и фракционирования кормов [15].

По способу смешивания перемешивание компонентов в смесителе может осуществляться свободно (под действием сил гравитации), принудительно и смешанно [12].

При гравитационном воздействии компоненты смешиваются под действием силы тяжести и взаимодействия с различными неподвижными конструктивными элементами. Известны следующие конструкции таких машин: лотковый; бункерный; ударно-распылительный; виброгравитационный [2].

К преимуществам гравитационных смесителей можно отнести простоту и надежность устройства, отсутствие движущихся побудителей смешивания, малые удельные расходы энергии. Их недостатки: низкое качество смешивания, необходимость точного дозирования из-за низкой сглаживающей способности, возможность смешивания материалов с хорошей и в отдельных случаях – средней сыпучести [2, 16].

Для улучшения показателей работы гравитационных смесителей в них применяют дополнительно принудительное смешивание за счет установки подвижных рабочих органов, придания компонентам корма вибрации. Вибрация исключает возможность зависания смешиваемых компонентов при переходе их из секции в секцию, повышает качество смеси (можно достичь однородности смеси до 97% [16]), позволяет уменьшить угол наклона к горизонту внутренних рабочих поверхностей смесителя, что намного сокращает его размеры [16].

Примером совмещения гравитационного процесса смешивания с принудительным могут служить смесители-дозаторы кормов, которые объединяют в себе многокомпонентный дозатор тарельчатого типа и смеситель, работающий по принципу перемешивания потоков компонентов [17] или за счет потока воздуха между конусом и быстровращающимся диском с лопатками. Конструкция дозаторов-смесителей позволяет не только получать большую производительность при минимальных энергозатратах, но также оперативно изменять структуру корма [17].

Примером совмещения гравитации и вибрации могут служить усовершенствованный смеситель сыпучих кормов непрерывного действия, разработанный инженером А. Яцуновым [18] и вибросмеситель периодического действия с рабочей камерой, установленной на амортизаторах, конструкции Ивановой А.П. [19]. Улучшение качества смеси получают за счет интенсификации процесса смешивания благодаря изменению угла наклона перемешивающих элементов к днищу желоба в поперечной горизонтальной плоскости [18] или за счет применения различных форм рабочих камер [19]. Данные смесители имеет низкую эксплуатационную надежность, обусловленную большим количеством подвижных сопряжений, а также дополнительные затраты энергии на создание закрученного потока воздуха и переизмельчение продукта.

Достоинство смесителей принудительного действия: высокая производительность; способность приготовления смесей различных физических характеристик; высокое качество перемешивания. Недостатки: высокое энергопотребление; сложность конструкции; износ рабочих органов [2].

По виду перемещения материалов внутри бункера смесителя разделяют на: внедрения, перераспределения и циркуляционные.

В смесителях первой группы частицы одного компонента внедряются в зазоры между частицами других компонентов, что может происходить под давлением воздуха, силы гравитации или воздействия вибрации. Установки, использующие давление воздуха для перемешивания компонентов, обеспечивают хорошее качество при производстве рассыпчатых кормосмесей и сухих комбикормов [8], однако при использовании мелкодисперсных компонентов возникает угроза возникновения пожара, взрыва.

В смесителях, работающих по принципу перераспределения, материалы внутри бункера перемещаются хаотически [8]. Продолжительность смешивания в таких устройствах зависит от

скорости образования поверхностей сдвига в смешиваемых материалах. Эти смесители имеют производительность в диапазоне 4,8…7,1 т/ч, у них коэффициент неравномерности смешивания составляет 14,2…35,1 % [8]. Достоинствами являются простота конструкции, небольшие энергозатраты и достаточно высокая однородность смеси. У смесителей данного типа в результате большого числа пересыпаний смешиваемых материалов внутри бункера может происходить сегрегация отдельных компонентов, при смешивании увлажненных кормов наблюдается их налипание на стенки бункера.

В смесителях циркуляционного действия происходит интенсивный процесс смешивания за счет обеспечения возможности многократного перемещения материала внутри бункера. Этот процесс можно охарактеризовать, как конвективное смешивание, когда частицы компонентов перемещаются группами и при этом непрерывно образуют новые поверхности раздела. Поэтому эти смесители могут обеспечить любое нужное качество смеси. Эти смесители разделяют на вертикальные и горизонтальные. Представителями первой группы являются смесители типа F-928 (ФРГ), а также фирмы «Саймон - Баррон» (Великобритания). Их достоинством является сравнительно небольшая продолжительность процесса смешивания, кроме того такие смесители занимают незначительную площадь производственного помещения.

По типу рабочих органов смесители можно разделить на пропеллерные, барабанные, планетарные, битерные, гравитационные, лопастные, вибрационные, роторные, скребковые, шнековые, комбинированные.

Пропеллерные смесители применяют для интенсивного перемешивания жидкостей, имеющих небольшую вязкость (с динамической вязкостью до 4,0 Па·с), для взмучивания осадков, содержащих до 10% твердой фазы с размерами частиц до 0,15 мм, а также приготовления суспензий и эмульсий [7]. Для пропеллерных смесителей характерны высокое насосное действие и хорошая циркуляция содержимого сосуда при эффективном перемешивании [7].

Роторные смесители применяют для смешивания сухих кормовых компонентов в небольших производствах, в которых объединяют процессы смешивания и дозирования. В смесителях с быстро вращающимися роторами используется эффект псевдоожижения сыпучих материалов, основанный на том, что при большой скорости движения частиц кинетическая энергия отдельной частицы оказывается больше работы, необходимой для преодоления сопротивления сил трения и сил тяжести. Благодаря этому каждая частица приобретает высокую подвижность [8]. В зависимости от конструкции ротора смесители этого типа разделяют на лопастные [20], дисковые [8], с вращающимся конусом. Частота вращения мешалок 1…10 $с^{-1}$ [21].

К преимуществам роторных смесителей можно отнести небольшую металлоемкость, простоту устройства; высокую однородность смешивания (до 95%). Рабочие органы обеспечивают полную саморазгрузку за короткий промежуток времени - 15...30 секунд [22].

Недостатками роторных смесителей, независимо от конструкции ротора, являются: высокие удельные затраты энергии на процесс смешивания, высокое истирающее воздействие на компоненты смеси вследствие большой частоты вращения рабочих органов.

Недостатком тихоходных лопастных смесителей является длительность приготовления порции корма.

Недостатком червячно-лопастных смесителей является значительный расход электроэнергии на единицу объема готовой смеси, большой износ лопастей валков, большое количество сальниковых уплотнений, трудность чистки, сравнительно малый полезный объем. По этим причинам они не могут быть рекомендованы для смешивания сухих рассыпных материалов.

Шнековые смесители в зависимости от пространственного расположения рабочего органа подразделяются на вертикальные, наклонные и горизонтальные. Данная особенность, определяющая способ перемешивания, оказывает непосредственное влияние на результат обработки кормовой смеси и срок эксплуатации самого смесителя [8].

Смесители со шнековыми рабочими органами: ленточные спирали (одинарные, двойные, тройные); лопастные (лопатки различной формы: прямоугольные, трапецеидальные, сегментные и др.); винтовые (с активным или пассивным каналом обратного хода) имеют следующие преимущества: низкий удельный расход электроэнергии; высокая производительность на единицу

занимаемой площади; небольшая материалоемкость; высокая степень смешивания компонентов; короткое время цикла смешивания; возможен ввод жидких компонентов.

В тех случаях, когда кормосмеситель имеет несколько равноценных по воздействию на смешиваемые компоненты перемешиваемых органов, то его следует отнести к смесительным агрегатам с комбинированным рабочим органом.

Лопастные горизонтальные смесители С-12, СГК-1М, А1-ДСЖ, швейцарской фирмы «Бюлер», голландских фирм «Van Aarsen» и «Wynveen International b.p.», американской «Хенз энд Стоуриз», У3-ДСП (Воронеж) и ряд других предназначены для приготовления кормовых смесей влажностью 65-85% с запариванием или без запаривания, а также сухих рассыпных кормосмесей [10]. Они имеют один (СГК-1М, «Бюлер», «Van Aarsen», «Хенз энд Стоуриз», «Wyn International b.p.» или два («Van Aarsen», «Wynveen International b.p.», У3-ДСП [11] рабочих органа.

Возможность регулирования угла поворота лопастей относительно их оси позволяет устанавливать наиболее рациональный угол, зависящий от структурно-механических и адгезионных свойств перемешиваемых компонентов смеси [11].

К недостаткам лопастных смесителей относятся: длительность смешивания; значительный износ стенок смесительной камеры и, как следствие, небольшой срок эксплуатации.

Улучшенные показатели качества корма, снижение энергозатрат обеспечивается за счет применения ступенчатого смешивания [6]: предварительного смешивания потоков ингредиентов с высокой порозностью (обеспечивающее взаимное проникновение и предварительное смешивание их частиц с малыми энергозатратами и высокой равномерностью подачи ингредиентов), наличие двух участков комбинированного рабочего органа, (на двух участках спиральными лопастями мешалки осуществляется усреднение содержания компонентов в смешиваемом объеме, с последующим смешиванием двухзаходным спирально-винтовым конвейером излишков усредняемой смеси в процессе транспортировки и отгрузки).

В работе [13] разработанная конструктивно-технологическая схема смесителя кормов и микродобавок позволяет за счет применения ступенчатого смешивания сухих компонентов в постепенно увеличивающемся объеме и быстроходных рабочих органов, в сравнении с одноступенчатым процессом перемешивания, сократить длительность приготовления смеси с 240 - 360 с до 80 секунд, уменьшив энергоемкость перемешивания на 5,6 % при равномерности смеси 92%.

Примером конструкций смесителей сухих рассыпных кормосмесей с комбинированным рабочими органами является тихоходный смеситель периодического действия с неподвижным прямоугольным корпусом и двумя горизонтально расположенными принудительно смешивающими шнеколопастными комбинированными рабочими органами с чередующимися участками, обеспечивающими организованное регламентированное движение компонентов корма и позволяющими сократить время получения качественной смеси со снижением удельных затрат энергии на процесс смешивания [12].

Дополнительно снизить энергозатраты смешивания компонентов можно за счет смесителей периодического действия, выполняющих роль усреднителя [23]. Недостатками являются: высокая стоимость и металлоемкость используемого оборудования, и не всегда удается достичь высокой однородности смеси.

Другой разновидностью подобных смесителей являются устройства, транспортирующие корм на некоторые (возможно минимальные) расстояния с одновременным смешивание компонентов. Примером являются винтовые (шнековые, ленточные и т.п.) смесители, а также устройства для смешивания движущихся потоков корма с высокой порозностью и др. [24].

Обзор и анализ конструкций смесителей кормов показал, что на фермах используется довольно значительное количество разнообразных кормосмесителей, однако лишь некоторые из них способны выдавать корма надлежащего качества смешивания.

Выводы. Проанализировав смесители различного типа и конструкций, выявили их основные недостатки: малая производительность, сложность аппаратурных решений основных процессов требует высокой квалификации оператора, большая энергоемкость узла смешивания и вероятность заклинивания при попадании посторонних предметов; отсутствие контроля за

параметрами смешивания не позволяет выполнять оптимального управления процессом; сложность процесса выгрузки готового продукта и его автоматизации; ручное управление узлами.

С учетом вышеизложенной информации, перспективной является следующая конструкция смесителя: по виду кормов – для сухих; по кинематическому режиму – тихоходный; по характеру смешивания – периодического действия; по конструктивному признаку – с неподвижным корпусом; по конструктивному исполнению бункера – круглой формы; по количеству смешивающих валов – двухвальный; по расположению рабочего органа – наклонный; по способу смешивания – принудительного действия; по виду движения смешиваемых компонентов – циркуляционный; по типу рабочего органа – шнековый с активным каналом обратного хода.

Повышение эффективности смесителей кормов периодического действия со шнековым рабочим органом и активным каналом обратного хода за счет сложного движения кормовой смеси: обеспечит высокое качество смешивания; повысит технологическую надежность работы смесительных агрегатов; снизит удельные затраты энергии на процесс приготовления порции комовой смеси.

Список источников

1. Мартынов, В.К. Совершенствование технологического процесса приготовления полнорационных кормосмесей в планетарном смесителе периодического действия за счет интенсификации взаимопроникновения смешиваемых ингредиентов [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Мартынов Вячеслав Константинович. - Саратов, 2005. - 178 с.

2. Анциферов, С.И. Повышение эффективности процесс смешивания за счет совершенствования конструкции планетарного смесителя: дис. ... докт. техн. наук; 05.02.13: Анциферов Сергей Игорев. - Белгород, 2017. – 47 с.

3. Ведищев, С.М. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи кормосмесей в сельскохозяйственных свиноводческих организациях: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Ведищев Сергей Михайлович. – Тамбов, 2018 – 381 с.

4. Ведищев, С.М. Механизация приготовления кормов. Часть 2 [электронный ресурс] / С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Милованов, А.В. Прохоров, Н.В. Хольшев, А.В. Брусенков. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСБ, 2015. - 127 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64117.html.

5. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства [текст] / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. - М.: Колос, 1999. – 528 с.

6. Коновалов, В.В. Снижение энергозатрат на смешивание концентрированных кормов разработкой и применением смесительного агрегата с комбинированными рабочими органами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Коновалов Виктор Владимирович. – Пенза, 2018. – 20 с.

7. Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов [текст]: в 2 т. / И.В. Кулаковский., Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1987. - 339 с.

8. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов [текст] / Ю.И. Макаров. - М.: «Машиностроение», 1973. - 215 с.

9. Механизация приготовления кормов [Электронный ресурс]: учебное пособие для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Агроинженерия», а также аспирантов и работников сельскохозяйственной предприятий: в 2 ч./ С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Прохоров, Н.В. Хольшев, А.В. Брусенков, А.В. Милованов / Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 140 с. – электрон. опт. диск (CD-ROM). – 51,5 МБ.

10. Ревякин, Е.Л. Опыт освоения технологий и оборудования для внутрихозяйственных комбикормовых предприятий / Е.Л. Ревякин, В.И. Пахомов. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. - 128 с.

11. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий при переработке зерна учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф.Веденеев, А.Е.Яблоков, I и III части под. ред. Л.А. Глебова, II часть под. ред. А. Б. Демского. - М.: Дели Принт, 2010. - 696 с.

12. Хольшев, Н.В. Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных кормосмесей шнекопластным смесителем: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.В.Хольшев. – Мичуринск-Наукаград РФ, 2015. – 19 с.

13. Чупшев, А.В. Повышение качества смешивания сухих микродобавок с обоснованием конструктивных и технологических параметров смешивания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/Чупшев Алексей Владимирович. - Пенза, 2009. - 19 с.

14. Смеситель сухих рассыпных кормосмесей с активным каналом обратного хода / А. А. Кажияхметова, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев, А. С. Иванов // Современная наука: теория, методология, практика : III Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2021. – С. 301 – 303.

15. Астапов, С.Ю. Повышение эффективности смешивания в мобильном раздатчике-смесителе за счет совершенствования шнекового аппарата: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Астапов Сергей Юрьевич. - Мичуринск-Наукаград, 2007. - 179 с.

16. Демин, О.В. Анализ работы различных видов смесителей сыпучих материалов периодического действия [текст] / О.В. Демин // Труды ТГТУ; Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов: Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2001. – вып.8. – С. 109-114.

17. Фролов, Н. Дозатор – смеситель кормов [текст] / Н. Фролов, Г. Мальцев // Сельский механизатор, - 2007. - №5. – 5 с.

18. Яцунов, А. Качество смеси обеспечивается вибрацией [текст] / А.Яцунов // Сельский механизатор. - 2008. - №77. - С.35-36.

19. Иванова, А.П. Научно-технические аспекты повышения эффективности работы вибросмесителей: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Иванова Анастасия Петровна. - Оренбург, 2005. – 38 с.

20. Вертикальные лопастные смесители серии «ВЛС» [электронный ресурс] / Компания «Жаско». – Режим доступа: http://www.jasko.ru/jasko/katalog/pererabotka/smesitel/vls.html.

21. Тенденции развития инженерного обеспечения в сельском хозяйстве: Учебник / А. И. Завражнов, Л. В. Бобрович, С. М. Ведищев [и др.]. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар : Издательство "Лань", 2021. – 686 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-8114-7398-4.

22. Официальный сайт ВНИИПТИМЭСХ [электронный ресурс] /-Режим доступа: vniiptimz.ly.ru/

23. Патент №2633893 РФ МПК B0IF. Устройство для смешивания сыпучих кормов и сухих добавок / В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, В.В. Коновалов, А.В. Чупшев. - № 20160147278; заявл.01.12.2016; опубл.19.10.2017. Бюл. № 29. – 8 с.

24. Коновалов, В.В. Повышение эффективности средств механизации приготовления и выдачи кормосмесей в свиноводстве: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Коновалов Владимир Викторович. - Пенза:2005. - 38 с.

References

1. Martynov, V.K. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa prigotovleniya polnora-cionnyh kormosmesej v planetarnom smesitele periodicheskogo dejstviya za schet intensifikacii vzaimoproniknoveniya smeshivaemyh ingredientov [tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Martynov Vyacheslav Konstantinovich. - Saratov, 2005. - 178 s.

2. Anciferov, S.I. Povyshenie effektivnosti process smeshivaniya za schet sovershenstvova-niya konstrukcii planetarnogo smesitelya: dis. ... dokt. tekhn. nauk; 05.02.13: Anciferov Sergej Igorev. - Belgorod, 2017. – 47 s.

3. Vedishchev, S.M. Sovershenstvovanie tekhnologij i tekhnicheskih sredstv prigotovleniya i raz-dachi kormosmesej v sel'skohozyajstvennyh svinovodcheskih organizaciyah: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 / Vedishchev Sergej Mihajlovich. – Tambov, 2018 – 381 s.

4. Vedishchev, S.M. Mekhanizaciya prigotovleniya kormov. CHast' 2 [elektronnyj resurs] / S.M. Vedishchev, V.P. Kapustin, YU.E. Glazkov, A.V. Milovanov, A.V. Prohorov, N.V. Hol'shev, A.V. Brusenkov. - Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, EBS ASB, 2015. -127 s.- Rezhim dostupa: http://www.iprbookshop.ru/64117.html.

5. Koba, V.G. Mekhanizaciya i tekhnologiya proizvodstva produkcii zhivotnovodstva [tekst] / V.G. Koba, N.V. Braginec, D.N. Murusidze, V.F. Nekrashevich. - M.: Kolos, 1999. – 528 s.

6. Konovalov, V.V. Snizhenie energozatrat na smeshivanie koncentrirovannyh kormov raz-rabotkoj i primeneniem smesitel'nogo agregata s kombinirovannymi rabochimi organami: avto-ref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Konovalov Viktor Vladimirovich. – Penza, 2018. – 20 s.

7. Kulakovskij, I.V. Mashiny i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov [tekst]: v 2 t. / I.V. Kulakovskij., F.S. Kirpichnikov, E.I. Reznik. - M.: Rossel'hozizdat, 1987. - 339 s.

8. 13. Makarov, YU.I. Apparaty dlya smeshivaniya sypuchih materialov [tekst] / YU.I. Makarov. - M.: «Mashinostroenie», 1973. - 215 s.

9. Mekhanizaciya prigotovleniya kormov [Elektronnyj resurs]: uchebnoe posobie dlya baka-lavrov i magistrov, obuchayushchihsya po napravleniyu «Agroinzheneriya», a takzhe aspirantov i ra-botnikov sel'skohozyajstvennoj predpriyatij: v 2 ch./ S.M. Vedishchev, V.P. Kapustin, YU.E. Glazkov, A.V. Prohorov, N.V. Hol'shev, A.V. Brusenkov, A.V. Milovanov / Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2015. – 140 s. – elektron. opt. disk (CD-ROM). – 51,5 MB.

10. Revyakin, E.L. Opyt osvoeniya tekhnologij i oborudovaniya dlya vnutrihozyajstvennyh kombi-kormovyh predpriyatij / E.L. Revyakin, V.I. Pahomov. - M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2007. - 128 s.

11. Tekhnologicheskoe oborudovanie i potochnye linii predpriyatij pri pererabotke zerna uchebnik / L.A. Glebov, A.B. Demskij, V.F.Vedeneev, A.E.YAblokov, I i III chasti pod. red. L.A. Glebo-va, II chast' pod. red. A. B. Demskogo. - M.: Deli Print, 2010. - 696 s.

12. Hol'shev, N.V. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo processa prigotovleniya suhih ras-sypnyh kormosmesej shnekoplastnym smesitelem: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / N.V.Hol'shev. – Michurinsk-Naukagrad RF, 2015. – 19 s.

13. CHupshev, A.V. Povyshenie kachestva smeshivaniya suhih mikrodobavok s obosnovaniem kon-struktivnyh i tekhnologicheskih parametrov smeshivaniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01/CHupshev Aleksej Vladimirovich. - Penza, 2009. - 19 s.

14. Smesitel' suhih rassypnyh kormosmesej s aktivnym kanalom obratnogo hoda / A. A. Kazhiyahmetova, S. M. Vedishchev, M. K. Braliev, A. S. Ivanov // Sovremennaya nauka: teoriya, metodo-logiya, praktika : III Vseros. (nac.) nauch.-prakt. konf., Tambov, 13–14 aprelya 2021 goda. – Tambov : Izd-vo IP CHesnokova A. V., 2021. – S. 301 – 303.

15. Astapov, S.YU. Povyshenie effektivnosti smeshivaniya v mobil'nom razdatchike-smesitele za schet sovershenstvovaniya shnekovogo apparata: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / Astapov Ser-gej YUr'evich. - Michurinsk-Naukagrad, 2007. - 179 s.

16. Demin, O.V. Analiz raboty razlichnyh vidov smesitelej sypuchih materialov periodiche-skogo dejstviya [tekst] / O.V. Demin // Trudy TGTU; Sb. nauch. st. molodyh uchenyh i studentov. – Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2001. – vyp.8. – S. 109-114.

17. Frolov, N. Dozator – smesitel' kormov [tekst] / N. Frolov, G. Mal'cev // Sel'skij mekha-nizator, - 2007. - №5. – 5 s.

18. YAcunov, A. Kachestvo smesi obespechivaetsya vibraciej [tekst] / A.Y. Acunov // Sel'skij mekha-nizator. - 2008. - №77. - S.35-36.

19. Ivanova, A.P. Nauchno-tekhnicheskie aspekty povysheniya effektivnosti raboty vibrosmesi-telej: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 / Ivanova Anastasiya Petrovna. - Orenburg, 2005. – 38 s.

20. Vertikal'nye lopastnye smesiteli serii «VLS» [elektronnyj resurs] / Kompaniya «ZHasko». – Rezhim dostupa: http://www.jasko.ru/jasko/katalog/pererabotka/smesitel/vls.html.

21. Tendencii razvitiya inzhenernogo obespecheniya v sel'skom hozyajstve: Uchebnik / A. I. Za-vrazhnov, L. V. Bobrovich, S. M. Vedishchev [i dr.]. – Sankt-Peterburg; Moskva; Krasnodar : Izda-tel'stvo "Lan'", 2021. – 686 s. – (Vysshee obrazovanie). – ISBN 978-5-8114-7398-4.

22. Oficial'nyj sajt VNIIPTIMESKH [elektronnyj resurs] /-Rezhim dostupa: vniiptimz.ly.ru/

23. Patent №2633893 RF MPK V0IF. Ustrojstvo dlya smeshivaniya sypuchih kormov i suhih dobavok / V.V. Konovalov, V.P. Teryushkov, V.V. Konovalov, A.V. CHupshev. - № 20160147278; za-yavl.01.12.2016; opubl.19.10.2017. Byul. № 29. – 8 s.

24. Konovalov, V.V. Povyshenie effektivnosti sredstv mekhanizacii prigotovleniya i vydachi kormosmesej v svinovodstve: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 / Konovalov Vladimir Viktorovich. - Penza:2005. - 38 s.

Информация об авторах

С.М. Ведищев - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агроинженерия»; А.И. Завражнов - доктор технических наук, профессор, академик РАН, профессор кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ ВО ТГТУ, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН; главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»; А.В. Прохоров - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Агроинженерия; Е.Б. Ложкина - младший научный сотрудник

Information about the authors

CM. Vedischev - doctor of technical sciences, professor, head of the department "Agroengineering"; A.I. Zavrazhnov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Agroengineering, FGBOU VO TSTU, Chief Researcher of the FGBNU VNIITiN; Chief Researcher, FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"; A.V. Prokhorov - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agroengineering; E.B. Lozhkina - junior researcher

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 20.07.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 629.9.047
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-102-109

ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НАНЕСЕНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Сергей Юрьевич Жачкин [1]***, Михаил Владимирович Астахов*** [2]***, Юрий Алексеевич Невструев*** [3]***, Олег Анатольевич Сидоркин*** [4]***, Игорь Иванович Звенигородский*** [5]
[1]*Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия*
[1]zhach@list.ru
[2]*Калужский филиал «МГТУ им. Н.Э. Баумана*
(национальный исследовательский университет), Калуга, Россия
[2]myth_np_nikit@mail.ru
[3] *ООО «Аквапаскаль», Воронеж, Россия*
[3]serg24012@mail.ru
[4,5]*ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Воронеж, Россия*
[4]snikishin24@bk.ru
[5]myth7np7nikit@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Сергей Юрьевич Жачкин, zhach@list.ru Corresponding author Sergey Zhachkin, zhach@list.ru.

Реферат. *Большие возможности повышения ресурса требующих восстановления деталей сельскохозяйственной техники открывают технологии нанесения упрочняющих покрытий. В статье рассмотрены варианты получения гальванических осадков в различных электролитах, позволяющих осаждать металлические покрытия с различными специальными свойствами, обеспечивающими надежную работу восстановленных узлов в соответствующих условиях. В качестве электролита использовали растворы сернокислой, хлористой и борфтористоводородной солей двухвалентного железа. Применяли методы химического анализа гальванических осадков. Твердость наносимых слоев определяли с использованием прибора ПМТ–3. Проанализировано воздействия различных легирующих добавок на качество получаемых осадков в зависимости от концентрации включений. Определены границы концентраций включений. Установлено, что для контролируемого осаждения композиционного покрытия концентрация включений в осаждаемое железосодержащее покрытия не должна превышать величины 20 г/л. Получено, что даже незначительное, порядка величины погрешности измерений, наличие включений марганца в композиционном покрытии на основе железа повышает его твердость вдвое. В рамках описываемого исследования изучалась зависимость концентрации хлористого аммония, как базового материала для извлечения чистого марганца, на твердость осаждаемого гальванического осадка. Наибольшей твердости удалось достичь при концентрации NH_4Cl в диапазоне 100–150 г/л, а марганца – 0,4 % по массе Получены графические зависимости основных показателей качества получаемых покрытий от типа и состава используемых электролитов. Проанализировано влияние температуры электролита и режимов электролиза на твердость осаждаемого металла.*

Ключевые слова: *электролит хромирования, композиционные покрытия, железнение, электролиз, концентрация включений.*

RESTORATION PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY BY APPLICATION WITH IRON-BASED COMPOSITE COATINGS

Sergey Zhachkin [1]***, Mikhail Astakhov*** [2]***, Yury Nevstruev*** [3]***, Oleg Sidorkin*** [4]***, Igor Zvenigorodsky*** [5]

[1]*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation*
[1]zhach@list.ru
[2]*Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation*
[2]myth_np_nikit@mail.ru
[3]*Aquapascal, Voronezh, Russian Federation*
[3]serg24012@mail.ru
[4,5] *MERC AF«AFA», Voronezh, Russian Federation*
[4]snikishin24@bk.ru
[5]myth7np7nikit@gmail.com

Abstract. *Great opportunities for increasing the resource of parts of agricultural machinery that require restoration are opened up by technologies for applying hardening coatings. Options for obtaining galvanic deposits in various electrolytes, which allow depositing metal coatings with various special properties that ensure reliable operation of restored units under appropriate conditions, are considered in the article. Solutions of sulphate, chloride, and hydroboric fluoride salts of divalent iron were used as the electrolyte. Methods of chemical analysis of galvanic deposits were used. The hardness of the deposited layers was determined using a PMT-3 instrument. The effect of various alloying additives on the quality of the precipitates obtained is analyzed depending on the concentration of inclusions. The boundaries of inclusion concentrations are determined. It has been established that for controlled deposition of a composite coating, the concentration of inclusions in the deposited iron-containing coating should not exceed 20 g/l. It has been found that even an insignificant presence of manganese inclusions in an iron-based composite coating, which is of the order of the measurement error, doubles its hardness. The dependence of the concentration of ammonium chloride, as the base material for the extraction of pure manganese, on the hardness of the deposited galvanic precipitate, was studied in the framework of the described study. The highest hardness was achieved at a concentration of NH4Cl in the range of 100–150 g/l, and manganese - 0.4% by weight. Graphical dependences of the main quality indicators of the resulting coatings on the type and composition of the electrolytes used were obtained. The influence of the electrolyte temperature and electrolysis regimes on the hardness of the deposited metal is analyzed.*

Keywords: *chrome plating electrolyte, composite coatings, iron plating, regression analysis, inclusion concentration.*

Для цитирования: Жачкин С.Ю., Астахов М.В., Невструев Ю.А., Сидоркин Ю.А., Звенигородский И.И. Восстановления деталей сельскохозяйственной техники нанесением композиционных покрытий на основе железа // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 102-109. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-102-109.

For citation: Zhachkin S., Astakhov M., Nevstruev Y., Sidorkin O., Zvenigorodsky I. Restoration parts of agricultural machinery by application with iron-based composite coatings // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 102-109. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-102-109.

Введение. Современные реалии рыночной экономики создают искусственный дефицит комплектующих сельскохозяйственной техники, в особенности импортного производства. Кроме того, наблюдается высокая динамика в росте цен на существующие запасные части. В этой связи вопросы совершенствования технологических процессов восстановления деталей сельскохозяйственной техники стоят особенно актуально. При восстановлении техники сельскохозяйственного назначения, как показывает опыт ее эксплуатации за последние несколько лет, появилась возможность значительного увеличения (до нескольких раз) её износостойкости [1, 2]. Одним из способов такого увеличения является электрохимическое осаждение композиционных материалов на основе железной матрицы. Цель исследования– определение состава электролита, вида и концентрации включений, позволяющих получать композиционные покрытия с повышенной твердостью.

Материалы и методы. В качестве электролита использовались растворы сернокислой, хлористой и борфтористоводородной солей двухвалентного железа. Использовались методы химического анализа гальванических осадков. Твердость наносимых слоев определялась с использованием прибора ПМТ–3. Определение функциональной зависимости производительности процесса от концентрации наполнителей и режимов осаждения гальванических осадков выполнялось с использованием аппарата математической статистики.

Результаты и обсуждение. Перечень используемых электролитов и режимы осаждения композиционных покрытий при проведении указанных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. - Состав электролитов железнения

№ эл-та	Состав электролитов в г/л							Режим электролиза	
	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	Глицерин	$CoC1_2 \cdot 6H_2O$	$NiC1_2 \cdot 6H_2O$	CrO_3	$MnC1_2 \cdot 6H_2O$	$i_к$, А/дм^2	t, °С
1	100	-	-	0-100	-	-	-	0	0
2	100	-	-	-	0-100	-	-	20	90
3	100	-	-	-	-	0-100	-	20	90
4	100	-	-	-	-	-	0-100	20	90
5	-	0-150	80	-	-	-	100	30	75
6	-	100	80	-	-	-	0-350	30	75
7	100	-	-	25	-	-	-	10-50	0-100
8	100	-	-	-	-	-	-	10-50	0-100
9	100	-	-	-	-	20	-	10-50	0-100
10	100	-	-	-	-	-	5	10-50	0-100

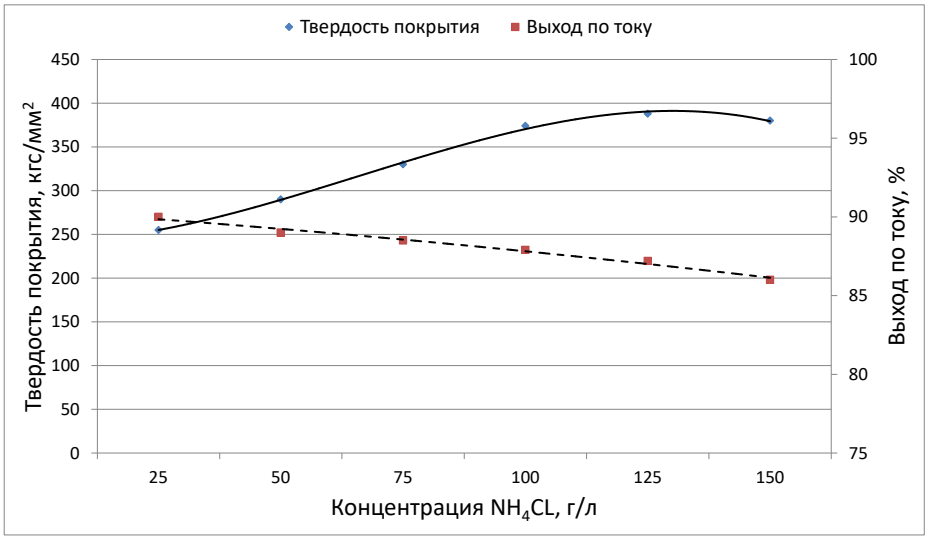
Процесс введения добавок в электролит железнения проводился порционно. Размер порции составлял от 5 до 25 г/л. Режим осаждения проводили в течение 90 мин. Для обеспечения железнения использовали 2-литровые гальванические ванны.

Для минимизации вклада случайных ошибок в итоговые показатели железнения каждый опыт повторялся трижды. Полученные покрытия осматривали на предмет внешних дефектов, подвергали химическому анализу и определяли их твердость с использованием прибора ПМТ–3[3, 4, 5].

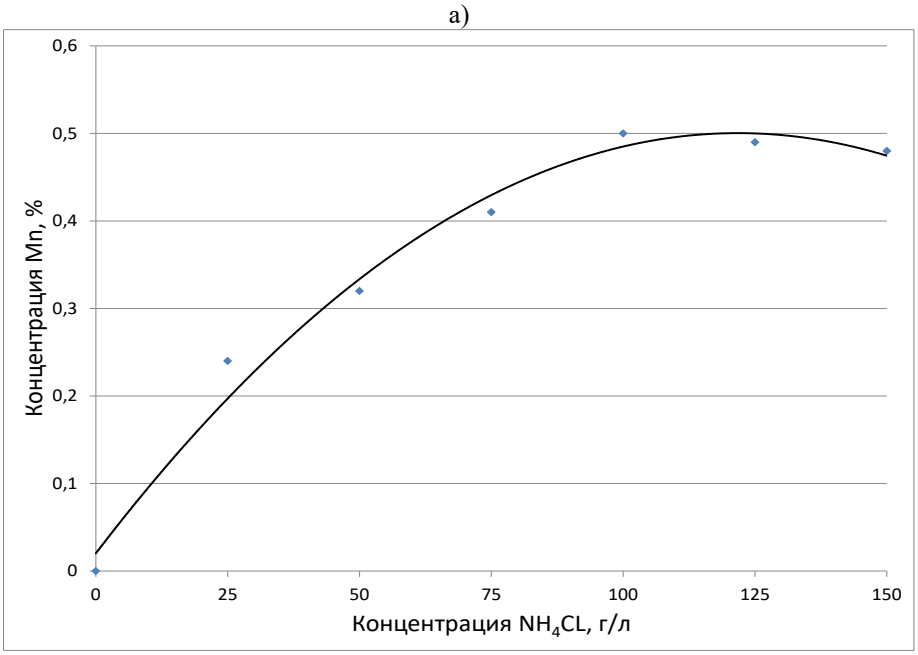
В результате исследования была установлена концентрация солей кобальта и никеля составляющая 15—25 г/л. Концентрация Cr_2O_3 составила величину порядка 20 г/л. В таком случае осаждаемое покрытие имело следующее содержание композиционных включений: кобальт–2,5-2,7%, никель – 1,6%, хром – 1,4%. Кроме того, проведенные исследования показали, что для контролируемого осаждения композиционного покрытия концентрация включений в осаждаемое железосодержащее покрытия не должна превышать величины 20 г/л.

При превышении указанной величины включений в формируемом покрытии его состав менялся незначительно, однако, прочностные показатели существенно снижались, что объясняется появлением внутренних растягивающих напряжений в таком осадке. Исключением в этом случае служит лишь $MnCl_2 \cdot 6H_2O$ [2, 6, 7]. При добавлении в состав электролита солей марганца становится возможным получение покрытий с повышенной твердостью. Исследования показали, что в наибольшей степени этот эффект проявляется при использовании электролита № 4, состав которого представлен в таблице 1. Причем наибольшей твердости у таких осадков в исследуемом диапазоне концентраций солей марганца удалость получить при значении 15 г/л.

По результатам проведенных испытаний было определено, что с увеличением концентрации NH_4Cl выход по току монотонно снижается, а твердость покрытия изменяется нелинейно, достигая своего максимума – 390 кгс/мм^{2}при концентрации хлорида аммония, равной 120 г/л.



а)

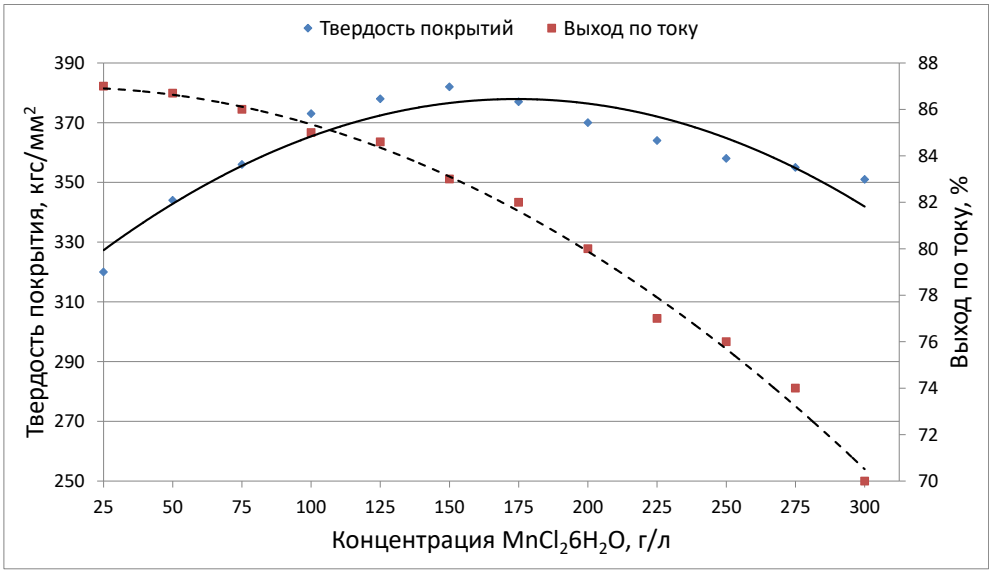


б)

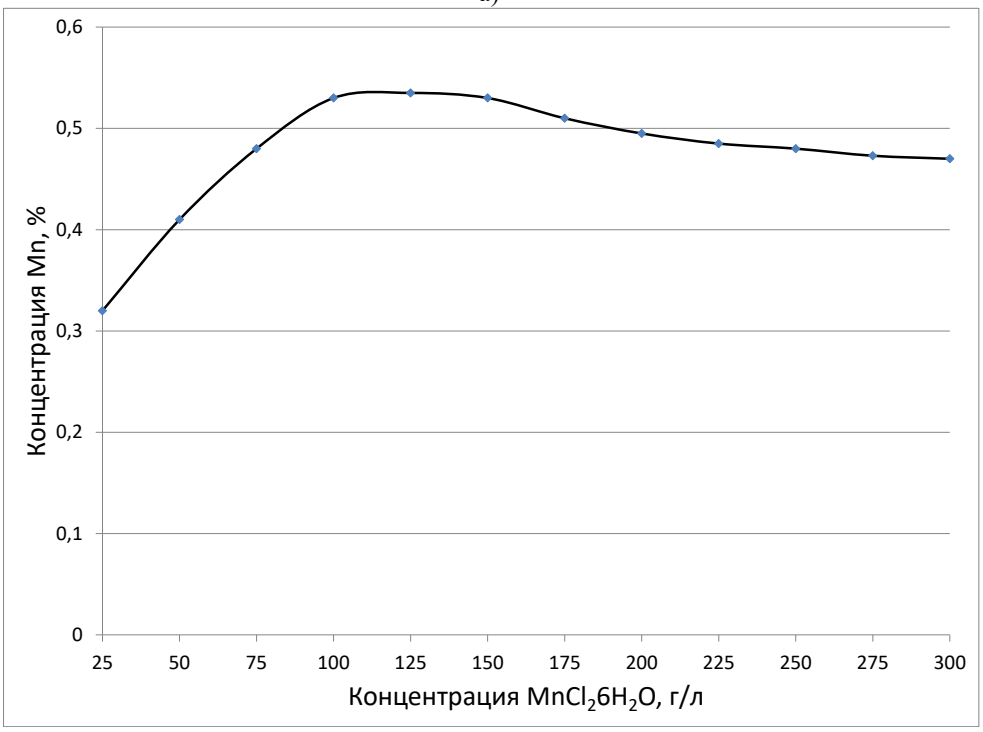
Рисунок 1 - Влияние концентрации NH_4Cl на выход по току,

твердость покрытий (а) и содержание Mn (б).

Дальнейшие исследования были направлены на определение качества получаемых осадков при различной концентрации NH_4Cl в формируемом композиционном покрытии на основе железа [2, 8]. При использовании хлорида аммония повысилась концентрация марганца в гальваническом осадке до 0,5% по массе. Наибольшей твердости удалось получить при концентрации NH_4Cl в диапазоне 100–150 г/л, а марганца – 0,4 % по массе (рисунок 1а и 1б).



а)



б)

Рисунок 2 - Влияние хлористого марганца на твердость покрытий, выход по току (а) и содержание марганца (б) в присутствии NH_4C1=100 г/л

Фиксируя содержание хлорида аммония в получаемом композиционном покрытии, изучалось влияние солей марганца ($MnCl_2 \cdot 6H_2O$) на качество получаемых покрытий. Результаты исследований представлены на рисунках 2а и 2б. Увеличение плотности тока привело к повышению твердости получаемых осадков. Влияние температуры на качество получаемых покрытий не столь однозначно. При изучении закономерности изменения твердости таких покрытий необходимо учитывать нормальные потенциалы композиционных включений.Для покрытий содержащих марганец увеличение температуры приводит к снижению твердости композиционного покрытия, а наличие включений никеля – к её увеличению.

Полученные результаты согласуются с данными, описанными в [9, 10]. Это объясняется необходимостью увеличения плотности тока на катоде при осаждении покрытий с повышенным содержанием Co, Ni, Cr и Mn в них для получения осадков с высокими значениями твердости. Указанный эффект наглядно представлен на рисунке 3.

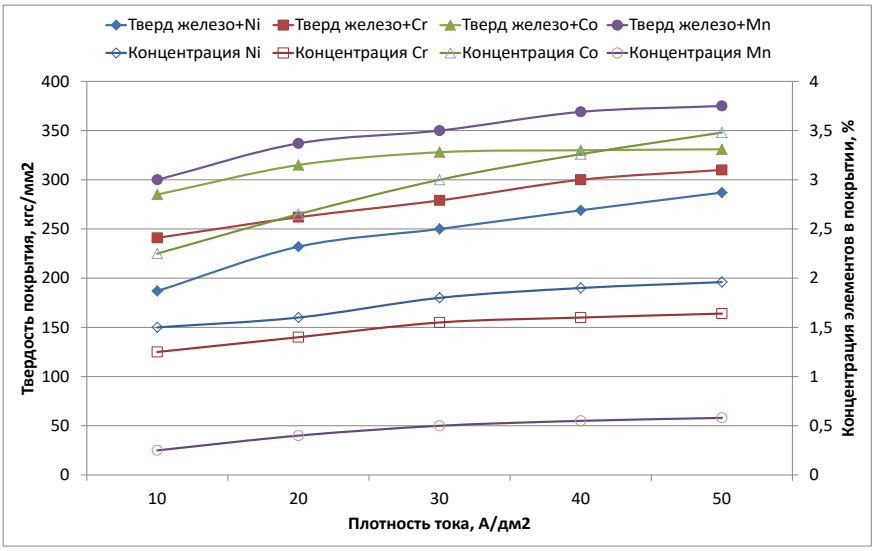


Рисунок 3 - Влияние катодной плотности тока на химический состав и твердость покрытий

Влияние температуры электролита на химический состав и твердость покрытия продемонстрировано на рисунке 4. С ростом температуры электролита от 60 до 80 ^{0}C концентрация Ni, Cr, Co растет, а Mn падает.

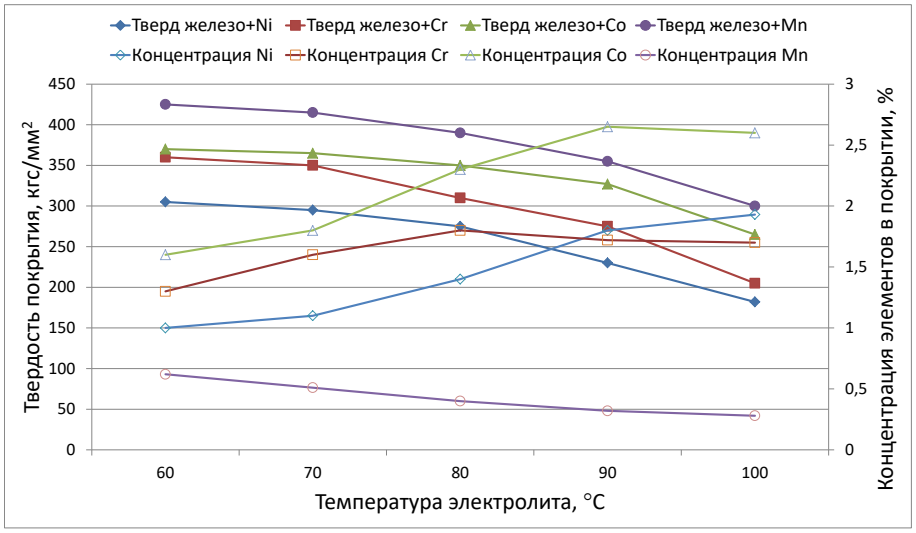


Рисунок 4 - Влияние температуры электролита на химический состав и твердость покрытий

При правильно подобранных условиях осаждения композиционных покрытий на основе железа возможно использование моногокомпонентных покрытий с включениями кобальта, никеля и марганца для восстановления деталей сельскохозяйственной техники, однако диапазон изменения режимных параметров при таком электролизе достаточно ограничен.

Выводы. В ходе исследования определен состав и допустимая концентрация композиционных включений в гальванической матрице на основе железа, позволяющей получать покрытия с заданной твердостью. Это позволяет использовать рассматриваемую технологию нанесения гальванических композиционных железосодержащих покрытий в ремонтном производстве при восстановлении деталей, изготовленных из среднеуглеродистых и легированных сталей, подверженных термообработке. Качественным отличием среди изученного перечня включений обладает марганец. Использование в электролите солей марганца позволяет повысить твердость получаемых покрытий до двух раз, при этом себестоимость солей марганца среди всех рассмотренных образцов является наименьшей.

Список источников

1. Грилихес С.Л., Тихонов К.И. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика. –Л: Химия. Ленинградское отделение, 1990. – 288 с.
2. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. – Кишинев: Штиипца, 1985. – 238 с.
3. Котик Ф.И. «Ускоренный контроль электролитов, растворов, расплавов». Справочник. – М.: Машиностроение, 1978. – 191 с.
4. Каданер Л.И. «Равномерность гальванических покрытий». – Харьков: Изд-во ХГУ, 1961.
5. Шлугер М.А. Ускорение и усовершенствование хромирования деталей машин. – М.: Машгиз, 1961. – 140 с.
6. Жачкин, С.Ю. Аналитическая оценка свойств дисперсно-упрочненных гальванических композитных многослойных покрытий / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, А.И. Краснов, К.А. Манаенков // Мичуринск: Вестник МичГАУ, 2015. – № 1. – С. 142–150.
7. Zhachkin,S.Yu. Wear-resistance of composite galvanic chrome coatings /S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, M.N. Krasnova// Engineering Studies. – 2017. – Vol. 9, is. 3(2). – P. 529–536.
8. Жачкин С.Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей // Воронеж: ВГТУ, 2002. – 138 с.
9. Жачкин С.Ю. Нанесение размерных композитных хромовых покрытий методом гальваноконтактного осаждения / С.Ю. Жачкин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 7. – С. 44–48.

10. Zhachkin, S.Yu. The impact of the strengthening phase filler on the properties of composite dispersion-strengthened galvanic coatings / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, M.A. Krasnova, A.I. Zavrazhnov // Engeneering computations. – 2018. – № 8(2). – Vol. 35. – P. 3245–3251.

References

1. Grilihes S.L., Tihonov K.I. Elektroliticheskie i himicheskie pokrytiya. Teoriyaipraktika. –L: Himiya. Leningradskoe otdelenie, 1990. – 288 s.
2. Gur'yanov G.V. Elektroosazhdenie iznosostojkih kompozicij. – Kishinev: SHtiipca, 1985. – 238 s.
3. Kotik F.I. «Uskorennyjkontrol' elektrolitov, rastvorov, rasplavov». Spravochnik. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 191 s.
4. Kadaner L.I. «Ravnomernost' gal'vanicheskih pokrytij». – Har'kov: Izd-vo HGU, 1961.
5. Shluger M.A. Uskorenie i usovershenstvovanie hromirovaniya detalej mashin. – M.: Mashgiz, 1961. – 140 s.
6. ZHachkin S.Yu. Analiticheskaya ocenka svojstv dispersno-uprochnennyh gal'vanicheskih kompozitnyh mnogoslojnyh pokrytij / S.Yu. ZHachkin, N.A. Pen'kov, A.I. Krasnov, K.A. Manaenkov // Michurinsk: Vestnik MichGAU, 2015. – № 1. – S. 142–150.
7. Zhachkin,S.Yu. Wear-resistance of composite galvanic chrome coatings / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, M.N. Krasnova// Engineering Studies. – 2017. – Vol. 9, is. 3(2). – P. 529–536.
8. Zhachkin S.Yu. Holodnoe gal'vanokontaktnoe vosstanovlenie detalej // Voronezh: VGTU, 2002. – 138 s.
9. Zhachkin S.Yu. Nanesenie razmernyh kompozitnyh hromovyh pokrytij metodom gal'vanokontaktnogo osazhdeniya / S.Yu. Zhachkin // Uprochnyayushchie tekhnologii I pokrytiya. – 2006. – № 7. – S. 44–48.
10. Zhachkin S.Yu. The impact of the strengthening phase filler on the properties of composite
dispersion-strengthened galvanic coatings / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, M.A. Krasnova, A.I. Zavrazhnov // Engeneering computations. – 2018. – № 8(2). – Vol. 35. – P. 3245–3251.

Информация об авторах

С. Ю. Жачкин – доктор технических науч, профессор; М. В. Астахов – доктор технических наук, профессор; Ю. А. Невструев – кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер; О.А. Сидоркин – кандидат технических наук, доцент; И.И. Звенигородский – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

S. Zhachkin - Doctor of Technical Sciences, Professor; M. Astakhov - Doctor of Technical Sciences, Professor; Yu. Nevstruev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Engineer; O. Sidorkin - candidate of technical sciences, associate professor; I. Zvenigorodsky - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

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

Поступила в редакцию (Received): 30.06.2022 Принята к публикации (Accepted): 04.07.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.822.6.004.67: 668.3:631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-110-121

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ЭЛАСТОМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИНФРАКРАСНОЙ ОБРАБОТКИ

Роман Иннакентьевич Ли[1], Юлия Николаевна Ризаева[2], Андрей Николаевич Быконя[3], Дмитрий Николаевич Псарев[4], Мария Ромновна Киба[5]

[1,2,3]Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2] https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3] https://orcid.org/0000-0001-9609-9620
[4]Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия
[4] https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5]Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Россия
[5] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Автор ответственный за переписку: Роман Иннакентьевич Ли, romanlee@list.ru Corresponding author Roman Li, romanlee@list.ru.

Реферат. *К одним из основных недостатков конвективного способа сушки полимерных покрытий следует отнести их пористость. Пористость при инфракрасной обработке значительно меньше, а качество покрытий существенно выше. Однако анализ априорной информации показал отсутствие сведений об инфракрасной обработке полимерных покрытий в ходе восстановления корпусных деталей техники. Исследовано влияние режима инфракрасной обработки на механические свойства нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С. Механические свойства эластомерного нанокомпозита оценивали прочностью пленок при растяжении, относительным удлинением и удельной работой деформации при разрыве пленок по методике ГОСТ 14236-81, модулем упругости материала на растяжение и сжатие – по ГОСТ 9550-81. Оптимальный режим инфракрасной обработки нанокомпозита определяли при активном эксперименте по плану B_2. Дефектность образцов оценивали по ГОСТ 9407-84. В результате регрессионного анализа получена модель зависимости удельной работы разрушения пленок нанокомпозита эластомера Ф-40С от режима инфракрасной обработки. Установлен оптимальный режим термической обработки эластомерного нанокомпозита: температура 140,0^{0}С, время 3,0 ч., при котором пленки материала имеют наиболее высокую удельную работу разрушения 56,0МДж/м^3. Терморадиационный способ, по сравнению с конвективным способом сушки, увеличивает прочность пленок нанокомпозита в 1,13 раза, от 19,0 до 21,5 МПа. Инфракрасная обработка повышает деформацию образцов от 74 до 98%, в 1,32 раза. Жесткость материала повысилась: увеличение модуля упругости при растяжении от 158,3 до 161,8 Мпа, на 3%, а сжатии – от 82,7 до 87,2 Мпа, на 5,4%. Терморадиационный способ, по сравнению с конвективным способом, значительно увеличивает качество покрытий эластомерного нанокомпозита: площадь разрушенного покрытия уменьшается с 20 до 15%, в 1,33 раза; концентрация пор в – с 0,67 до 0,54 шт/см^2, в 1,24 раза и размер пор – с 0,109 до 0,095 мм, на 15%.*

Ключевые слова: *восстановление, подшипник, покрытие, эластомерный нанокомпозит, инфракрасная обработка, деформационно-прочностные свойства, качество.*

MECHANICAL PROPERTIES AND QUALITY OF ELASTOMERIC COATINGS AFTHER INFRARED TREATMENT

Roman Li [1], Yulia Rizaeva[2], Andrey Bykonya[3], Dmitry Psarev[4], Maria Kiba[5]

[1,2,3] *Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia*
[1]romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2]https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3]https://orcid.org/0000-0001-9609-9620
[4]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[4]https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5]*St. Petersburg State Mining University», St. Petersburg, Russia*
[5]https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Abstract. *One of the main disadvantages of the convective method of drying polymer coatings is their porosity. Porosity during infrared treatment is much less, and the quality of the coatings is significantly higher. However, the analysis of a priori information showed the lack of information about the infrared treatment of polymer coatings during the restoration of the body parts of the equipment. The effect of the infrared treatment regime on the mechanical properties of the F-40S elastomer-based nanocomposite was investigated. The mechanical properties of the elastomeric nanocomposite were assessed by the tensile strength of the films, relative elongation and specific deformation work when breaking the films according to the method of GOST 14236-81, the elastic modulus of the material for tension and compression - according to GOST 9550-81. The optimal mode of infrared processing of the nanocomposite was determined with an active experiment according to the V2 plan. Faulty samples were evaluated according to GOST 9407-84. As a result of regression analysis, a model of the dependence of the specific destruction work of the films of the F-40S elastomer nanocomposite on the infrared treatment mode was obtained. The optimal mode of thermal treatment of the elastomeric nanocomposite is established: 140,00S temperature, time 3.0 hours, at which the material films have the highest specific fracture work of 56.0 MJ/m3. The thermoradiation method, compared to the convective drying method, increases the strength of the nanocomposite films by 1.13 times, from 19.0 to 21.5 MPa. Infrared treatment increases the deformation of samples from 74 to 98%, 1.32 times. The stiffness of the material increased: an increase in the elastic modulus at tension from 158.3 to 161.8 MPa, by 3%, and compression - from 82.7 to 87.2 MPa, by 5.4%. The thermoradiation way, in comparison with a convective way, considerably increases quality of coverings of an elastomeric nanocomposite: the area of the destroyed covering decreases from 20 to 15%, by 1.33 times; concentration of a time in – from 0.67 to 0.54 pieces/cm2, by 1.24 times and the size of a time – from 0.109 to 0.095 mm, for 15%.*

Keywords: *recovery, bearing, coating, elastomeric nanocomposite, infrared processing, deformation-strength properties, quality.*

Для цитирования: Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Быконя А.Н., Псарев Д.Н., Киба М.Р. Механические свойства и качество эластомерных покрытий после инфракрасной обработки // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 110-121. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-110-121.

For citation: Li R., Rizaeva Y., Bykonya A., Psarev D., Kiba M. Mechnical properties and quality of elastomeric coating afther infrared treatment // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 110-121. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-110-121.

Введение. Восстановление изношенных деталей является перспективным направлением в области совершенствования системы технического сервиса, так как обеспечивает значительное сокращение расходов на ремонт автотракторной техники и повышает при этом уровень ее надежности. Максимального технического и экономического эффекта удается достичь восстанавливая корпусные детали техники, которые имеют большую материалоемкость и цену [1 - 6].

Традиционные способы восстановления корпусных деталей имеют общие недостатки: сложное технологическое оборудование и в этой связи необходимость в квалифицированном персонале, повышенные энергозатраты, не обеспечивается стойкость восстановленных подшипниковых отверстий к фреттинг-коррозии и увеличение их ресурса. Существенный эффект

достигается при восстановлении корпусных деталей полимерными нанокомпозитами, которые в виде покрытия наносят на изношенные отверстия [7 - 18]. Многократно увеличивается ресурс корпусных деталей и подшипниковых узлов при минимуме затрат.

К одним из основных недостатков конвективного способа сушки полимерных покрытий следует отнести их пористость. При конвективном способе поток тепла воздействует на покрытие с внешней стороны. Вследствие этого первоначально отверждаются наружные слои покрытия, и только затем внутренние. Пары растворителя, при отверждении внутренних слоев, разрушают уже отвержденные верхние слои покрытия и через образовавшиеся поры выходят в окружающую среду (рисунок1, а). Повышенное содержание пор в покрытии снижает ресурс полимерной посадки в ходе эксплуатации.

При терморадиационном способе, так как нагрев идет от металлической подложки, вначале отверждаются нижние слои полимера [19]. По этой причине пары растворителя беспрепятственно проходят через еще не застывшие вышележащие слои полимера и испаряются в окружающую среду. Затем отверждаются верхние слои полимерного покрытия (рисунок 1, б). Поэтому пористость при инфракрасной обработке существенно снижается, а качество покрытий повышается. К достоинствам установок инфракрасного излучения следует отнести: компактность, мобильность, небольшое энергопотребление. Анализ априорной информации показал отсутствие сведений об инфракрасной обработке полимерных покрытий в ходе восстановления корпусных деталей техники.

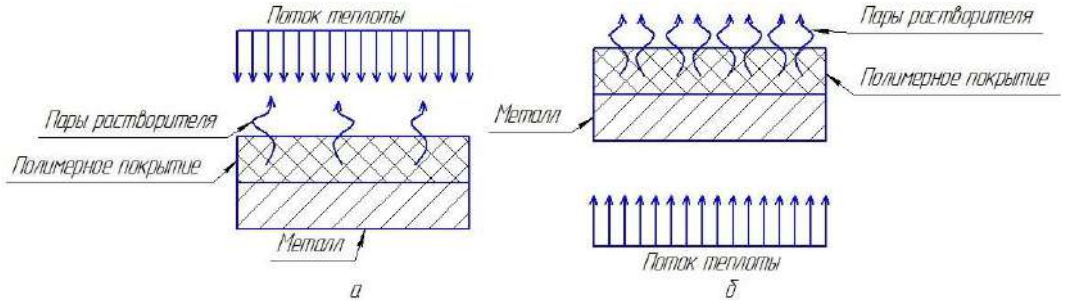


Рис. 1. Процесс сушки полимерного покрытия: а – конвективный нагрев;
б –инфракрасный нагрев [18]

Поэтому актуальными являются исследования изменения механических свойств и качества полимерных покрытий после инфракрасной обработки. Цель исследований – экспериментально установить оптимальный режим термической обработки инфракрасным нагревом, исследовать изменение качества эластомерных нанокомпозитных покрытий после инфракрасной обработки.

Материалы и методы. В экспериментах исследовали нанокомпозит на основе эластомера Ф-40С. Состав нанокомпозита: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч.;

Образцы изготовили в виде полимерных пленок. Форма пленки прямоугольная, размеры: $50 \times 10 \times 0{,}15$ мм, с расчетной длиной – 30 мм. Термическую обработку образцов проводили с помощью установки инфракрасного нагрева, которая состоит из излучателей QTS мощностью 1500 Вт и отражателей марки QTSR. Температуру нагрева образцов контролировали инфракрасным пирометром марки Fluke-62. Кондиционирование образцов проводили при нормальных условиях в течение 16 ч [20]. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50. Скорость нагружения образцов составляла 50 мм/мин.

Механические свойства пленок нанокомпозита исследовали, используя методики ГОСТ 14236-81 и ГОСТ 9550-81 [21]. Исследовали: прочность σ_p, относительное удлинение ε_p и удельную работа разрушения пленок α_p, модули упругости материала на растяжение и сжатие [22].

Оптимальный режим инфракрасной обработки нанокомпозита установлен реализацией активного эксперимента по плану B_2 [23]. Функция отклика Y – удельная работа разрушения образцов нанокомпозита $\alpha_р$, МДж/м^3, независимые факторы: X_1 – температура, ^{0}С, X_2 – время, ч. нагрева инфракрасным способом. Факторы, уровни и интервалы их варьирования представлены в табл. 1.

Дефектность образцов исследовали по ГОСТ 9407-84.

Таблица 1. Факторы с уровнями и интервалами их варьирования

Наименование фактора	Кодированное обозначение фактора	Уровни варьирования фактора			Интервалы варьирования фактора
		нижний	нулевой	верхний	
Температура, ^{o}С;	X_1	130	140	150	10
Время, ч.	X_2	2	3	4	1

Результаты исследования. Удельная работа разрушения является оценочным параметром выносливости материала. Чем больше значение этой величины, тем выше стойкость материала к воздействию циклических нагрузок, больше выносливость [8]. В таблице 2 представлены результаты активного эксперимента по плану B_2.

Таблица 2. План B_2 и результаты активного эксперимента

№ п/п	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	$\bar{Y}$	$\hat{y}_i$	S_g^2
1	-1	-1	23,72	23,11	23,67	23,5	23,69	0,1147
2	+1	-1	19,1	18,7	19,2	19,0	18,99	0,07
3	-1	+1	19,82	19,41	19,27	19,5	19,51	0,0817
4	+1	+1	16,48	15,65	14,97	15,7	15,51	0,5719
5	-1	0	39,22	38,33	38,63	38,72	38,52	0,2051
6	+1	0	34,85	33,59	33,47	33,97	34,17	0,5844
7	0	-1	41,92	40,24	40,3	40,82	40,64	0,9084
8	0	+1	37,0	36,11	36,78	36,63	36,81	0,2149

Проверка воспроизводимости эксперимента

Расчет дисперсии среднего значения:

$$S_1^2 = \frac{(23{,}72-23{,}5)^2+(23{,}11-23{,}5)^2+(23{,}67-23{,}5)^2}{3-1} = 0{,}1147$$

$$S_2^2 = \frac{(19{,}1-19{,}0)^2+(18{,}7-19{,}0)^2+(19{,}2-19{,}0)^2}{3-1} = 0{,}07$$

$$S_3^2 = \frac{(19{,}82-19{,}5)^2+(19{,}41-19{,}5)^2+(19{,}27-19{,}5)^2}{3-1} = 0{,}0817$$

$$S_4^2 = \frac{(16{,}48-15{,}7)^2 + (15{,}65-15{,}7)^2 + (14{,}97-15{,}7)^2}{3-1} = 0{,}5719$$

$$S_5^2 = \frac{(39{,}22-38{,}72)^2 + (38{,}33-38{,}72)^2 + (38{,}63-38{,}72)^2}{3-1} = 0{,}2051$$

$$S_6^2 = \frac{(34{,}85-33{,}97)^2 + (33{,}59-33{,}97)^2 + (33{,}47-33{,}97)^2}{3-1} = 0{,}5844$$

$$S_7^2 = \frac{(41{,}92-40{,}82)^2 + (40{,}24-40{,}82)^2 + (40{,}3-40{,}82)^2}{3-1} = 0{,}9084$$

$$S_8^2 = \frac{(37{,}0-36{,}63)^2 + (36{,}11-36{,}63)^2 + (36{,}78-36{,}63)^2}{3-1} = 0{,}2149$$

$$\sum S_g^2 = 0{,}1147 + 0{,}07 + 0{,}0817 + 0{,}5719 + 0{,}2051 + 0{,}5844 + 0{,}9084 +$$
$$+ 0{,}2149 = 2{,}7511$$

При оценке однородности дисперсий использовали критерий Кохрена [23]. Расчетное значение критерия составляет $G_P = 0{,}33$, а табличное значение – $G_T = 0{,}5612$. В виду того, что табличное значение критерия превышает расчетное, дисперсии являются однородными.

Затем определили значения коэффициентов регрессии

$$b_0 = +55{,}645;\ b_1 = -2{,}175;\ b_2 = -1{,}915;\ b_{12} = +0{,}175;\ b_{11} = -19{,}3;\ b_{22} = -16{,}92$$

Значимость коэффициентов регрессии определяли, сравнением их абсолютных значений, с значениями соответствующих доверительных интервалов:

$$\Delta b_0 = 2{,}12 \cdot 0{,}1433 = 0{,}304 < b_0 = +55{,}645;$$
$$\Delta b_1 = \Delta b_2 = 2{,}12 \cdot 0{,}019 = 0{,}04 < b_1 = -2{,}175 \text{ и } < b_2 = -1{,}915;$$
$$\Delta b_{12} = 2{,}12 \cdot 0{,}029 = 0{,}061 < b_{12} = +0{,}175;$$
$$\Delta b_{11} = \Delta b_{22} = 2{,}12 \cdot 0{,}086 = 0{,}1823 < b_{11} = -19{,}3 \text{ и } < b_{22} = -16{,}92$$

Так как абсолютные значения доверительных интервалов не превышают значения коэффициентов регрессии, последние значимы.

Уравнение регрессии в кодированных значениях

$$Y = +55{,}645 - 2{,}175 X_1 - 1{,}915 X_2 + 0{,}175 X_1 X_2 - 19{,}3 X_1^2 - 16{,}92 X_2^2$$

Уравнение регрессии в натуральных единицах

$$Y = -3835{,}89 + 53{,}77 x_1 + 97{,}155 x_2 + 0{,}0175 x_1 x_2 - 0{,}193 x_1^2 - 16{,}92 x_2^2$$

Результаты расчета значений функции отклика в точках плана по уравнению регрессии:

$\hat{y}_1 = 23{,}69$; $\hat{y}_2 = 18{,}99$; $\hat{y}_3 = 19{,}51$; $\hat{y}_4 = 15{,}51$;
$\hat{y}_5 = 38{,}52$; $\hat{y}_6 = 34{,}17$; $\hat{y}_7 = 40{,}64$; $\hat{y}_8 = 36{,}81$.

Выборочная дисперсия *S*

$$S^2 = \frac{(23,5-23,69)^2+(19,0-18,99)^2+(19,5-19,51)^2+(15,7-15,51)^2}{(8-} \\ \frac{(38,72-38,52)^2+(33,97-34,17)^2+(40,82-40,64)^2+(36,63-36,81)^2}{-6)} = 0,1086$$

Адекватность уравнения регрессии оценивали по критерию Фишера.

Условие адекватности регрессионной модели представляет неравенство:

$$F_P < F_T . \qquad (1)$$

$$F_T = 3,63; \quad F_P = 0,947$$

$$F_P = 0,947 < F_T = 3,63$$

Так как выполняется неравенство (1), регрессионная модель является адекватной.

Условие работоспособности регрессионной модели представляет неравенство

$$R^2 > 0,75, \qquad (2)$$

где R^2 – коэффициент детерминации.

$$R^2 = \frac{3\cdot[(23,5-28,48)^2+(19,0-28,48)^2+(19,5-28,48)^2+(15,7-28,48)^2+}{3\cdot[(23,5-28,48)^2+(19,0-28,48)^2+(19,5-28,48)^2+(15,7-28,48)^2+} \\ \frac{+(38,72-28,48)^2+(33,97-28,48)^2+(40,82-28,48)^2+(36,63-28,48)^2-(8-6)\cdot1,1076]}{+(38,72-28,48)^2+(33,97-28,48)^2+(40,82-28,48)^2+(36,63-28,48)^2]+8(3-1)\cdot0,348} = \\ = \frac{2136,3084}{2142,528} = 0,9970$$

Неравенство (2) соблюдается $R^2 = 0,997 > 0,75$. Поэтому регрессионная модель работоспособна.

На рисунке 2 показана поверхность функции отклика.

Координаты точки экстремума функции отклика определены в результате взятия частных производных по каждому фактору из системы уравнений, и последующего приравнивания этих выражений к нулю.

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = b_1 + b_{12}\cdot x_2 + 2\cdot b_{11}\cdot x_1 = 0 \\ \frac{dy}{dx_2} = b_2 + b_{12}\cdot x_1 + 2\cdot b_{22}\cdot x_2 = 0 \end{cases}$$

$$Y = -3835,89 + 53,77x_1 + 97,155x_2 + 0,0175x_1x_2 - 0,193x_1^2 - 16,92x_2^2$$

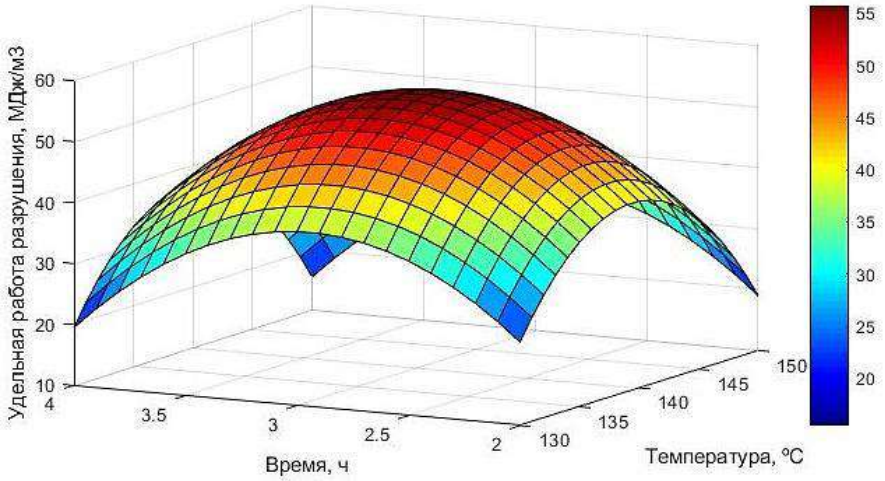


Рисунок 2 - Поверхность отклика

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{dx_1} = 53{,}77 + 0{,}0175 \cdot x_2 - 2 \cdot 0{,}193 \cdot x_1 = 0 \\ \dfrac{dy}{dx_2} = 97{,}155 + 0{,}0175 \cdot x_1 - 2 \cdot 16{,}92 \cdot x_2 = 0 \end{cases}$$

Решение вышеуказанной системы уравнений позволило получить координаты точки экстремума функции отклика: x_{1S} = 139,43^{0}C, x_{2S} = 2,943 ч. Далее значения координат точки экстремума подставлены в уравнение регрессии и в итоге получено экстремальное значение функции отклика y_S = 56,389 МДж/м^3.

Затем проведено каноническое преобразование регрессионной модели.

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - 56{,}389 = -0{,}1927 \cdot X_1^2 - 16{,}94 \cdot X_2^2$$

Для построения двумерного сечения поверхности отклика, составлена вспомогательная таблица с координатами точек изолиний сечения (таблица 3).

Таблица 3. Координаты основных точек изолиний двумерного сечения поверхности отклика

Значение отклика Y	Значение фактора X_1, ^{0}C	Значение фактора X_2, ч
1	2	3
56,389	0	0
56,0	± 1,4	0
56,0	0	± 0,15
55,5	± 2,15	0
55,5	0	± 0,23
55,0	± 2,68	0
55,0	0	± 0,29
54,5	± 3,13	0
54,5	0	± 0,33
54,0	± 3,52	
54,0	0	± 0,38

Двумерное сечение поверхности отклика показано на рисунке 3.

Максимальное значение удельной работы разрушения y_S = 56,389 МДж/м^3 показали образцы нанокомпозита, обработанные инфракрасным нагревом при режиме: температура Т = 139,43^{0}С, время t = 2,943 ч.

Изолиния, расположенная вблизи точки экстремума y_S = 56,389 МДж/м^3, обеспечивает не значительно отличающееся значение функции отклика y_S = 56,0 МДж/м^3. В этой связи выбраны, упрощающие технологию обработки, значения факторов, которые рекомендованы в качестве оптимального режима инфракрасной обработки Т = 140,0^{0}С, время t = 3,0 ч.

Терморадиационный способ, по сравнению с конвективным способом сушки, увеличивает прочность пленок нанокомпозита в 1,13 раза, от 19,0 до 21,5 МПа. Инфракрасная обработка повышает деформацию образцов от 74 до 98%, в 1,32 раза. Жесткость материала повысилась: увеличение модуля упругости при растяжении от 158,3 до 161,8 Мпа, на 3%, а сжатии – от 82,7 до 87,2 Мпа, на 5,4%.

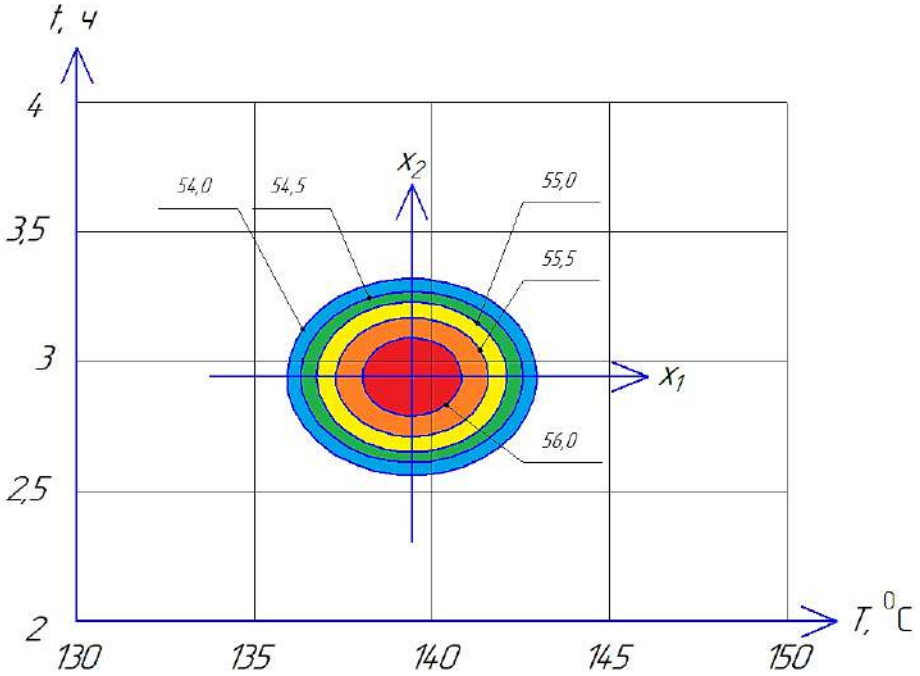


Рисунок 3 - Двумерное сечение поверхности отклика

Настоящий эксперимент подтвердил, различие механизмов отверждения покрытий при конвективном и терморадиационном способах. Установлено снижение дефектности и повышение качества покрытий нанокомпозита после инфракрасной обработки.

На рисунке 4 показаны концентрация пор (количество пузырьков на площади в 1 см^2) К в покрытиях после термической обработки конвективным и терморадиационным способами. Величина К в покрытии, отвержденном инфракрасным способом, по сравнению с конвективным способом, снизилась с 0,67 до 0,54 шт/см^2. Дефектность покрытия уменьшилась в 1,24 раза.

Исследование микроскопом МПБ-2 размера пор в покрытиях, отвержденных конвективным способом, показало, что средний диаметр последних составляет $d = 0{,}109$ мм.

В покрытиях после инфракрасной обработки аналогичный параметр на 15% меньше и составляет $d = 0{,}095$ мм.

На рисунке 5. Показаны площадь разрушенного покрытия в покрытиях после термической обработки конвективным и терморадиационным способами.

В покрытиях после обработки терморадиационным способом, по сравнению с конвективным способом, величина П уменьшилась с 20 до 15%, то есть в 1,33 раза.

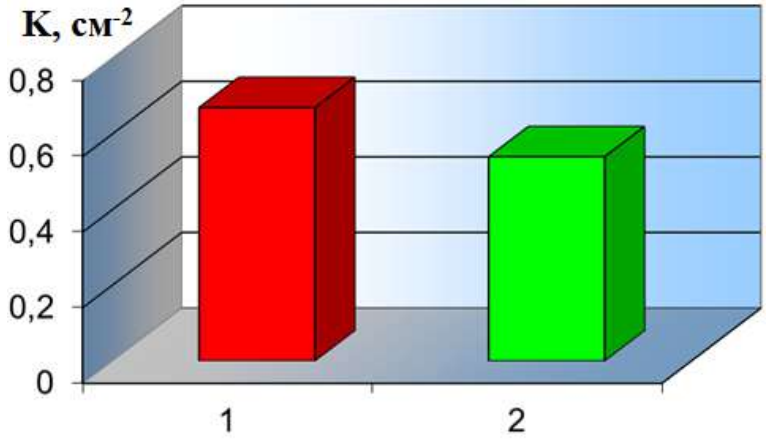


Рисунок 4 – Концентрация пузырьков в покрытиях нанокомпозита эластомера Ф-40С после термической обработки: 1 – конвективный способ; 2 – терморадиационный способ

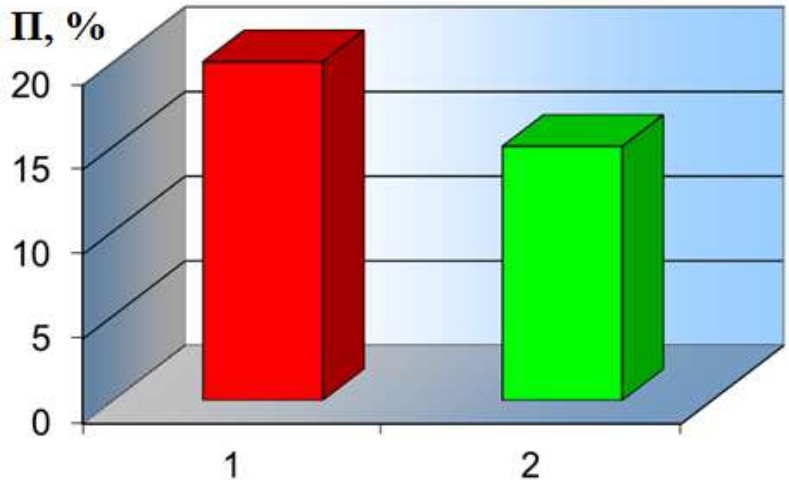


Рисунок 5 – Площадь разрушенного покрытия нанокомпозита эластомера Ф-40С после термической обработки: 1 – конвективный способ; 2 – терморадиационный способ

Выводы.

1. Получена регрессионная модель зависимости удельной работы разрушения пленок нанокомпозита эластомера Ф-40С от режима инфракрасной обработки. Установлен оптимальный режим инфракрасной обработки: температура – 140^{o}С, время – 3 ч. Нанокомпозит имеет высокую удельную работу разрушения 56,0 МДж/м^{3}. Терморадиационный способ, по сравнению с конвективным способом сушки, увеличивает прочность пленок нанокомпозита от 19,0 до 21,5 Мпа, в 1,13 раза. Инфракрасная обработка повышает деформацию образцов от 74 до 98%, в 1,32 раза. Жесткость материала повысилась: увеличение модуля упругости при растяжении от 158,3 до 161,8 Мпа, на 3%, а сжатии – от 82,7 до 87,2 Мпа, на 5,4%.

2. Терморадиационный способ, по сравнению с конвективным способом, значительно увеличивает качество покрытий эластомерного нанокомпозита: площадь разрушенного покрытия уменьшается с 20 до 15%, в 1,33 раза; концентрация пор в 1,24 раза, с 0,67 до 0,54 шт/см^{2} и размер пор на 15%, с 0,109 до 0,095 мм.

Список источников

1. Kononenko A.S., Solovyeva A.A., Komogortsev V.F. Theoretical determination of the minimum thickness of a polymer layer providing ensured protection of a shaft–bearing joint from fretting corrosion. Polymer Science. Series D. 2020. Т. 13. № 1. С. 45-49.
2. Кононенко, А.С. Повышение прочностных характеристик анаэробных полимерных составов, используемых при восстановлении посадок подшипников качения / Кононенко А.С., Соловьева А.А. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 2. С. 35-38.
3. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.
4. Коломейченко, А.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования / Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 16-21.
5. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
6. Ли, Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – 224 с.
7. Михайлюк, А. Е. Разработка эластомерных материалов на основе этиленпропиленовых каучуков, модифицированных высокодисперсными частицами металлов [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук / Михайлюк А.Е. – Волгоград, 2014. – 140 с.
8. Помогайло, А. Д. Наночастицы металлов в полимерах / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – Москва : Химия, 2000. – 672 с.
9. Кособудский, И. Д. Наноразмерные металлические частицы в полимерных матрицах: I. Синтез, механизмы образования и стабилизации / И. Д. Кособудский // Известия высших учебных заведений. – 2000. – Т. 43 (4). – С. 3-18.
10. Мищенко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
11. Полимерные нанокомпозиты : многообразие структурных форм и приложений / А.К. Микитаев, Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков; Ин-т биохим. Физики им. Н.М. Эмануэля РАН. – М. : Наука, 2009. – 278 с.
12. R. I. Li, D. N. Psarev, M. R. Kiba. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 15-19.
13. R. I. Li, D. N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 249–252.
14. Бочаров, А. В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук: 05.20.03: / Бочаров А. В. – Мичуринск, 2009. – 150 с.
15. Бутин, А. В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники полимер-полимерными композициями [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук: 05.20.03: / Бутин А. В. – Мичуринск, 2012. – 127 с.
16. Малюгин, В. А. Восстановление посадок подшипников качения автомобилей нанокомпозитом на основе анаэробного герметика АН-111: дис. …канд. техн. Наук: 05.20.03: / Малюгин В. А. – Мичуринск, 2019. – 169 с.
17. R. I. Li, D. N. Psarev, V. A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.
18. Киба, М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40 [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук / Киба М.Р. – Мичуринск, 2020. – 164 с.

19. Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин [Текст] / Курчаткин В. В.,Тельнов Н. Ф., Ачкасов К. А., Батищев А. Н. и др.; – М.: Колос, 2000, – 776 с.

20. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

21. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

22. ГОСТ 9550-81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.

Основы научных исследований [Текст] : Учеб. Пособие / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2013. – 190 с.

References

1. Kononenko A.S., Solovyeva A.A., Komogortsev V.F. Theoretical determination of the min-imum thickness of a polymer layer providing ensured protection of a shaft–bearing joint from fret-ting corrosion. Polymer Science. Series D. 2020. T. 13. № 1. S. 45-49.

2. Kononenko, A.S. Povyshenie prochnostnyh harakteristik anaerobnyh polimernyh so-stavov, ispol'zuemyh pri vosstanovlenii posadok podshipnikov kacheniya / Kononenko A.S., Solov'eva A.A.Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2019. № 2. S. 35-38.

3. Zhachkin S.YU., Pen'kov N.A., Mandrykin I.A., Belencov V.G. Intensifikaciya vossta-novleniya detalej sel'hozmashin dispersno-uprochnennym kompozitnym pokrytiem na osnove hroma // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2019. №3 (32) . S. 49-54.

4. Kolomejchenko, A.V. Tekhnologiya vosstanovleniya s uprochneniem detalej mashin na os-nove primeneniya mikrodugovogo oksidirovaniya / Kolomejchenko A.V., Kravchenko I.N., Puzrya-kov A.F., Logachyov V.N., Titov N.V. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2014. № 10. S. 16-21.

5. Tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detalej avtotraktornoj tekhniki / R.I. Li // Lipeck : Izd-vo LGTU, 2014. – 379 s.

6. Li, R. I. Polimernye kompozicionnye materialy dlya fiksacii podshipnikov kacheniya v uzlah mashin monografiya / R.I. Li. – Lipeck: Izd-vo Lipeckogo gosudarstvennogo tekhniche-skogo universiteta, 2017. – 224 s.

7. Mihajlyuk, A. E. Razrabotka elastomernyh materialov na osnove etilenpropilenovyh kauchukov, modificirovannyh vysokodispersnymi chasticami metallov [Tekst]: dis. … kand. Tekhn. Nauk / Mihajlyuk A.E. – Volgograd, 2014. – 140 s.

8. Pomogajlo, A. D. Nanochasticy metallov v polimerah / A. D. Pomogajlo, A. S. Rozen-berg, I. E. Uflyand. – Moskva : Himiya, 2000. – 672 s.

9. Kosobudskij, I. D. Nanorazmernye metallicheskie chasticy v polimernyh matricah: I. Sintez, mekhanizmy obrazovaniya i stabilizacii / I. D. Kosobudskij // Izvestiya vysshih ucheb-nyh zavedenij. – 2000. – T. 43 (4). – S. 3-18.

10. Mishchenko S.V., Tkachev A.G. Uglerodnye nanomaterialy. Proizvodstvo, svojstva, pri-menenie. – M.: Mashinostroenie, 2008. – 320 s.

11. Polimernye nanokompozity: mnogoobrazie strukturnyh form i prilozhenij / A.K. Mikitaev, G.V. Kozlov, G.E. Zaikov; In-t biohim. Fiziki im. N.M. Emanuelya RAN. – M.: Nauka, 2009. – 278 s.

12. R. I. Li, D. N. Psarev, M. R. Kiba. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fill-ers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 15-19.

13. R. I. Li, D. N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Sur-face of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materi-als, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 249–252.

14. Bocharov, A. V. Povyshenie effektivnosti vosstanovleniya nepodvizhnyh soedinenij podshipnikov kacheniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki adgezivami, napolnennymi dispersnymi metallicheskimi poroshkami [Tekst]: dis. … kand. Tekhn. Nauk: 05.20.03: / Bocharov A. V. – Michu-rinsk, 2009. – 150 s.

15. Butin, A. V. Povyshenie effektivnosti vosstanovleniya nepodvizhnyh soedinenij podshipnikov kacheniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki polimer-polimernymi kompoziciyami [Tekst]: dis. … kand. Tekhn. Nauk: 05.20.03: / Butin A. V. – Michurinsk, 2012. – 127 s.

16. Malyugin, V. A. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kacheniya avtomobilej nanokom-pozitom

na osnove anaerobnogo germetika AN-111: dis. …kand. tekhn. Nauk: 05.20.03: / Malyugin V. A. – Michurinsk, 2019. – 169 s.

17. R. I. Li, D. N. Psarev, V. A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings dur-ing Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.

18. Kiba, M.R. Vosstanovlenie posadochnyh otverstij v korpusnyh detalyah sel'skohozyaj-stvennoj tekhniki nanokompozitom na osnove elastomera F-40 [Tekst]: dis. … kand. Tekhn. Nauk / Kiba M.R. – Michurinsk, 2020. – 164 s.

19. Kurchatkin V. V. Nadezhnost' i remont mashin [Tekst] / Kurchatkin V. V.,

20. GOST 12423-66. Plastmassy. Usloviya kondicionirovaniya i ispytaniya obrazcov (prob) [Tekst]. – M.: Izd-vo standartov, 1989. – 6 s.

21. GOST 14236-81. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastyazhenie [Tekst]. – M.: Izd-vo standartov, 1982. – 10 s.

22. GOST 9550-81. Plastmassy. Metody opredeleniya modulya uprugosti pri rastyazhenii, szhatii i izgibe (prob) [Tekst]. – M.: Izd-vo standartov, 1981. – 7 s.

23.Osnovy nauchnyh issledovanij [Tekst] : Ucheb. Posobie / R.I. Li // Lipeck : Izd-vo LGTU, 2013. – 190 s.

Информация об авторах

Р. И. Ли – доктор технических наук, профессор; Ю. Н. Ризаева – доктор технических наук, доцент; А.Н. Быконя – кандидат технических наук; Д. Н. Псарев – кандидат технических наук, доцент; М. Р. Киба – кандидат технических наук.

Information about the authors

R. Li – Doctor of Technical Science, Professor; Yu. Rizaeva – Doctor of Technical Science, Associate Professor; A. Bykonya – Candidate of Technical Science; D. Psarev – Candidate of Technical Science, Associate Professor; M. Kiba – Candidate of Technical Science

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 02.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 05.08.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.822.6.004.67: 668.3:631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-122-130

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫМИ НАНОКОМПОЗИТАМИ

Роман Иннакентьевич Ли[1], Юлия Николаевна Ризаева[2], Антон Юрьевич Мельников[3], Дмитрий Николаевич Псарев[4], Мария Ромновна Киба[5]
[1,2,3]Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2] https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3] https://orcid.org/0000-0001-6565-8952
[4]Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия
[4] https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5]Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Россия
[5] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Автор ответственный за переписку: Роман Иннакентьевич Ли, romanlee@list.ru Corresponding author Roman Li, romanlee@list.ru.

Реферат. *Термостойкость полимерного материала, предназначенного для восстановления посадок подшипников, является его важнейшим эксплуатационным свойством. При наполнении эластомеров наночастицами термостойкость нанокомпозитов меняется неоднозначно и зависит от вида каучука – основы эластомера. В нанокомпозитах для восстановления посадок подшипников, наполнителями помимо наночастиц меди, используют наночастицы алюминия, а также углеродные нанотрубки. Исследовано влияние углеродных нанотрубок и наночастиц алюминия на термостойкость эластомеров. Экспериментально исследовано изменение деформационно-прочностных свойств эластомера Ф-40С и нанокомпозитов на его основе до и после высокотемпературного старения. Состав №1: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит» – 0,1 масс.ч. Состав №2: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок – 0,075 масс.ч. Образцы изготовили в виде полимерных пленок. Термическое старение образцов проводили в условиях ограниченного доступа кислорода воздуха. Термостойкость нанокомпозита состава №1, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, повысилась. Коэффициент старения нанокомпозита по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился в 1,2 раза, а по деформации, увеличился в 1,38 раза. Коэффициент старения нанокомпозита состава №2 по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился в 1,17 раза, а по деформации, увеличился в 1,2 раза, что подтверждает увеличение его термостойкости. Экспериментальными исследованиями установлено, что углеродные нанотрубки «Таунит-М» и наночастицы алюминиевого порошка являются ингибиторами процесса термоокисления эластомера Ф-40С и поэтому повышают термостойкость нанокомпозитов на его основе.*

Ключевые слова: *восстановление, подшипник, покрытие, эластомерный нанокомпозит, деформационно-прочностные свойства, термостойкость.*

HEAT RESISTANCE OF ROLLING BEARING FITS RESTORED ELASTOMERIC NANOCOMPOSITES

Roman Li [1], Yulia Rizaeva[2], Anton Melnikov[3], Dmitry Psarev[4], Maria Kiba[5]
[1,2,3] Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia
[1]romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2]https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3]https://orcid.org/0000-0001-6565-8952

[4]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[4]https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5]*St. Petersburg State Mining University», St. Petersburg, Russia*
[5]https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Abstract. *The heat resistance of the polymer material for restoring bearing fits is its most important operational property. The thermal stability of nanocomposites when filling elastomers with nanoparticles varies ambiguously and depends on the type of rubber that is the basis of the elastomer. To restore bearing fits, fillers, in addition to copper nanoparticles, use aluminum nanoparticles, as well as carbon nanotubes in nanocomposites. The effect of carbon nanotubes and aluminum nanoparticles on the heat resistance of elastomers was investigated. The change in the deformation-strength properties of the F-40S elastomer and nanocomposites based on it before and after high-temperature aging was experimentally studied. Composition No. 1: F-40S elastomer – 100 mass parts, Taunit carbon nanotubes – 0.1 mass parts. Composition No. 2: F-40S elastomer – 100 mass parts, aluminum nanopowder – 0.075 mass parts. Samples were made in the form of polymer films. Thermal aging of the samples was carried out under conditions of limited oxygen access to air. The heat resistance of the nanocomposite of composition No. 1, in comparison with the F-40S not filled with elastomer, has increased. The aging coefficient of the nanocomposite in strength, in comparison with the unfilled elastomer, increased by 1.2 times, and in terms of deformation, it increased by 1.38 times. The aging coefficient of the nanocomposite composition No. 2 in strength, in comparison with the unfilled elastomer, increased by 1.17 times, and in terms of deformation, it increased by 1.2 times, which confirms the increase in its heat resistance. Experimental studies have established that the Townit-M carbon nanotubes and aluminum powder nanoparticles are inhibitors of the elastomer thermal oxidation process F-40S and therefore increase the heat resistance of nanocomposites based on it.*

Keywords*: recovery, bearing, coating, elastomeric nanocomposite, deformation-but-strength properties, heat resistance.*

Для цитирования: Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Мельников А.Ю., Псарев Д.Н., Киба М.Р. Термостойкость посадок подшипников качения, восстановленных эластомерными нанокомпозитами // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 122-130. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-122-130.

For citation: Li R., Rizaeva Y., Melnikov A., Psarev D., Kiba M. Heat resistance of rolling bearing fits restored elastomeric nanocomposites // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 122-130. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-122-130.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20)

Acknowledgments: the study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-38-90070\20

Введение. Термостойкость полимерного материала, предназначенного для восстановления посадок подшипников, является его важнейшим эксплуатационным свойством. Очень важно, чтобы материал, имеющий изначально высокие деформационно-прочностные и адгезионные свойства, длительное время не терял их в условиях высоких эксплуатационных температур [1 - 6]. В ряде случаев повышенная эксплуатационная температура вызывает термоокислительную деструкцию эластомера, причиной которой является разрыв химических связей основной цепи макромолекул и образование макрорадикалов R. И радикалов RO_2., представляющих собой продукты распада гидропероксидов, появляющихся вследствие окисления макромолекул полимера [7 - 9].

При наполнении эластомеров наночастицами термостойкость нанокомпозитов меняется неоднозначно, различным образом. Это теплофизическое свойство во многом определяется материалом наночастиц и видом каучука, являющегося основой эластомера.

Исследование композитов на основе натурального каучука, наполненных металлическими наночастицами, показало, что частицы металлов меди, марганца, кобальта действуют как

катализаторы термоокисления, вызывая термоокислительную деструкцию каучука. Частицы меди и ее оксиды принимают активное участие в окислительно-восстановительных реакциях термоокисления натурального каучука. Это подтверждается понижением кажущейся энергии активации процесса с 112,8 до 69,8 кДж/моль. По этой причине медь относят к наиболее активному катализатору деструкции натурального каучука. Дальнейшие исследования показали, что частицы металлов железа, никеля, цинка и свинца к катализаторам термоокисления не относятся [10, 11].

Термостойкость каучуков можно повысить путем устранения в структуре слабых мест и связыванием свободных радикалов, которые образуются при терморападе. Вид и строение каучука определяют характер каталитического действия металлов переменной валентности на процесс термоокисления. Один и тот же металл переменной валентности для различных видов каучуков может являться как катализатором, так и ингибитором цепного радикального процесса окисления. Например, если для натурального каучука медь является катализатором, то для бутадиен-нитрильных каучуков этот металл ингибитор процесса окисления [12 - 14].

В работах [15 - 17] для связывания свободных радикалов, которые образуются при терморападе и повышения термостойкости эластомер Ф-40 наполняли наночастицами меди. Состав нанокомпозита: : эластомер Ф-40 – 100 масс.ч., медный нанопорошок – 1,8 масс. Ч., алюминиевый нанопорошок – 1,9 масс. Ч. Исследования термостойкости нанокомпозита в условиях ограниченного доступа кислорода воздуха (ОДКВ) показали его значительное повышение, в сравнении с матрицей. Коэффициенты старения нанокомпозита по прочности в 1,8 раза, а по деформации в 1,4 раза превышают аналогичные показатели не наполненного эластомера и тем самым подтверждают увеличение термостойкости материала.

В нанокомпозитах, предназначенных для восстановления посадок подшипников, в качестве наполнителей, помимо наночастиц меди, используют наночастицы алюминия, а также углеродные нанотрубки [18 - 20]. Представляют научный и практический интерес исследование влияния углеродных нанотрубок и наночастиц алюминия на термостойкость эластомеров. Цель исследований – изучить термостойкость эластомерных нанокомпозитов, наполненных углеродными нанотрубками и наночастицами алюминия.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили на образцах из эластомера Ф-40С и нанокомпозитов на его основе. Нанокомпозит состава №1: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч. Нанокомпозит состава №2: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч.

Образцы изготовили в виде полимерных пленок. Форма пленки прямоугольная, размеры: $50 \times 10 \times 0{,}15$ мм. Расчетная длина образца – 30 мм. Термическая обработка и старение образцов проведены в шкафу сушильном марки СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3. Режим термической обработки: нагрев $T = 150^{o}$C, продолжительность $t = 3$ ч.

Термостойкость эластомера Ф-40С и эластомерных нанокомпозитов исследовали, оценивая прочность σ_p и относительное удлинение ε образцов, до и после термического старения. Термическое старение осуществляли в условиях ОДКВ при температуре 200^{o}C в течение 3 ч [21]. Для обеспечения условий ОДКВ предназначена специальная форма-оснастка, которая включает две одинаковые опорные пластины 1 и рамку-трафарет 2 между ними (рисунок 1). Детали оснастки изготовлены из Ст3 ГОСТ 380-2005. Первоначально рамка-трафарет размещается на опорной пластине. Затем готовые пленки 3 устанавливают в окна рамки-трафарета, после чего последнюю накрывают второй опорной пластиной. Для ограничения доступа кислорода воздуха к образцам, опорные пластины, рамка-трафарет с пленками, стягиваются восемью болтами. После сборки форма-оснастка размещается в сушильном шкафу для проведения термического старения образцов.

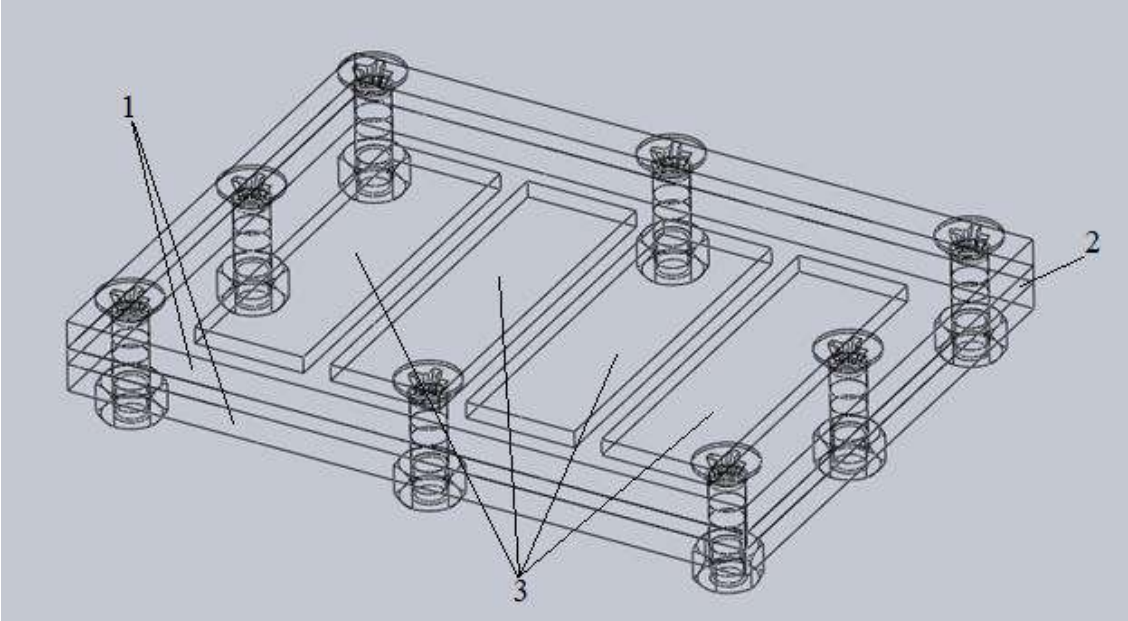


Рисунок 1 – Форма-оснастка для термического старения пленок в условиях ОДКВ:
1 – опорная пластина; 2 – рамка-трафарет; 3 – пленки

Кондиционирование образцов проводили при нормальных условиях в течение 16 ч [22]. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50. Скорость нагружения образцов составляла 50 мм/мин [23].

Коэффициенты старения (K_σ , K_ε) образцов рассчитывали по формуле [21]

$$K = \frac{A}{O},$$

где O и A – средний показатель (прочность σ или относительное удлинение ε) образцов соответственно до и после старения.

Результаты исследования. На начальном этапе исследовали изменение деформационно-прочностных свойств эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №1 после термического старения в условиях ОДКВ. В таблице 1 представлены результаты исследования термостойкости полимерных материалов до и после высокотемпературного старения. На рис. 2 показаны диаграммы коэффициентов старения по прочности K_σ и относительному удлинению K_ε эластомера Ф-40С и нанокомпозита на его основе.

Как следует из рисунка 2 термостойкость нанокомпозита состава №1, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, существенно повысилась. Коэффициент старения нанокомпозита по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился от 0,66 до 0,72, то есть в 1,1 раза, а по деформации, увеличился от 0,34 до 0,4, т.е. в 1,17 раза, что является подтверждением увеличения термостойкости нанокомпозита.

Экспериментально подтверждено увеличение термостойкости нанокомпозита, в сравнении с не наполненным эластомером, по прочности в 1,2 раза, по деформации – 1,38 раза. Поэтому углеродные нанотрубки «Таунит-М» являются ингибиторами процесса термоокисления эластомера Ф-40С.

Таблица 1 - Деформационно-прочностные свойства эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №1 до и после высокотемпературного старения

Наименование показателя	Эластомер Ф-40С	Нанокомпозит
До старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	20,61	26,82
Деформация ε, %	179,08	246,23
После старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	12,45	19,31
Деформация ε, %	52,3	98,50
Коэффициент старения по прочности K_σ	0,6	0,72
Коэффициент старения по деформации K_ε	0,29	0,40

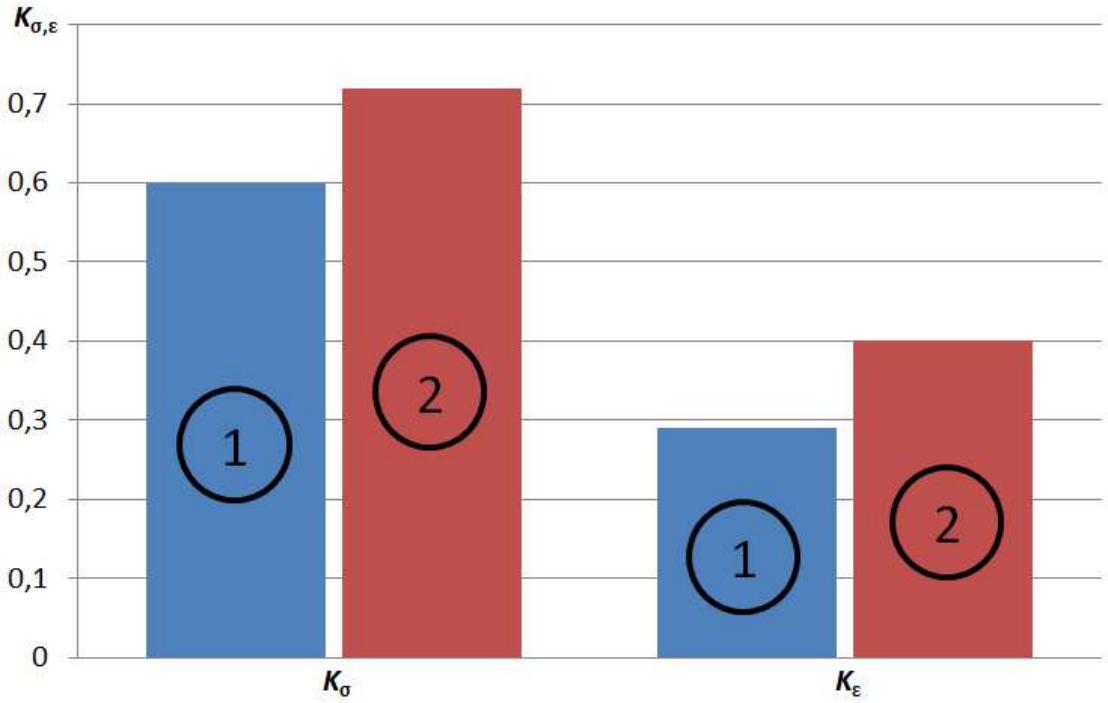


Рисунок 2 – Диаграмма коэффициентов старения по условной прочности K_σ и относительному удлинению K_ε : 1 – эластомер Ф-40С; 2 – нанокомпозит состава №1

Далее исследовали изменение деформационно-прочностных свойств эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №2 после термического старения в условиях ОДКВ. В таблице 2 показаны результаты испытаний полимерных материалов до и после высокотемпературного старения [137Статья, Маша].

На рисунке 3 показаны коэффициенты старения по прочности K_σ и относительному удлинению K_ε эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава № 2.

Таблица 2 - Механические свойства эластомера Ф-40С и нанокомпозита состава №2 до и после высокотемпературного старения

Наименование показателя	Эластомер Ф-40С	Нанокомпозит состава №2
До старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	20,61	23,29
Деформация ε, %	179,08	199,35
После старения		
Прочность $\sigma_р$, МПа	12,45	16,31
Деформация ε, %	52,3	69,15
Коэффициент старения по прочности K_σ	0,6	0,70
Коэффициент старения по деформации K_ε	0,29	0,35

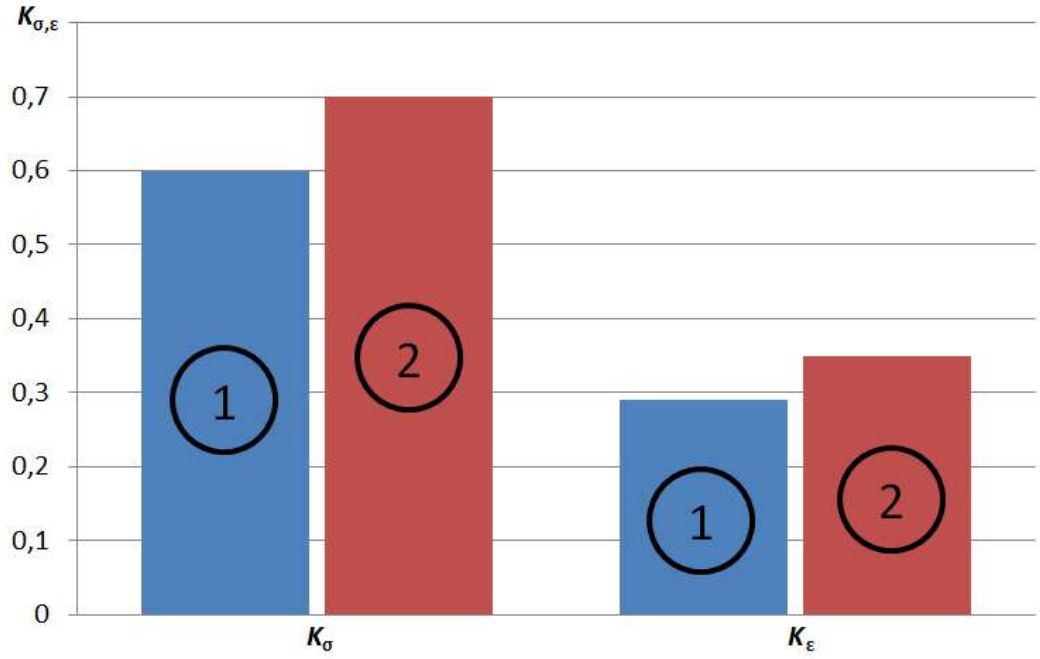


Рисунок 3 – Диаграмма коэффициентов старения по условной прочности K_σ и относительному удлинению K_ε : 1 – эластомер Ф-40С; 2 – нанокомпозит состава №2

Как следует из рис. 3 термостойкость нанокомпозита состава №2, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, повысилась. Коэффициент старения нанокомпозита по прочности, в сравнении с не наполненным эластомером, увеличился от 0,6 до 0,7, т.е. в 1,17 раза, а по деформации, увеличился от 0,29 до 0,35, т.е. в 1,2 раза, что является подтверждением увеличения термостойкости нанокомпозита.

Выводы.

1. Экспериментально подтверждено увеличение термостойкости нанокомпозита, наполненного углеродными нанотрубками «Таунит-М», в сравнении с не наполненным эластомером, по прочности в 1,2 раза, по деформации – 1,38 раза.

2.Наполнение эластомера Ф-40С наночастицами алюминиевого порошка повышает термостойкость нанокомпозита, в сравнении с не наполненным эластомером, по прочности в 1,17 раза, по деформации – 1,2 раза.

3. Углеродные нанотрубки «Таунит-М» и наночастицы алюминиевого порошка являются ингибиторами процесса термоокисления эластомера Ф-40С.

Список источников

1. Kononenko A.S., Solovyeva A.A., Komogortsev V.F. Theoretical determination of the minimum thickness of a polymer layer providing ensured protection of a shaft–bearing joint from fretting corrosion. Polymer Science. Series D. 2020. Т. 13. № 1. С. 45-49.
2. Кононенко А.С. Повышение прочностных характеристик анаэробных полимерных составов, используемых при восстановлении посадок подшипников качения / Кононенко А.С., Соловьева А.А.Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 2. С. 35-38.
3. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.
4. Коломейченко А.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования / Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 16-21.
5. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
6. Ли Р.И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – 224 с.
7. Гладышев Г.П. Стабилизация термостойких полимеров / Г. П. Гладышев, Ю. А. Ершов, О. А. Шустова. – Москва : Химия, 1979. – 272 с.
8. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла : пер. с нем. / И. Фойгт. – Ленинград : Химия, 1972. – 544 с.
9. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров / М. Т. Брык. – Москва : Химия, 1989. – 192 с.
10. Львов Ю.А. Влияние металлов переменной валентности на стабильность бутадиен-нитрильного каучука в условиях термоокисления / Ю. А. Львов, К. Б. Пиотровский, Т. А. Авдеевич // Каучук и резина. – 1972. – № 9. – С. 18–22.
11. Пиотровский К.Б. Старение и стабилизация синтетических каучуков и вулканизатов / К. Б. Пиотровский, З. Н. Тарасова. – М.: Химия, 1980. – 264 с.
12. Полимерные нанокомпозиты: многообразие структурных форм и приложений / А.К. Микитаев, Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков; Ин-т биохим. Физики им. Н.М. Эмануэля РАН. – М. : Наука, 2009. – 278 с.
13. Помогайло А.Д. Наночастицы металлов в полимерах / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
14. Кособудский И.Д. Наноразмерные металлические частицы в полимерных матрицах: I. Синтез, механизмы образования и стабилизации / И. Д. Кособудский // Известия высших учебных заведений. – 2000. – Т. 43 (4). – С. 3-18.
15. Киба М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40 [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук / Киба М.Р. – Мичуринск, 2020. – 164 с.
16. R.I. Li, D.N. Psarev, M.R. Kiba. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 15-19.
17. R.I. Li, D.N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 249–252.
18. Малюгин В.А. Восстановление посадок подшипников качения автомобилей

нанокомпозитом на основе анаэробного герметика АН-111: дис. …канд. техн. Наук: 05.20.03: / Малюгин В. А. – Мичуринск, 2019. – 169 с.

19. R.I. Li, D.N. Psarev, V.A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.

20. Мищенко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.

21. Михайлюк А.Е. Разработка эластомерных материалов на основе этиленпропиленовых каучуков, модифицированных высокодисперсными частицами металлов [Текст]: дис. … канд. Техн. Наук / Михайлюк А.Е. – Волгоград, 2014. – 140 с.

22. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

23. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

References

1. Kononenko A.S., Solovyeva A.A., Komogortsev V.F. Theoretical determination of the minimum thickness of a polymer layer providing ensured protection of a shaft–bearing joint from fretting corrosion. Polymer Science. Series D. 2020. Vol. 13. No. 1. P. 45-49.

2. Kononenko A.S. Improving the strength characteristics of anaerobic polymer compositions used in the restoration of rolling bearings / Kononenko A.S., Solovieva A.A. Repair. Recovery. Modernization. 2019. No. 2. S. 35-38.

3. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Mandrykin I.A., Belentsov V.G. Intensification of the restoration of parts of agricultural machines with a dispersion-strengthened composite coating based on chromium // Innovations in agriculture. 2019. No. 3 (32) . pp. 49-54.

4. Kolomeichenko A.V. Restoration technology with hardening of machine parts based on the use of microarc oxidation / Kolomeichenko A.V., Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Logachev V.N., Titov N.V. Construction and road machines. 2014. No. 10. S. 16-21.

5. Technologies for the restoration and hardening of parts of automotive equipment / R.I. Lee // Lipetsk: Publishing house of LGTU, 2014. – 379 p.

6. Lee R.I. Polymer composite materials for fixing rolling bearings in machine nodes monograph / R.I. Lee. – Lipetsk: Publishing House of the Lipetsk State Technical University, 2017. – 224 p.

7. Gladyshev G.P. Stabilization of heat-resistant polymers / G. P. Gladyshev, Yu. A. Ershov, O. A. Shustova. – Moscow: Chemistry, 1979. – 272 p.

8. Voigt I. Stabilization of synthetic polymers against the action of light and heat : per. With him. / I. Voigt. – Leningrad: Chemistry, 1972. – 544 p.

9. Bryk M. T. Destruction of filled polymers / M. T. Bryk. – Moscow: Chemistry, 1989. – 192 p.

10. Lvov Yu.A., Piotrovsky, K. B., Avdeevich, T. A. Influence of metals of variable valence on the stability of butadiene-nitrile rubber under thermal oxidation conditions, Kauchuk i rezina. – 1972. – No. 9. – S. 18–22.

11. Piotrovsky K.B. Aging and stabilization of synthetic rubbers and vulcanizates / K. B. Piotrovsky, Z. N. Tarasova. – Moscow: Chemistry, 1980. – 264 p.

12. Polymer nanocomposites: variety of structural forms and applications / A.K. Mikitaev, G.V. Kozlov, G.E. Zaikov; Institute of Biochem. Physics them. N.M. Emanuel RAS. – M. : Nauka, 2009. – 278 p.

13. Pomogailo A.D., Rozenberg A. S., Uflyand I. E. Metal nanoparticles in polymers. – Moscow: Chemistry, 2000. – 672 p.

14. Kosobudsky I.D. Nanosized metal particles in polymer matrices: I. Synthesis, mechanisms of formation and stabilization / I. D. Kosobudsky // News of higher educational institutions. – 2000. – T. 43 (4). – P. 3-18.

15. Kiba M.R. Restoration of mounting holes in body parts of agricultural machinery with a nanocomposite based on F-40 elastomer [Text]: dis. … cand. Tech. Sciences / Kiba M.R. – Michurinsk, 2020. – 164 p.

16. R.I. Li, D.N. Psarev, M.R. Kiba. Theoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, no. 1, pp. 15-19.

17. R.I. Li, D.N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, no. 3, pp. 249–252.

18. Malyugin V.A. Restoration of landings of rolling bearings of automobiles with a nanocomposite based on anaerobic sealant AN-111: dis. …cand. tech. Sciences: 05.20.03: / Malyugin V. A. – Michurinsk, 2019. – 169 p.

19. R.I. Li, D.N. Psarev, V.A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, no. 3, pp. 261-265.

20. Mishchenko S.V., Tkachev A.G. Carbon nanomaterials. Production, properties, application. – M.: Mashinostroenie, 2008. – 320 p.

21. Mikhailyuk A.E. Development of elastomeric materials based on ethylene-propylene rubbers modified with highly dispersed metal particles [Text]: dis. … cand. Tech. Sciences / Mikhailyuk A.E. – Volgograd, 2014. – 140 p.

22. GOST 12423-66. Plastics. Conditions for conditioning and testing samples (samples) [Text]. – M.: Publishing house of standards, 1989. – 6 p.

23. GOST 14236-81. Films are polymeric. Tensile test method [Text]. – M.: Publishing house of standards, 1982. – 10 p.

Информация об авторах

Р. И. Ли – доктор технических наук, профессор; Ю. Н. Ризаева – доктор технических наук, доцент; А.Ю. Мельников – кандидат технических наук; Д. Н. Псарев – кандидат технических наук, доцент; М. Р. Киба – кандидат технических наук.

Information about the authors

R. Li – Doctor of Technical Science, Professor; Yu. Rizaeva – Doctor of Technical Science, Associate Professor; A. Melnikov – Candidate of Technical Science; D. Psarev – Candidate of Technical Science, Associate Professor; M. Kiba – Candidate of Technical Science

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 02.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 05.08.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.521
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-131-139

КАВИТАЦИОННЫЕ РАЗРУШЕНИЯ В ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСАХ

Дмитрий Вячеславович Никитин[1], Юрий Владимирович Родионов[2], Григорий Вячеславович Рыбин[3], Николай Владимирович Воронин[4], Анастасия Игоревна Скоморохова[5], Анна Олеговна Сухова[6]

[1,2,3,4,5,6] *Тамбовский государственный технический унисерситет, г. Табмов, Россия*
[1,2] *Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[2] rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[3]enot1237@gmail.com
[4] voronin.nikolay.1994@yandex.ru
[5]nasta373@mail.ru
[6]eco@mail.tstu.ru

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

Реферат. *Актуальность исследования параметров работы жидкостнокольцевых вакуум-насосов и разработки новых конструкций обусловлена их востребованностью в АПК. В работе приводится описание кавитационных явлений, возникающих при работе жидостнокольцевого вакуум-насоса. Кавитация ухудшает параметры работы насоса и зачастую может стать причиной отказа. Она может возникать вследствие: низкого барометрического давления; большой вакуумметрической высоты всасывания; высокой температураы перекачиваемой жидкости; добавочной потери давления в рабочем колесе насоса. Для выявления возможности возникновения кавитации в жидкостнокольцевом вакуум-насосе составляются кавитационная характеристика. Она строится на основе испытаний насоса при постоянных расходе рабочей жидкости и частоте вращения рабочего колеса, выполняемых на специальной установке, схема которой представлена в статье. Кавитационные явления в жидкостнокольцевом вакуум-насосе с водой возникают при разрежении выше 90%. Для одноступенчатого жидкостнокольцевого вакуум-насоса эта величина соответствует диапазону вакуума 20-10 кПа, для двухступенчатого – 10-1 кПа. Представлено фото лопаток рабочего колеса жидкостнокольцевого вакуум-насоса, подверженных кавитационному воздействию. Приведена формула расчета коэффициента кавитации, который характеризует кавитационный запас. Его значение зависит от конструкции рассматриваемого насоса и эксплуатационных условий его работы и может быть определено опытным путем. Предложены практические рекомендации по предотвращению возникновения кавитационных явлений: уменьшение температуры воды; повышение точности выбора модели; оснащение насоса эжектором воздуха; использование в качестве рабочей жидкости с низким содержанием насыщенного пара; изготовление рабочего колеса из материалов с повышенными антикавитационными свойствами.*

Ключевые слова: *механизация, переработка, процессы АПК, жидкостнокольцевые вакуумные насосы, кавитационные воздействия, повышение кавитационной стойкости.*

CAVITATION DAMAGES IN LIQUID RING VACUUM PUMPS

Dmitry Nikitin[1], Yuri Rodionov[2], Grigory Rybin[3], Nikolai Voronin[4], Anastasia Skomorokhova[5], Anna Sukhova[6]

[1,2,3,4,5,6] *Tambov State Technical University, Tabmov, Russia*

[1,2] *Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[2]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[3]enot1237@gmail.com
[4]voronin.nikolay.1994@yandex.ru
[5]nasta373@mail.ru
[6]eco@mail.tstu.ru

Abstract. *The relevance of studying the parameters of operation of liquid ring vacuum pumps and the development of new designs is due to their demand in the agro-industrial complex. The paper provides a description of the cavitation phenomena that occur during the operation of a liquid ring vacuum pump. Cavitation degrades pump performance and can often cause failure. It can occur due to: low barometric pressure; large vacuum suction height; high temperature of the pumped liquid; additional pressure loss in the pump impeller. To identify the possibility of cavitation in a liquid ring vacuum pump, a cavitation characteristic is compiled. It is based on testing the pump at a constant flow rate of the working fluid and the speed of the impeller, performed on a special installation, the scheme of which is presented in the article. Cavitation phenomena in a liquid ring vacuum pump with water occur at a vacuum above 90%. For a single-stage liquid ring vacuum pump, this value corresponds to a vacuum range of 20-10 kPa, for a two-stage one - 10-1 kPa. A photo of the impeller blades of a liquid ring vacuum pump exposed to cavitation is presented. The formula for calculating the cavitation coefficient, which characterizes the cavitation reserve, is given. Its value depends on the design of the considered pump and the operating conditions of its operation and can be determined empirically. Practical recommendations are offered to prevent the occurrence of cavitation phenomena: decrease in water temperature; improving the accuracy of model selection; equipping the pump with an air ejector; use as a working fluid with a low content of saturated steam; production of the impeller from materials with increased anti-cavitation properties.*

Keywords: *mechanization, processing, agribusiness processes, liquid ring vacuum pumps, cavitation effects, increased cavitation resistance.*

Для цитирования: Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Рыбин Г.В., Воронин Н.В., Скоморохова А.И., Сухова А.О. Кавитационные разрушения в жидкостнокольцевых вакуум-насосах// Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 131-139. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-131-139.

For citation: Klimenko V., Petrovets V., Nekrasevish V., Kuzyur V., Budko S. Join research of integrated farming technologies by scientists of the union state – give results! // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 131-139. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-131-139.

Благодарности: работа выполнена в рамках гранта РФФИ «Разработка метода магнитно-термического упрочнения полимеров ферромагнитными порошками различной дисперсности для деталей машин широкого спектра применения», конкурс «Аспиранты», 2020 г. № договора 20-33-90298/20.

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the RFBR grant “Development of a method for magnetic-thermal hardening of polymers with ferromagnetic powders of various dispersions for machine parts for a wide range of applications”, competition “Postgraduate students”, 2020, contract No. 20-33-90298/20.

Введение.

На предприятиях АПК по производству животной и растительной продукции для механизации различных процессов требуется пневмо- и вакуумный транспорт. Также при переработке в сушеную растительную продукцию, получении растительных экстрактов используется различные типоразмеры жидкостнокольцевых вакуум-насосов (ЖВН) [1, 2]. Эти насосы являются основным

оборудованием для вакуумных экструдеров [3] и работают в условиях низкого и среднего вакуума.

Одним из важных критериев, определяющих работоспособность ЖВН, является кавитационностойкость.

Явление кавитации в насосах возникает вследствие следующих причин:

а) низкое барометрическое давление (если насосная установка находится в местности, расположенной высоко над уровнем моря);

б) большая вакуумметрическая высота всасывания (выше допустимой);

в) высокая температура перекачиваемой парогазовой среды;

г) добавочная потеря давления в рабочем колесе насоса.

В результате понижения давления происходит парообразование (вскипание) жидкости в полости рабочего колеса. Степень газификации жидкости зависит от давления и температуры. Растворенный в жидкости газ также будет выделяться при изменении давления и температуры. Когда внутреннее давление жидкости падает и становится ниже давления насыщенного пара жидкости при этой температуре, в определенной области образуются пузырьки или воздушные карманы. Повышение давления приводит к внезапному раздавливанию пузырьков окружающим давлением, и поток жидкости сжимается к центру пузырьков с очень высокой скоростью из-за инерции, что создает очень сильный эффект гидроудара по металлическим поверхностям насоса с очень высокой частотой ударов. Вследствие схлопывания пузырьков давление газа в отдельных местах может достигать до 100 Мпа, а его температура – до 1000 ℃, а частота ударов может достигать десятков тысяч в секунду [4]. Это приводит к нарушению структурной целостности поверхностей лопаток рабочего колеса ЖВН (рис. 1).

Рисунок 1 – Кавитационные разрушения на лопатках рабочего колеса ЖВН

На металлической поверхности происходит точечная коррозия, и это может серьезно повредить кристаллическое строение верхних слоёв. Если в кавитационной части рабочего колеса вакуумного насоса имеется большое остаточное напряжение, то это приведет к снятию напряжения и растрескиванию. Из-за внезапного разрыва пузырьков в зоне высокого давления во время кавитации вакуумного насоса, а также из-за шума и вибрации, вызванных сильным гидравлическим ударом, фиксируется звук, похожий на лопание бобов. Помимо механического воздействия от схлопывания пузырьков с образованием оспин на металлических поверхностях, кавитационное разрушение сопровождается множеством сложных воздействий, таких как электролиз и химическая коррозия.

Одним из направлений снижения отрицательного влияния кавитации является применение при изготовлении ответственных элементов вакуумного насоса различных полимеров или упрочняющих покрытий.

Цель работы заключается в анализе механизма образования и предотвращения кавитации в ЖВН.

Основная часть.

Различными модификациями конструкций ЖВН и явлением кавитации в них занимались многие ученые Лубенец В.Д., Райзман И.А., Никитин Д.В., Родионов Ю.В. [5-7].

Вопросами, связанными с изучением и модификацией полимерных материалов, также занимались многие отечественные и зарубежные ученые – Баронин Г.С., Кербер М.Л., Михайлин Ю.А., Шерышев М.А., М. Зонненшайн, М. Шиллер и другие [8-12].

Кавитационные явления могут возникать также и в направляющем аппарате или в спирали. Однако в этих местах подобные явления наблюдается значительно реже в сравнении с зоной рабочего колеса ЖВН. При возникновении кавитации наблюдается характерное широкополосное потрескивание в области всасывания, шумом и вибрацией насоса. В рабочем колесе ЖВН зоной воздействия кавитации будет область жидкостного кольца, в которой находятся лопатки рабочего колеса над всасывающим окном (рис. 2).

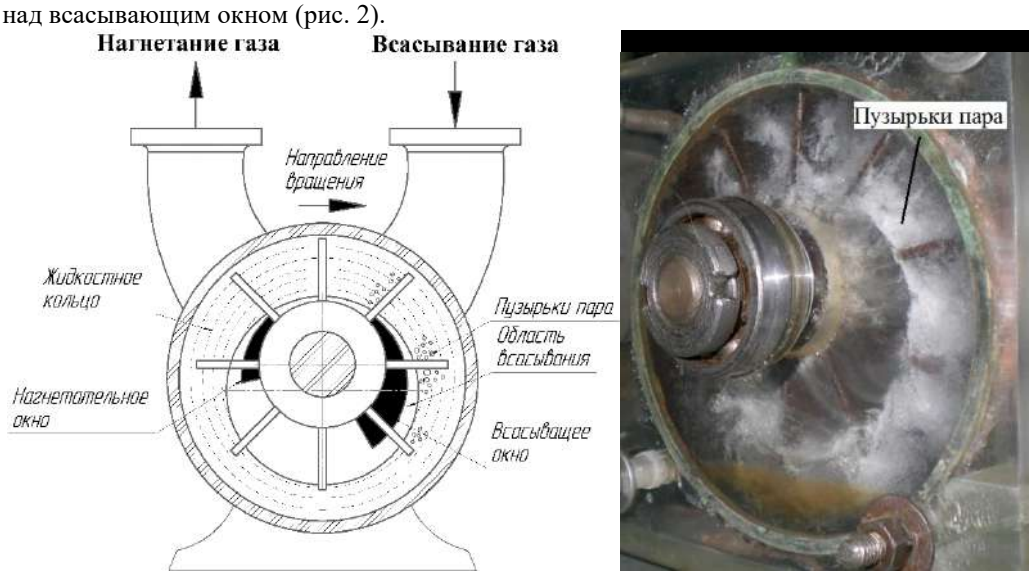


Рисунок 2 – Кавитация в рабочей полости ЖВН:
а) принципиальная схема рабочей полости ЖВН; б) фотография рабочей полости

Вакуумному насосу в качестве рабочего тела требуется жидкость. Каждая жидкость имеет соответствующее давление насыщенного пара при определенной температуре. Когда абсолютное давление в зоне всасывания ближе к давлению насыщенного пара жидкости, жидкость приближается к состоянию кипения. В это время на поверхности рабочей жидкости в зоне всасывания будет большое количество пузырьков. Поскольку пар рабочей жидкости, создаваемый жидкостью в рабочей полости, будет занимать часть пространства рабочей полости, внешняя всасывающая способность вакуумного насоса будет уменьшена. Когда давление в зоне всасывания достигает давления насыщенного пара рабочей жидкости, можно считать, что рабочая полость заполнена паром рабочей жидкости. В это время внешняя всасывающая способность вакуумного насоса близка к нулю, а лопатки рабочего колеса подвергаются сильному кавитационному воздействию (см. рис. 2). Следует отметить, если в качестве рабочей жидкости используется вода, то чем выше её температура, тем сильнее снижается производительность насоса.

Для исследования ЖВН с точки зрения опасности появления кавитации составляются, так называемые, кавитационные характеристики. Они могут быть получены в результате поведения испытаний ЖВН на специальной установке. Эта установка представлена в виде замкнутой циркуляционной системы. В систему входят насос, всасывающий и напорный трубопроводы и герметичный резервуар (рис. 3). Верхняя часть резервуара заполняется воздухом. Затем при отводе воздуха из данного резервуара (вакуум-насосом или эжектором), можно получить любое давление перед входом в насос. Расход в системе регулируется задвижкой на напорном

трубопроводе. Испытание производится при постоянном расходе рабочей жидкости (Q=const). По пути движения жидкости устанавливаются приборы для измерения расхода и давлений.

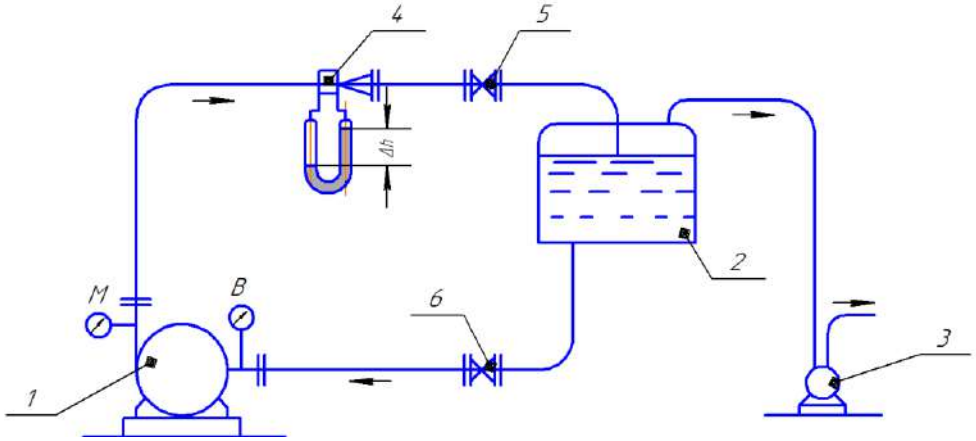


Рисунок 3 – Схема кавитационной установки: 1 – центробежный насос; 2 – закрытый резервуар; 3 – ЖВН; 4 – расходомер; 5 – задвижка на напорном трубопроводе; 6 – задвижка на всасывающем трубопроводе

Возникновение кавитации влечет за собой снижение КПД и уменьшение напора и быстроты действия ЖВН. Сильное развитии кавитации грозит полной остановкой насоса, происходит срыв потока жидкости. Совершенно недопустимо в процессе работы подвергать насос продолжительному воздействию даже небольшой кавитации. Загрязнение перекачиваемой жидкости и наличие в ней каких-либо посторонних включений приводит к усилению последствий кавитационного воздействия на детали насосов. При этом поверхности деталей становятся шероховатыми и приобретают губчатую структуру, что делает их более склонными к эрозионному износу. В то же время разрушение верхнего слоя деталей приводит к возникновению кавитации.

Достаточно сильно кавитационному разрушению подвергаются детали, изготовленные из таких материалов, как углеродистой сталь и чугун. Большей кавитационной стойкостью обладают нержавеющая сталь, бронза, а также различные полимерные материалы, например, полипропилен или полиацеталь и др. На основании этого, целесообразно при расчетах использовать коэффициент, учитывающий используемый материал.

Наряду с повышением качества материалов (за счет применения высококачественных сталей, полимеров) представляется перспективным нанесение защитных покрытий на наиболее подверженные воздействию кавитации детали. Могут применяться следующие методы нанесения защитных покрытий [12-15]:

а) наплавка твердых сплавов;

б) металлизация;

в) местная поверхностная закалка.

Результаты и их обсуждение.

Кавитационная характеристика (рис. 3) насоса при постоянных значениях расхода рабочей жидкости (Q=const) и частоты вращения рабочего колеса (n=const) представляет собой совокупность кривых Q, H, N и η в зависимости от вакуумметрической высоты всасывания ($H_{вс}$).

Кавитация начинается при работе ЖВН с водой при разрежении выше 90%. Для одноступенчатого ЖВН эта величина соответствует диапазону вакуума 20-10 кПа, для двухступенчатого – 10-1 кПа. Проведенная скоростная киносъемка показала, что кавитационные пузыри возникают в области всасывания в зоне наименьшего давления (рисунок 2). Из практики эксплуатации видно, что наиболее подвержены кавитационному разрушению лопатки рабочего колеса ЖВН (рисунок 11). Поэтому необходимо обеспечить «кавитационный запас», характеризуемый коэффициентом кавитации:

$$b = 365\frac{P_0 - P_n - P_d}{D^2 n^2 \rho \psi}, \qquad 1)$$

где P_0 – остаточное давление в аппарате, кПа; P_n – потери давления в трубопроводе от аппарата до вакуум-насоса, кПа; P_d – давление паров жидкости при температуре всасывания, кПа; D – диаметр насоса, м; n –частота вращения рабочего колеса, об/сек; ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м^3; ψ – безразмерный коэффициент, который учитывает область, занимаемую лопатками в насосе.

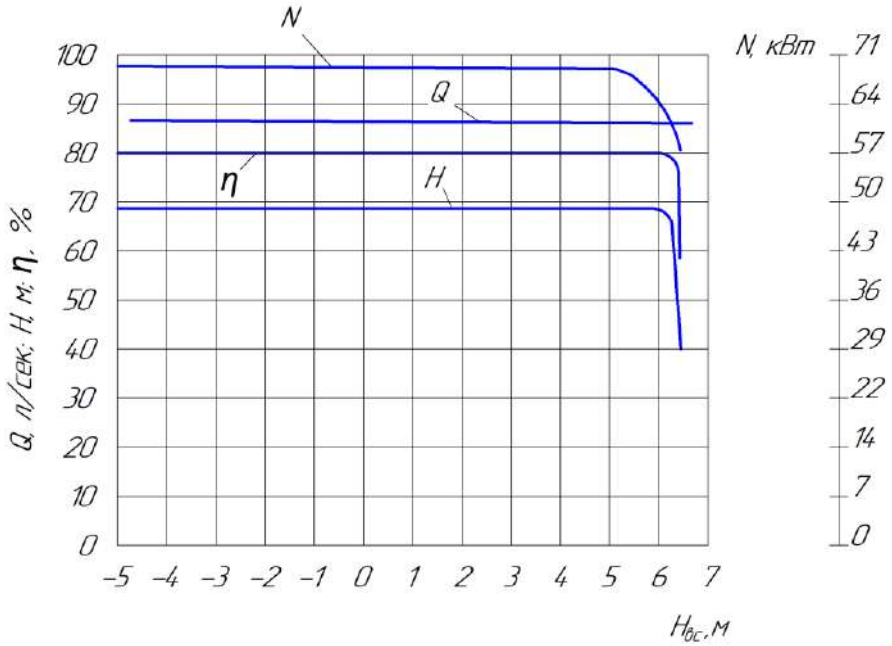


Рисунок 4 – Кавитационная характеристика: Q – расход рабочей жидкости, л/сек; $H_{вс}$ – высота подъема, м; N – мощность насоса, кВт; η – КПД насоса, %

Значение коэффициента кавитации и кавитационного запаса зависит от конструкции вакуум-насоса, условий его работы и может быть установлен опытным путем.

Решение вопросов устранения и предотвращения кавитации в ЖВН включает следующие направления:

1. Уменьшение температуры воды за счет уменьшения трения жидкости о корпус.

2. Повышение точности выбора модели и обеспечение работы вакуумного насоса в безопасной зоне. При выборе давления всасывания и температуры воды вакуумного насоса желательно избегать диапазона давления, в котором вакуумный насос склонен к кавитации, то есть необходимо избегать работы вакуумного насоса при критической степени вакуума или критическом давлении на выходе.

3. Оснащение насоса эжектором воздуха. Функция атмосферного эжектора заключается в создании воздушной струи с использованием разницы давлений между атмосферным давлением и давлением в вакуумном насосе для получения более низкого давления всасывания. Количество впускаемого воздуха, дающее наилучший эффект, устанавливается в каждом отдельном случае опытным путем.

4. Использование в качестве рабочей жидкости жидкость с низким содержанием насыщенного пара.

5. Изготовлять рабочее колесо из материалов с сильной антикавитационной способностью. Существуют очевидные различия в способности разных материалов противостоять кавитации. На противоэрозионную способность материалов влияет множество факторов. Так, материалы с высокой твердостью и эластичностью обладают сильной противоэрозионной способностью.

Помимо этого, необходимо учитывать изменения микроструктуры в случае применения металлических сплавов – известно, что для изготовления деталей, работающих в условиях кавитационной эрозии (гребные винты, лопасти турбин и насосов), используют хромомарганцевые стали 30Х10Г10, 0Х14АГ12, 0Х14Г12М и другие. Такие стали отличаются наличием нестабильного аустенита, который под воздействием гидроударов превращается в более подходящий для работы в условиях кавитации мартенсит.

Также детали из металлов и сплавов покрывают неметаллическими материалами (эпоксидной смолой, нейлоном, полиуретаном и др.), являющимися более стойкими к кавитационному воздействию. Для этого используется такие методы нанесения как диффузионная сварка и напыление. Последний метод обычно применяется для покрытия крыльчатки. Помимо этого, используются наплавки из нержавеющей стали и наварка порошковой проволокой.

По сравнению с методами нанесения неметаллических покрытий и поверхностного легирования, способ неметаллического покрытия экономичен, но процесс его работы должен строго контролироваться, чтобы покрытие не осыпалось. Порошковая наварка сплавов имеет хороший эффект, но требует больших затрат, и в некоторых случаях ее нельзя применять.

Также повсеместно для изготовления деталей насосного оборудования используются различные полимеры и композиты на их основе – сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полипропилен, фторопласт и другие. Дополнительно улучшить их характеристики возможно перспективным методом магнито-термического поверхностного упрочнения [14, 15], позволяющим увеличить контактную прочность и прочие характеристики поверхности изделий при незначительном росте их массы.

Уменьшить температуру воды и обеспечить наиболее подходящий выбор модели ЖВН можно путем использования комбинированной конструкции ЖВН (ЖВН КМ) [16]. Его конструкция создана на основе разработанных нами ранее модификаций ЖВН с кинематическим замыканием рабочего колеса (ЖВН КЗ) и устройством автоматического регулирования диаметра проходного сечения нагнетательного окна (ЖВН РНО). Данный насос позволит уменьшить трение жидкости о корпус, а соответственно снижает нагрев жидкости; регулирование давления разряжения в зависимости от режимов работы существенно повысит кавитационный порог.

Заключение.

Кавитация жидкостного кольцевого вакуумного насоса – частая причина отказа. В повседневном производстве базовое обслуживание оборудования подразумевает четкое понимание механизмов и причин образования кавитации в вакуумных насосах и разумный выбор методов её предотвращения, что позволят снизить износ оборудования. Анализ конструкции жидкостнокольцевого вакуумного насоса с точки зрения опасности возникновения кавитационных явлений, позволит выбрать модель, обладающую наибольшим кавитационным запасом. Так, перспективным представляется использование ЖВН КМ.

Список источников

1. Родионов, Ю.В. Новая конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса / Ю.В. Родионов, Ю.Т. Селиванов, Д.В. Никитин [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2019. – № 6. – С. 22-25

2. Родионов, Ю.В. Конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса с регулируемой степенью внутреннего сжатия / Ю.В. Родионов, Ю.Т. Селиванов, Д.В. Никитин [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2021. – № 6. – С. 20-23.

3. Курочкин, А. А. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства. В 2 ч. / А. А. Курочкин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020.

4. Кнэпп, Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. – М. : Мир, 1974. – 668 с.

5. Райзман, И.А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры / И.А. Райзман – Казань: Казанский гос. техн. ун-т, 1995. – 258 с.

6. Лубенец В.Д. Мезанические вакуумные насосы / В.Д. Лубенец, В.И. Васильев, И.В. Автономова, Л.А. Беляев. – М.: Машиностроение, 1980. – 52 с.

7. Rodionov Y.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps / Y.V. Rodionov, Y.T. Selivanov, D.V. Nikitin, M.V. Sychev, P.V. Kombarova // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Т. 55. – № 5-6. – С. 473-479.

8. Х. Цвайфель, Р. Д. Маер, М. Шиллер. Добавки к полимерам. Справочник / Пер. с англ. 6-го изд. под ред. В.Б. Узденского, О.А. Григорова. — СПб: ЦОП «Профессия», 2016. — 1188 с. — ISBN 978-5-91884-008-5.

9. Kobzev D.Y., Kombarova P.V., Baronin G.S., Rodionov Y.V., Nikitin D.V. MANUFACTURING PRODUCTS FROM POLYMERS AND POLYMERBASED COMPOSITE MATERIALS BY SOLID PHASE PRESSURE FORMING: PROBLEMS, SOLUTIONS AND PROSPECTS // International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 15th. 2015. Ppg. 127-134.

10. Михайлин, Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. / Ю.А. Михайлин. - СПб: Научные основы и технологии, 2011. - 416 с. - ISBN 978-5-91703-021-0.

11. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие. 5-е изд., испр. и доп. / под общ. ред. А.А. Берлина. - СПб: ЦОП «Профессия», 2019 – 624 с.: ил.; - ISBN 978-5-91884-103-7.

12. Шалкаускас, М.И. Металлизация пластмасс / М. И. Шалкаускас. - М. : Знание, 1983. - 64 с. : ил.; 20 см.

13. Евдокимов, В.Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов / В.Д. Евдокимов, Л.П. Клименко, А.Н. Евдокимова - Одесса Николаев, НГГУ, 2005. - 260 с.

14. Родионов, Ю. В. Исследование магнитотермического поверхностного армирования полимерных материалов / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, Н. В. Воронин, И. С. Филатов. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2021. - №7. - С. 37-39.

15. Пат. 2761191 C1 Российская Федерация, МПК C23C 26/00, C23C 24/08, C23C 14/35. Способ поверхностного упрочнения детали из полимерного материала. / И.С. Филатов, Н.В. Воронин, Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, Г.В. Рыбин, А.В. Щегольков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО ТГТУ. – №2021106201; заявл. 11.03.2021; опубл. 06.12.2021, Бюл. № 34.

16. Комбинированная конструкция жидкостно-кольцевого вакуумного насоса для технологических процессов АПК / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. С. Зорин, Г. В. Рыбин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 2. – С. 166-176. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020. – EDN FDKNBB.

References

1. Rodionov, YU.V. Novaya konstrukciya zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa / YU.V. Rodionov, YU.T. Selivanov, D.V. Nikitin [i dr.] // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2019. – № 6. – S. 22-25

2. Rodionov, YU.V. Konstrukciya zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa c reguliruemoj stepen'yu vnutrennego szhatiya / YU.V. Rodionov, YU.T. Selivanov, D.V. Nikitin [i dr.] // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2021. – № 6. – S. 20-23.

3. Kurochkin, A. A. Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya pererabotki produkcii zhivotnovodstva. V 2 ch. / A. A. Kurochkin. — 2-e izd., pererab. i dop. — Moskva : Izdatel'stvo YUrajt, 2020.

4. Knepp, R. Kavitaciya / R. Knepp, Dzh. Dejli, F. Hemmit. – M. : Mir, 1974. – 668 s.

5. Rajzman, I.A. ZHidkostnokol'cevye vakuumnye nasosy i kompressory / I.A. Rajzman – Kazan': Kazanskij gos. tekhn. un-t, 1995. – 258 s.

6. Lubenec V.D. Mezanicheskie vakuumnye nasosy / V.D. Lubenec, V.I. Vasil'ev, I.V. Avtonomova, L.A. Belyaev. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 52 s.

7. Rodionov Y.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps / Y.V. Rodionov, Y.T. Selivanov, D.V. Nikitin, M.V. Sychev, P.V. Kombarova // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – T. 55. – № 5-6. – S. 473-479.

8. H. Cvajfel', R. D. Maer, M. SHiller. Dobavki k polimeram. Spravochnik / Per. s angl. 6-go izd. pod red. V.B. Uzdenskogo, O.A. Grigorova. — SPb: COP «Professiya», 2016. — 1188 s. — ISBN 978-5-91884-008-5.

9. Kobzev D.Y., Kombarova P.V., Baronin G.S., Rodionov Y.V., Nikitin D.V. MANUFACTURING PRODUCTS FROM POLYMERS AND POLYMERBASED COMPOSITE MATERIALS BY SOLID PHASE PRESSURE FORMING: PROBLEMS, SOLUTIONS AND PROSPECTS // International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 15th. 2015. Ppg. 127-134.

10. Mihajlin, YU.A. Teplo-, termo- i ognestojkost' polimernyh materialov. / YU.A. Mihajlin. - SPb: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2011. - 416 s. - ISBN 978-5-91703-021-0.

11. Kerber, M. L. Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tekhnologiya: ucheb. posobie. 5-e izd., ispr. i dop. / pod obshch. red. A.A. Berlina. - SPb: COP «Professiya», 2019 – 624 s.: il.; - ISBN 978-5-91884-103-7.

12. SHalkauskas, M.I. Metallizaciya plastmass / M. I. SHalkauskas. - M. : Znanie, 1983. - 64 s. : il.; 20 sm.

13. Evdokimov, V.D. Tekhnologiya uprochneniya mashinostroitel'nyh materialov / V.D. Evdokimov, L.P. Klimenko, A.N. Evdokimova - Odessa Nikolaev, NGGU, 2005. - 260 s.

14. Rodionov, YU. V. Issledovanie magnitotermicheskogo poverhnostnogo armirovaniya polimernyh materialov / YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin, N. V. Voronin, I. S. Filatov. // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. - 2021. - №7. - S. 37-39.

15. Pat. 2761191 S1 Rossijskaya Federaciya, MPK C23C 26/00, C23C 24/08, C23C 14/35. Sposob poverhnostnogo uprochneniya detali iz polimernogo materiala. / I.S. Filatov, N.V. Voronin, YU.V. Rodionov, D.V. Nikitin, G.V. Rybin, A.V. SHCHegol'kov; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO TGTU. – №2021106201; zayavl. 11.03.2021; opubl. 06.12.2021, Byul. № 34.

16. Kombinirovannaya konstrukciya zhidkostno-kol'cevogo vakuumnogo nasosa dlya tekhnologicheskih processov APK / YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin, A. S. Zorin, G. V. Rybin // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2022. – T. 14. – № 2. – S. 166-176. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020. – EDN FDKNBB.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент; Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор; Рыбин Григорий Вячеславович – магистрант; Воронин Николай Владимирович – аспирант; Скоморохова Анастасия Игоревна – магистр; Сухова Анна Олеговна - кандидат технических наук, доцент.

Author credentials
Affiliations

D.V. Nikitin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Yu. V. Rodionov – Full Doctor of Technical Sciences, Professor; G.V. Rybin – undergraduate student; N.V. Voronin – post graduate student; A.I. Skomorokhova– master's student; A.O. Sukhova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

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

Поступила в редакцию (Received): 11.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 13.08.2022

Тип статьи: обзорная
УДК 621.796
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-140-146

ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ОВОЩЕЙ В ЛЕЧЕБНО-ИСПРАВИТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ СИСТЕМЫ ФСИН

Александр Николаевич Зазуля[1], Валентин Алексеевич Макаров[2], Ольга Владимировна Макарова[3], Светлана Валентиновна Гаспарян[4]
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Табмов, Российская Федерация
[1]zazulja_an@rambler.ru
[2]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация
[2]va_makarov@rambler.ru
[3,4]Академия права и управления ФСИН России, г. Рязань, Российская Федерация
[3]m_ov+2302@bk.ru
[4] gasparyan.svetlana@yandex.ru

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

Реферат. *Рассмотрены вопросы организации рационального хранения продовольственных товаров поставляемых для нужд уголовно-исполнительной системы с целью продовольственного обеспечения спецконтингента. Большое внимание уделено развитию складского хозяйства по направлению хранения растениеводческой продукции входящей в лечебные нормы питания людей, находящихся в лечебно-исправительных учреждениях. Для исследования рационального хранения овощной продукции поступающей для нужд уголовно-исполнительной системы проанализирована вся система складского хозяйства лечебного учреждения с целью выявления возможного хранения овощной продукции более длительное время, чем прописано в нормативно-правовых актах за счет снижения естественной убыли. Проанализирована экономическая эффективность складского хозяйства на примере типичного лечебного исправительного учреждения, функционирующего в одном из территориальных органов ФСИН России с целью возможного поиска экономии денежных средств связанного с процессом хранения овощей. Рассмотрены основные направления функционирования складского хозяйства. Приведена общая характеристика складов лечебно-исправительного учреждения. Охарактеризованы объемы заготовки овощей на 2019-2021 года в лечебно-исправительном учреждении. Рассчитаны нормы естественной убыли по такой овощной продукции как: морковь столовая поздняя свежая, картофель свежий продовольственный (поздний), свекла столовая свежая (поздняя), капуста белокочанная свежая (поздняя). Из проанализированных направлений следует, что наибольшие площади хранения овощной продукции заняты под картофелем, так как в соответствии с нормативно-правовыми актами наименование этого продукта в большем объеме входит в организацию питания спецконтингента и именно эту продукцию целесообразно сохранить в свежем виде длительное время, избегая при этом закупки свежего урожай по более дорогой цене. Аналогичный анализ проведен и по овощной продукции входящей в нормы продовольственного обеспечения. Показана динамика изменения естественной убыли по месяцам в процентом выражении потерь овощей. Намечены пути снижения естественной убыли в лечебно-исправительных учреждениях ФСИН России.*

Ключевые слова: *складское хозяйство, продовольственное обеспечения, овощная продукция, естественная убыль, процессы хранения, спецконтингент, лечебно-исправительные учреждения уголовно-исполнительной системы, лечебные нормы питания.*

ORGANIZATION OF VEGETABLE STORAGE IN A MEDICAL AND CORRECTIONAL INSTITUTION OF THE FSIN SYSTEM

Alexander Zazulya[1], Valentin Makarov[2], Olga Makarova[3], Svetlana Gasparyan[4]
[1]All-Russian Research Institute for the Use of Technology and oil products in agriculture, Tabmov, Russian Federation
[1]zazulja_an@rambler.ru
[2]Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russian Federation
[2]va_makarov@rambler.ru
[3,4] Academy of Law and Administration of the Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan, Russian Federation
[3]m_ov+2302@bk.ru
[4]gasparyan.svetlana@yandex.ru

Abstract. *The issues of the organization of rational storage of food products supplied for the needs of the penal system for the purpose of food supply of the special agent are considered. Much attention is paid to the development of a warehouse economy in the direction of storing plant-growing products included in the medical nutrition standards of people in medical and correctional institutions. To study the rational storage of vegetable products received for the needs of the penal system, the entire system of the warehouse management of the medical institution was analyzed in order to identify possible storage of vegetable products for a longer time than prescribed in regulatory legal acts by reducing natural loss. The economic efficiency of the warehouse economy is analyzed on the example of a typical medical correctional institution operating in one of the territorial bodies of the Federal Penitentiary Service of Russia in order to possibly find money savings associated with the process of storing vegetables. The main directions of the warehouse economy functioning are considered. The general characteristics of the warehouses of the medical and correctional institution are given. The volumes of harvesting vegetables for 2019-2021 in a medical and correctional institution are characterized. The norms of natural loss for such vegetable products as: late fresh carrots, fresh food potatoes (late), fresh beetroot (late), fresh white cabbage (late) are calculated. It follows from the analyzed directions that the largest storage areas of vegetable products are occupied under potatoes, since in accordance with regulatory legal acts, the name of this product is included in the catering of the special ingredient in a larger volume and it is advisable to keep these products fresh for a long time, while avoiding the purchase of fresh harvest at a more expensive price. A similar analysis was carried out for vegetable products included in the norms of food security. The dynamics of changes in natural loss by month in percentage terms of vegetable losses is shown. Ways to reduce natural attrition in medical and correctional institutions of the Federal Penitentiary Service of Russia are outlined.*

Keywords: *warehousing, food supply, vegetable products, natural decline, storage processes, special ingredient, medical and correctional institutions of the penal system, medical nutrition standards.*

Для цитирования: Зазуля А.Н., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В.Организация хранения овощей в лечебно-исправительном учреждении системы ФСИН// Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 140-146. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-140-146.

For citation: Zazulya A., Makarov V., Makarova O., Gasparyan S. Organization of vegetable storage in a medical and correctional institution of the FSIN system // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 140-146. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-140-146.

Введение.

В любом исправительном учреждении, в том числе и в лечебном, пенитенциарной системы необходимо ежедневно вести учет лиц, отбывающих наказание.Ибо этот показатель напрямую связан с планированием работы продовольственной службы, главной задачей которой является поддержание состояния здоровья и обеспечение уровня жизнедеятельности каждого осужденного.

Цель исследования – наметить мероприятия, направленные на рациональное хранение овощной продукции в лечебно-исправительных учреждениях уголовно-исполнительной системы за счет развития складского хозяйства.

Вопросами организации продукции сельскохозяйственного назначения занимались такие ученые, как Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В., Андреев К.П., Забара К.А., Терентьев В.В., Наприс Ж.С., Штыков А.С, Конкина В.С.. [1-6].

Материалы и методы. Рассмотрим как организовано хранение продовольствия в одном из типичных лечебно-исправительных учреждений (далее ЛИУ) уголовно-исполнительной системы (далее УИС) России. Как правило, хранение осуществляется на складах, которые расположены на территории учреждения. В рассматриваемом учреждении складские помещения включают в себя: овощехранилище, склад для хранения лука, продовольственный склад и холодильные камеры для мяса и рыбы (их характеристики представлены в таблице 1).

Таблица 1 - Общая характеристика складов лечебно-исправительного учреждения

Вид складского хозяйства	Тип здания, этажность	Номенклатура продовольственных товаров	Площадь
Овощехранилище	Одноэтажное, кирпичное, наземное	Картофель, свекла, морковь, капуста	565,5 м2
Продовольственный склад	Одноэтажное, кирпичное, наземное	Продукты питания: мука, крупа, сыпучие продукты, яйца, мясо, рыба, молочная продукция	124,87 м2
Помещение для хранения лука	Одноэтажное, кирпичное, наземное	Лук	64,38 м2

Продовольственный склад разделен на несколько помещений, представляющие собой: склад хранения муки, склад хранения сыпучих продуктов, склад хранения крупы, квасильно-засолочный пункт, а также имеет помещение с холодильным оборудованием для хранения скоропортящейся продукции: мясо, рыба, яйца и молочная продукция.

Из представленных выше характеристик видно, что самая большую площадь занимает овощехранилище - 565, 5 м^2. Поэтому остановимся подробно на организации хранения всего ассортимента овощей.

Овощехранилище представляет собой одноэтажное здание, кирпичное, приспособленное для хранения картофеля и других овощей (морковь, свекла, капуста). Применяется способ хранения в контейнерах, в закромах с естественной вентиляцией в помещениях. Загрузка и выгрузка продуктов питания в хранилище осуществляется вручную.

Температура воздуха на складах измеряется с помощью приборов контроля и регистрации температуры и влажности. В учреждениях УИС применяется психрометры, изготовленные из двух термометров.

Применение обогревателей, влагопоглощающих устройств, осушителей воздуха в помещении осуществляется в определенных ситуациях.

Помещения проветриваются с помощью открытия дверей, окон. При этом придерживаются рекомендаций: нежелательно проводить проветривание во время дождя, тумана, снегопада, то есть при возникновении сильных атмосферных осадков, а также, если вблизи здания имеется дым от лесных (торфяных) пожаров. Запрещено также открывать двери и окна при превышении температуры наружного воздуха над температурой его в хранилище более чем на 5°С.

Предназначенные для питания осужденных картофель и овощи, должны быть свежими, без повреждений, с установленными вкусовыми качествами, поэтому отрациональной организации

хранения овощей зависит обеспеченность учреждения полноценными продуктами питания этого ассортимента в полном объеме.

Обеспечение необходимым продовольствием осужденных осуществляется в соответствии с утвержденными нормами питания.

Благодаря наличию необходимого набора продовольствия на складе учреждения, а также своевременных закупок, в столовой осуществляется сбалансированное ежедневное питание спецконтингента.

Рассмотрим основной перечень овощной продукции, который подлежит закладке на хранение в зимний период, согласно нормам планирования продовольствия и их фактическое выполнение по годам (табл. 2).По всем наименованиям продуктов питания можно заметить уменьшения планированияобъемов к 2021г., что связано со снижением численности лиц, отбывающих наказание в учреждении.

Таблица 2 - Объемы заготовки овощей на 2019-2021 года в лечебно-исправительном учреждении

Наименование продукции	2019			2020			2021		
	План, т.	Факт, т.	% плана	План, т.	Факт, т.	% плана	План, т.	Факт, т.	% плана
Картофель	35	35	100	32	30,5	95,3	24	27,4	114,1
Капуста свежая	10	13,5	135	10	12	120	8,5	8,5	100
Морковь	4	4	100	4	3,3	82,5	2,5	2,5	100
Свекла	4,2	4,2	100	3,5	3	85,7	2,2	2,2	100
Лук	4	4	100	5	3,8	76	3,05	3,05	100

План заготовки овощей на хранение в 2019 г. был осуществлен в полном объеме, превышение в 35% составило лишь по капусте свежей. В 2020 г. все позиции плана имели небольшое недовыполнение (от 5 до 14 %), за исключением свежей капусты (фактические запасы на 20% больше запланированных). В 2021 г. по всем позициям овощей закладка была обеспечена полностью, а по картофелю перевыполнены на 14,1 %.

Приказ Минпромторга России от 01.03.2013 № 252 «Об утверждении норм естественной убыли продовольственных товаров в сфере торговли и общественного питания» регламентирует показатели естественной убыли в зависимости от климатической зоны.Исследуемое ЛИУ размещено в умеренном географическом поясе. Касаемо природных зон, в области сочетаются лесная, лесостепная и степная природные зоны. Умеренно континентальный климат характерен для описываемого субъекта. Вегетационный период начинается в конце апреля. Исходя из вышеизложенного, относим лечебно-исправительное учреждение к работе в условиях второй климатической зоны.

Результаты и их обсуждение. Проведен расчет естественной убыли моркови (табл. 3) и свеклы (табл. 4), подлежащего списанию со склада учреждения.

Таблица 3 - Естественная убыль моркови в лечебно-исправительном учреждении за 2021 год

Месяц	Естественная убыль, кг
Октябрь	37,7

Ноябрь	34,0
Декабрь	18,6
Январь	14,3
Февраль	12,1
Март	22,6

Естественная убыль моркови достигает максимума в октябре (37,7%), и опускается доминимуму в феврале (12,1%). Однако с переходом на весенний период в марте опять возрастает (убыль составляет 22,6%). Это свидетельствует о том, что нарушается температурно-влажностный режим, который напрямую влияет на сохранность продовольствия.

Таблица 4 - Естественная убыль свеклы в лечебно-исправительном учреждении за 2021 год

Месяц	Естественная убыль, кг
Октябрь	10,9
Ноябрь	15,0
Декабрь	11,8
Январь	9,1
Февраль	8,0
Март	7,1

Естественная убыль свеклы имеет максимальные объемы в осенний период.

Исходя из показателей естественной убыли, всегда в учреждениях уголовно-исполнительной системы возникают естественные потери, особенно при хранении овощной продукции, которые в свою очередь закреплены нормативно-правовыми актами (табл. 5)

Таблица 5 - Показатели естественной убыли с установленными нормативами в лечебно-исправительном учреждении в 2021 году

Наименование продовольствия	Норма естественной убыли для 2 – ой климатической группы, %	Норма естественной убыли в учреждении в 2021 году,кг
Картофельсвежий продовольственный (поздний)	1,07	382, 34
Морковь столовая поздняя свежая	0,85	23,24
Свекла столовая свежая (поздняя)	1,39	8,87
Капуста белокочанная свежая (поздняя)	1,7	143,58

Исходя из среднего значения естественной убыли, была рассчитана норма допускаемой убыли овощей и картофеля в килограммах. Совершенно очевидно, что количество убыли связано с объемами закупаемого продовольствия. Так, например, картофеля в 2021 году закупили значительно больше в объемных показателях относительно других овощей, следовательно, и получили самую большую норму естественной убыли.

Картофель и овощи хранятся в ящиках, так как в помещениях предусмотрена естественная вентиляция. В холодное время года при хранении картофеля и овощей обязательно соблюдаются температурные режимы.

Естественная вентиляция проста в использовании и не требует дополнительных экономических затрат по обслуживанию. Однако она очень сильно зависит от атмосферных

показателей, поэтому может оказаться малоэффективной, если ПДК пыли, газов или взвесей превышает 30% от санитарной нормы или когда требуется дополнительная очистка воздуха.

В лечебно-исправительном учреждении хранение картофеля и других овощей должно осуществляться согласно всем нормативам и регламентам, регулирующих продовольственное обеспечение в системе ФСИН.

Вывод. Анализируя организацию хранения продуктовпитания в типичном лечебно-исправительном учреждении можно сказать, что допускается нарушение условий хранения картофеля и овощей, вследствие чего возникает порча продукции и происходит увеличение процента допустимой естественной убыли. Чтобы решить данную проблему, необходимо модернизировать помещения для хранения, соблюдать сроки сохранности продукции, уделять внимание температурно-влажностному режиму, а также другим отдельным условиям хранения.

Способы решения этих накопившихся проблем мы предложим и раскроем в последующей статье.

Список источников

1. Зазуля А.Н., Нагорнов С.А. Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства // Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. Тамбов. 2021- С. 7 – 12.

2. Макарова О.В., Гаспарян С.В. Специфика продовольственного обеспечения учреждений уголовно-исполнительной системы // – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. – 61 с.

3. Андреев К.П., Забара К.А., Терентьев В.В., Шемякин А.В. Совершенствование технологии хранения сельскохозяйственной техники. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 7. С. 32-38.

4. Голиков А.А., Чурин А.С. Обзор способов хранения картофеля // Сборник тезисов выступлений и докладов участников III Международного пенитенциарного форума «Преступление, наказание, исправление» (к 20-летию вступления в силу Уголовного кодекса РФ). Рязань. 2017. С. 41 – 43.

5. Наприс Ж.С., Штыков А.С. Источники, условия и направления совершенствования продовольственного обеспечения спецконтингента //Сборник тезисов выступлений и докладов участников IV Международного пенитенциарного форума «Преступление, наказание, исправление» (к 140 - летию уголовно-исполнительной системы России и 85 – летию Академии ФСИН России). Рязань. 2019. С. 153 – 157.

6. Конкина В.С. Продовольственный рынок Российской Федерации в разрезе нормативно-правового регулирования его безопасности /Сборник материалов научно-практической конференции. Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг. 2019. С. 104-109.

References

1. Zazulya A.N., Nagornov S.A. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skohozyajstvennoj produkcii - novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva // Sbornik nauchnyh dokladov XXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Tambov. 2021- S. 7 – 12.

2. Makarova O.V., Gasparyan S.V. Specifika prodovol'stvennogo obespecheniya uchrezhdenij ugolovno-ispolnitel'noj sistemy // – Kursk: ZAO «Universitetskaya kniga», 2020. – 61 s.

3. Andreev K.P., Zabara K.A., Terent'ev V.V., SHemyakin A.V. Sovershenstvovanie tekhnologii hraneniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2020. № 7. S. 32-38.

4. Golikov A.A., CHurin A.S. Obzor sposobov hraneniya kartofelya // Sbornik tezisov vystuplenij i dokladov uchastnikov III Mezhdunarodnogo penitenciarnogo foruma «Prestuplenie, nakazanie, ispravlenie» (k 20-letiyu vstupleniya v silu Ugolovnogo kodeksa RF). Ryazan'. 2017. S. 41 – 43.

5. Napris ZH.S., SHtykov A.S. Istochniki, usloviya i napravleniya sovershenstvovaniya prodovol'stvennogo obespecheniya speckontingenta //Sbornik tezisov vystuplenij i dokladov uchastnikov IV Mezhdunarodnogo penitenciarnogo foruma «Prestuplenie, nakazanie, ispravlenie» (k 140 - letiyu ugolovno-ispolnitel'noj sistemy Rossii i 85 – letiyu Akademii FSIN Rossii). Ryazan'. 2019. S. 153 – 157.

6. Konkina V.S. Prodovol'stvennyj rynok Rossijskoj Federacii v razreze normativno-pravovogo regulirovaniya ego bezopasnosti /Sbornik materialov nauchno-prakticheskoj konferencii. Potrebitel'skij rynok: kachestvo i bezopasnost' tovarov i uslug. 2019. S. 104-109.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Зазуля Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор; Макаров Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор; Макарова Ольга Владимировна – доктор экономических наук, профессор; Гаспарян Светлана Валентиновна – кандидат экономических наук, доцент.

Author credentials
Affiliations

Zazulya Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor; Makarov Valentin – Doctor of Technical Sciences, Professor; Makarova Olga – Doctor of Economics, Professor; Gasparyan Svetlana – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor.

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

Поступила в редакцию (Received): 12.08.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.08.2022

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 22.08.2022. Заказ № 21.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 15,43 усл. печ. л. Тираж 100 экз.