ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2022 № 6 (60)

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

Александру Николаевичу Зазуле *70* лет*!*

Зазуля А. Н. — доктор технических наук, профессор в ***1985*** году после окончания аспирантуры в ВИМ (Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства) продолжил свою научную карьеру в ФГБНУ ВНИИТиН, пройдя путь от старшего научного сотрудника до директора института. Является заместителем председателя диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д ***999179.03***. Под его руководством и началом был организован и впервые издан научно-производственный периодический журнал «Наука в центральной России», открыта аспирантура. Автор более ***200*** научных работ, в том числе ***25*** монографий и книг, ***3*** учебных пособий. Имеет ***27*** авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Уважаемый Александр Николаевич!

Коллектив ФГБНУ ВНИИТиН от всей души поздравляет Вас с ***70***-летним юбилеем! Ваш талант ученого-организатора наиболее полно проявился на посту директора института. Вы сумели с честью выдержать сложные годы руководства, сохранить коллектив, создать необходимые условия для продолжения традиционных, но по-прежнему, актуальных научных направлений.

Ваши профессиональные и организаторские качества, ответственность, трудолюбие, порядочность и внимательное отношение к людям являются для многих из нас настоящим примером для подражания. Желаем Вам долгих счастливых лет в полном здравии! Бодрости духа и отличного настроения!

Редакция журнала «НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine

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

№ 6 (60), 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

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»

ЛОБАЧЕВСКИЙ Яков Петрович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН

МАНАЕНКОВ Константин Алексеевич – директор Инженерного института ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет, 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

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – главный редактор, и.о. директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

№6 (60). Дата выхода в свет 26.12.2022. 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
№ 6 (60), 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»

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

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

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

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

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

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

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

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

ЧЕРНИКОВ Дмитрий Вячеславович – ведущий системный администратор ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

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

Фадеев Д.Г., Шишин Д.А., Прокофьев С.В.
К ВЫБОРУ ТИПА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НЕСЕМЕННОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ.....7

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

Агеев П.С., Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко Г.В., Сутягин С.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕГО РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ СУШКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ 19
Никитин Л.А., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВ ДЛЯ ТЕЛЯТ.....27
Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О.
ПОВЫШЕНИЕ ОПОРНЫХ СВОЙСТВ МНОГООПОРНОЙ МАШИНЫ «КУБАНЬ-ЛК1» 35
Сиднева И.Е., Курдюмов В.И.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ..... .42
Лебедев А.Т., Салаев Б.К., Болаев Б.К., Арылов Ю.Н., Лебедев П.А., Рыбалкин Н.А.
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ.....50
Нотов Р.А., Лебедев А.Т., Салаев Б.К., Курепина Н.Л., Арылов Ю.Н., Лебедев П.А.
К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ АРИДИЗАЦИИ КЛИМАТА 60
Гаджиев П.И., Башкиров А.П., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П., Шершнев Н.С.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КПК-2-01, ОСНАЩЕННОГО ИНТЕНСИФИКАТОРОВ 71
Уварова А.Г., Филатов Н.Е.
ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЕЧСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БУНКЕРА И ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ СЕМЯН В БУНКЕРЕ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА 78

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СРЕД, МАТЕРИАЛОВ И ОБЪЕКТОВ

Зазуля А.Н., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В.
СОСТОЯНИЕ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА В ТИПИЧНОМ ПОДСОБНОМ ХОЗЯЙСТВЕ КОЛОНИИ-ПОСЕЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ФСИН 85

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

Тишанинов К.Н.
ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ЗЕРНА 92

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

Миранович А.В., Мисько В.Г.
СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ МАГНИТНО-ЭЛЕКРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ 96

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

Урядников А.А., Брыксина В.А., Урядникова М.Н., Бердникова Г.Г., Алехина О.В., Королева Д.В.
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВЕДЕНИЯ РЯДА ДОБАВОК В ОТРАБОТАННОЕ МОТОРОНОЕ МАСЛО ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПЕРИОД МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ 109
Курьято Н.А., Брыксина В.А., Родионова Л.Д., Князева Л.Г.
ЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАСЛЯНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПАРАФИНОМ 120
Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В., Курьято Н.А., Дорохов А.В.
СТОЙКОСТЬ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ В КОНЦЕТРИРОВАННЫХ РАСТВОРАХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ 129
Анохин С.А., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Гуськов А.А., Рыбин Г.В., Аникин С.Н.
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ НА ЕЕ ЗАГРЯЗНЯЕМОСТЬ 141

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (В ТОМ ЧИСЛЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ) ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Шипцов Д.В., Цысоренко П.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И НАГРЕВА ЧАСТИЦ ПОРОШКА В ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ 148

CONTENTS

MECHANIZED, AUTOMATED AND ROBOTIZED TECHNOLOGIES AND HARDWARE FOR AGRICULTURAL INDUSTRIAL COMPLEX

Fadeev D., Shishin D., Prokofiev S.
TO THE CHOICE OF THE TYPE OF CHOPPER OF RHE NON-SEED PART OF THE CROP 7

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

Ageyev P., Kurdyumov V., Pavlushin A., Karpenko G., Sutyagin S.
USING THE OSCILLATING MODE OF CONTACT DRYING OF BULK MATERIALS 19
Nikitin L., Nikifrov V., Simonov G., Filippova O.
IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF DISTRIBUTION OF LIQUID FEED FOR CALVES 27
Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov O., Antipov A.
IMPROVING THE SUPPORTING PROPERTIES OF RHE KUBAN-LK1 MULTI-SUPPORT MACHINE 35
Sidneva I., Kurdjumov V.
THE RESULTS OF RESEARCH FOR IMPROVING THE WORKING TOOL OF THE MINERAL FERTILIZER SPREADER 42
Lebedev A., Salaev B., Bolaev B., Arylov J., Lebedev P., Rybalkin N.
INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF MIXING FEED MIXTURES 50
Notov R., Lebedev A., Salaev B., Kurepina N., Arylov J., Lebedev P.
ON THE ISSUE OF IMPROVING THE SOWING OF GRAIN CROPS IN THE CONDITIONS OF CLIMATE ARIDIZATION 60
Gadzhiev P., Bashkirov A., Ramazanoa G., Gadzhiev I., Shershnev N..
RESULTS OF FIELD TESTSOF THE KPK-2-01 POTATO HARVESTER EQUIPPED WITH AN INTENSIFIER.....71
Uvarova A., Filatov N.
THE MAIN GEOMETRIC PARAMETERS OF THE HOPPER AND DYNAMICS OF THE MOVEMENT OF SEEDS IN THE HOPPER OF THE SOWING MACHINE 78

TECHNICAL TOOLS AND TECHNOLOGIES FOR MONITORING AGRICULTURAL ENVIRONMENTS, MATERIALS AND OBJECTS

Zazulya A., Makarov V., Makarova O., Gasparyan S.
THE STATE OF RESOURCE POTENTIAL IN A TYPICAL SUBSIDIARY FARM OF A COLONY-SETTLEMENT IN THE FSIN SYSTEM 85

EVOLUTION OF THE TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL LEVEL OF MACHINERY AND EQUIPMENT, REGULARITIES AND FORECASTING OF THE TECHNICAL PROGRESS OF AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Tishaninov K.
TECHNICAL DEVELOPMENT OF GRAIN FLOW SEPARATION DEVICES 92

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

Mironovich A., Misko V.
PROPERTIES OF COATINGS AFTER MAGNETIC-ELECTRIC HARDENING AND LASER PROCESSING 96

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

Uryadnikov A., Bryksina V., Uryadnikova M., Berdnikova G., Alehina O., Koroleva D.
EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INTRODUCING A SERIES OF ADDITIVES INTO USED ENGINE OIL TO PROTECT AGRICULTURAL MACHINERY DURING OFF-SEASON STORAGE 109
Kur`yato N., Bryksina V., Rodionova L., Knyazeva L.
PROTECTIVE EFFECTIVENESS OF OIL COMPOSITIONS WITH PARAFFIN WAX 120
Petrashev A., Knyazeva L., Klepikov V., Kur`yato N., Dorokhov A.
DURABILITY OF POLYURETHANE COATINGS IN CONCENTRATED SOLUTIONS OF MINERAL FERTILIZERS 129
Anokhin S., Nikitin D., Rodionov Y., Guskov A., Rybin G., Anikin S.
INFLUENCE OF SURFACE MATERIAL PARAMETERS AND TEMPERATURE REGIMES ON ITS CONTAMINATION 141

METHODS FOR INVESTIGATION OF STRUCTURAL MATERIALS (INCLUDING NANOMATERIALS) FOR APPLICATION IN TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT OF AGRICULTURAL PURPOSE

Zhachkin S., Penkov N., Shiptzov D., Tsysorenko P.
ABOUT A QUESTION OF DETERMINING KINEMATIC AND THERMODYNAMIC PARAMETERS IN PLASMA JET 148

Тип статьи: научная
УДК 631.352.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-7-18

К ВЫБОРУ ТИПА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НЕСЕМЕННОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ

Денис Геннадьевич Фадеев[1], Дмитрий Александрович Шишин[2], Сергей Владимирович Прокофьев[3]
[1,2,3]Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Россия
[2]d.shishin@fnclk.ru

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Шишин, d.shishin@fnclk.ru
Corresponding author: Dmitry Shishin, d.shishin@fnclk.ru

Реферат. *Заделка в почву растительных остатков лубяных культур равноценна внесению на 1 гектар 82-269 кг аммиачной селитры, 56 – 205 кг суперфосфата, 75 – 343 кг калия хлористого, 2-х кг высококонцентрированных микроудобрений. Эффективность накопления гумуса, фитопатогенов в почве зависит от степени измельчения послеуборочных остатков и равномерного их распределения по поверхности, поэтому разработка универсального измельчителя для этих целей является актуальной задачей. Работа посвящена выбору рациональной конструкционно-технологической схемы для разрабатываемого измельчителя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли. Проведен анализ конструкционно-технологических схем современных измельчителей, включающая основные и наиболее значимые классификационные признаки. Установлено, что перспективной является конструкция измельчителя не семенной части урожая: по количеству измельчающих барабанов – однобарабанная; по типу агрегатирования с энергосредством – задняя боковая навеска; рабочая ширина захвата – до 2 м; рабочая скорость движения агрегата от 8 до 13, 5 км/ч. Рассмотрен процесс измельчения не семенной части урожая льна-масличного и конопли. Исходя из условий бесподпорного срезания стеблевых растений и их качественного измельчения теоретически определены параметры измельчающего аппарата (длина основных ножей 0,05 м, длина дополнительных ножей 0,025 м, высота установки кожух измельчающего аппарата 0,34 м). изготовлена лабораторная установка для исследования процесса измельчения неиспользуемых стеблей. По результатам исследования разработана конструкционно-технологическая схема нового измельчителя-разбрасывателя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли, который будет способствовать очищению полей от неиспользуемых остатков и способствовать улучшению экологии и повышению плодородия почвы и урожайности последующих культур.*

Ключевые слова: *измельчение, измельчитель, стебель, лен масличный, конопля.*

TO THE CHOICE OF THE TYPE OF CHOPPER OF THE NON-SEED PART OF THE CROP

Denis Fadeev[1], Dmitry Shishin[2], Sergey Prokofiev[3]
[1,2,3]Federal Scientific Center of Bast Cultures, Tver, Russia
[2]d.shishin@fnclk.ru

Abstract. *Incorporation of plant residues of bast crops into the soil is equivalent to applying 82-269 kg of ammonium nitrate, 56-205 kg of superphosphate, 75-343 kg of potassium chloride, 2 kg of highly concentrated microfertilizers per 1 hectare. The efficiency of accumulation of humus, phytopathogens in the soil depends on the degree of grinding of post-harvest residues and their uniform distribution over the surface, so the development of a universal grinder for these purposes is an urgent task. The work is devoted to the choice of a rational design and technological scheme for the developed grinder of the non-seed part of the crop of bast crops - oil flax and hemp. The analysis of structural and technological*

schemes of modern shredders was carried out, including the main and most significant classification features. It has been established that the design of the grinder of the non-seed part of the crop is promising: in terms of the number of grinding drums - single-drum; according to the type of aggregation with a power source - rear side hitch; working width - up to 2 m; operating speed of the unit from 8 to 13.5 km/h. The process of grinding the non-seed part of the flax-oilseed and hemp crops is considered. The parameters of the chopping apparatus (the length of the main knives is 0.05 m, the length of the additional knives is 0.025 m, the installation height of the casing of the chopping apparatus is 0.34 m) are theoretically determined based on the conditions of unsupported cutting of stem plants and their high-quality grinding. a laboratory installation was made to study the process of grinding unused stems. The design and technological scheme of a new chopper-spreader for the non-seed part of the bast crops - oil flax and hemp, which will help clear the fields from unused residues and help improve the environment and increase soil fertility and yields of subsequent crops, was developed based on the results of the study. The parameters of the chopping apparatus (the length of the main knives is 0.05 m, the length of the additional knives is 0.025 m, the installation height of the casing of the chopping apparatus is 0.34 m) are theoretically determined based on the conditions of unsupported cutting of stem plants and their high-quality grinding. a laboratory installation was made to study the process of grinding unused stems. The design and technological scheme of a new chopper-spreader for the non-seed part of the bast crops - oil flax and hemp, which will help clear the fields from unused residues and help improve the environment and increase soil fertility and yields of subsequent crops, was developed based on the results of the study.

Keywords: *grinding, chopper, stem, oilseed flax, hemp*.

Для цитирования: Фадеев Д.Г., Шишин Д.А., Прокофьев С.В. К выбору типа измельчителя несеменной части // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 7-18. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-7-18.

For citation: Fadeev D., Shishin D., Prokofiev S. To the choice of the type of chopper of the non-seed part of the crop. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 7-18. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-7-18.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS – 2022 – 0005).

Acknowledgements: the work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the State Assignment of the Federal Scientific Center for Bast Crops (No. FGSS – 2022 – 0005).

Введение. Ежегодно после уборки на семена льна масличного и конопли на полях остается несеменная часть урожая (НЧУ). Это вызвано рядом причин: отсутствием или несовершенством технологий и технических средств, нарушением технологического процесса, не благоприятными погодными условиями, экономической нецелесообразностью. Так при уборке льна-масличного уничтожается весь объем тресты, оставшейся после сбора семян.

С целью очищения полей от неиспользуемых остатков, в ряде хозяйств их сжигают, что является нарушением федеральных законов «Об охране окружающей среды» и «Об охране атмосферного воздуха», а также Кодекса РФ об административных правонарушениях. Температура на поверхности почвы при сжигании растительных остатков достигает 360 °С, а на глубине 5 см — 50 °С, в результате чего выгорает гумус, интенсивно осушается почва (на глубину до 10 см), в верхнем слое почвы гибнут микроорганизмы, ухудшается её структура и водопроницаемость. Целесообразно заделывать растительные остатки в почву, что равноценно внесению 82-269 кг/га аммиачной селитры, 56 – 205 кг суперфосфата, 75 – 343 кг калия хлористого, 2-х кг или литров высококонцентрированных микроудобрений (зависит от культуры). Эффективность накопления гумуса, фитопатогенов в почве и подавляющего воздействия на сорняки напрямую зависит от степени измельчения послеуборочных остатков. Измельченные, равномерно разбросанные по поверхности поля они создают влагосберегающий слой,

защищающий почву от резких температурных перепадов, предохраняющий от ветровой и водной эрозии [1].

В связи с вышеизложенным, разработка универсального измельчителя для переработки несеменной части урожая льна масличного и конопли в полевых условиях является актуальной задачей.

Цель исследований – выбор рациональной конструкционно-технологической схемы для разрабатываемого измельчителя-разбрасывателя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли.

Материалы и методы. Измельчители применяют в различных сферах: муниципальном и дорожном секторах, строительстве, животноводстве, лесном и сельском хозяйствах. С их помощью решают различные задачи такие как: создание противопожарных зон; поддержание обочин дорог; уход за садами, виноградниками, лесными насаждениями; уничтожение не пригодной древесины; очистка от растительности земельных участков под строительство, территорий вдоль линий электропередач и трубопроводов; приготовление различных кормов для животных; измельчение остатков сельскохозяйственных культур на полях [2-6]. В статье рассмотрены измельчители, применяемые в сельском хозяйстве.

Анализ существующих способов и устройств для измельчения стеблей растений, показал, что наиболее распространенными являются механическое измельчение ударом машинами непрерывного действия с активными рабочими органами. Многообразие измельчителей можно классифицировать следующим образом (рисунок 1).

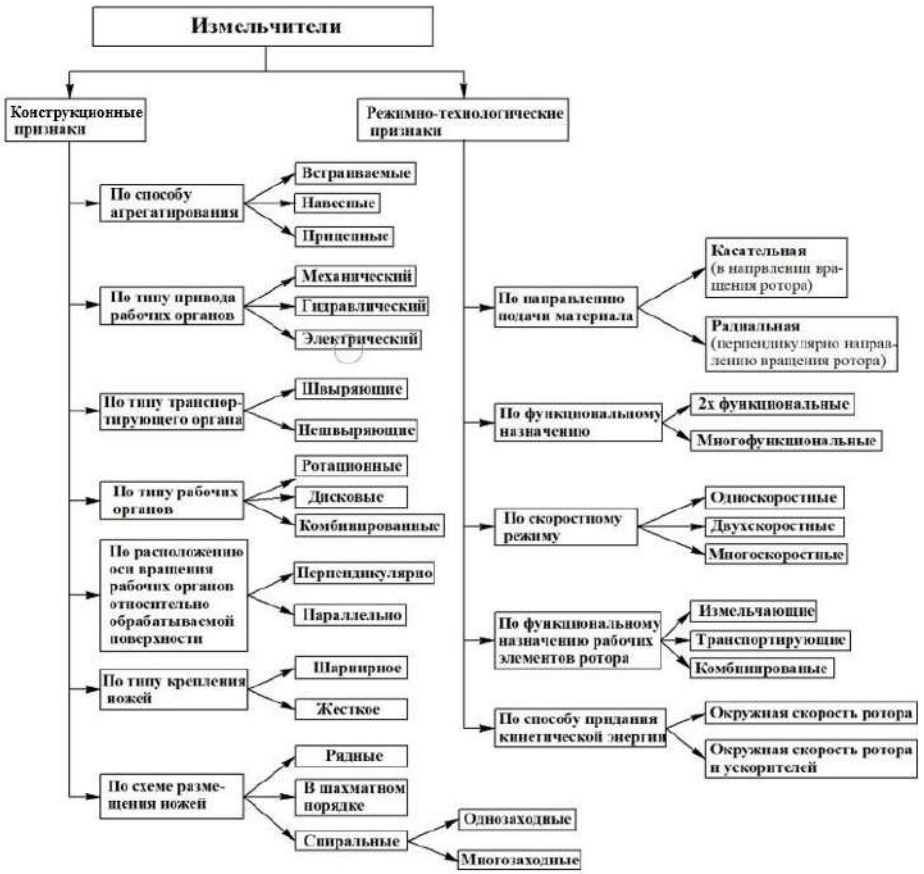


Рисунок 1 - Классификация измельчителей

По способу агрегатирования измельчители можно разделить на встраиваемые, прицепные и навесные. Встраиваемые измельчители широко применяются в зерноуборочных комбайнах, служат для измельчения и разбрасывания соломы по поверхности поля. Использование

измельчителей приводит к снижению производительности комбайнов до 25%, их срока службы от 10 до 25%, повышению расхода топлива до 25% [7]. В коноплеводстве данные измельчители не применяются ввиду физико-механических и технологических свойств стебля культуры.

Навесные и прицепные измельчители, как правило, агрегатируются с различными тракторами и могут располагаться сзади, сбоку машины. Переднее или фронтальное расположение применяется только для навесных машин.

Измельчители также могут устанавливаться на спецшасси, но из-за их высокой стоимости, сложной ремонтопригодности, дорогого обслуживания и эксплуатации в сельском хозяйстве широкого применения они не нашли.

Привод рабочих органов у измельчителей может быть электрическим от электродвигателя, гидравлическим от гидравлики или механическим от ВОМ трактора. Механический привод является самым распространённым благодаря отсутствию большого количества гидравлических соединений, нуждающихся в регулярном обслуживании, не требует подбора специальных масел и дополнительного оборудования (вентиляторов, радиаторов), прост в эксплуатации и имеет меньшие габариты.

По типу рабочих органов измельчители можно разделить на ротационные, дисковые и комбинированные.

Результаты и их обсуждение. У ротационных измельчителей рабочий орган-ротор может представлять собой вал, цилиндр или барабан с расположенными на нем режущими элементами (рисунок 2, *а* - *в*).

У дисковых измельчителей рабочие органом является диск с пилообразными краями или тарелка с расположенными на ней ножами. Форма их может быть различной: круглой, эллипсной, треугольной, комбинированной, крестообразной, конической, двух- трехконсольной (рисунок 2, *г* - *ж*).

К комбинированным можно отнести рабочие органы измельчителей, у которых диск является конструкционной частью ротора (рисунок 2, *и*).

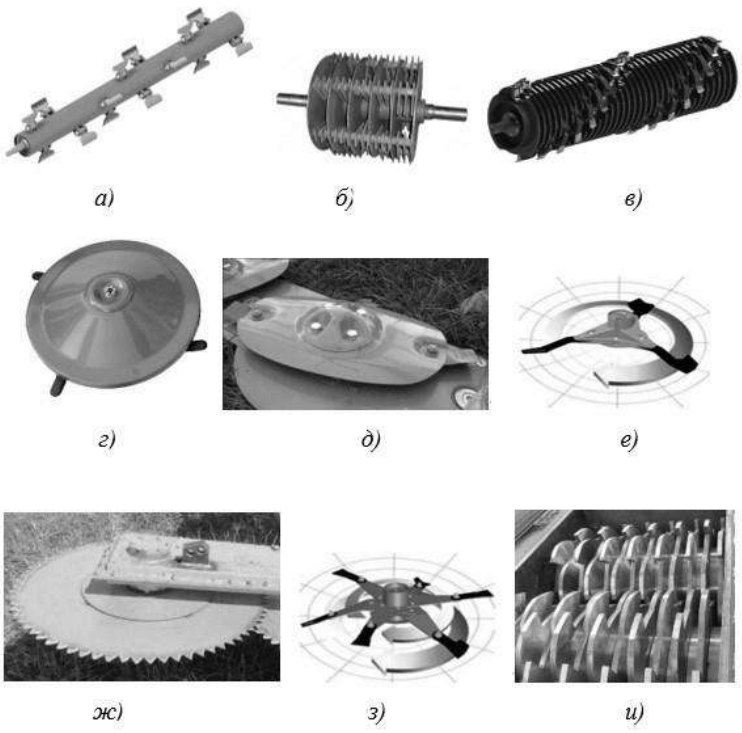


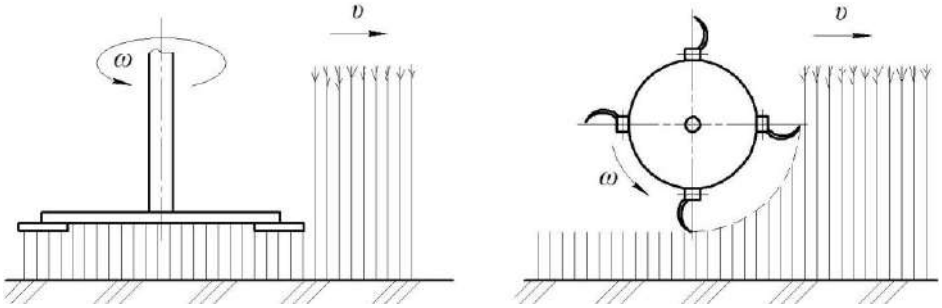
Рисунок 2 - Рабочие органы измельчителей: *а, б, в* - ротоционного типа; *г, д, е, ж, з*- дискового типа; *и*- комбинированные

Режущие элементы на рабочих органах измельчителей могут быть закреплены жестко или шарнирно и располагаться в ряд, в шахматном порядке, по одной или нескольким спиралям.

В зависимости от назначения, измельчители могут не только измельчать, но и выполнять функцию транспортировки. Для этого рабочие органы оснащаются дополнительными лопастями или швыряющими лопатками, которые создают воздушный поток или придают ускорение измельченному материалу, способствуя продвижению частиц к выходу из измельчающего устройства, как на белорусском комбайне КЗС-812 «Палессе GS812» [8].

Также измельчители могут оснащаться дополнительными активными системами – ускорителями различных конструкций, которые придают дополнительную кинетическую энергию измельченным частицам, тем самым увеличивая ширину и равномерность разбрасывания НЧУ по полю. Например, системы Redecop «Maximum Air Velocity», «Turbo Chop», «Pro Chop», «MaxiSpreader», «Opti-Spread» применяемые на зарубежных комбайнах Claas «Lexion», John Deere, New Holland и др. [2, 9].

По положению оси вращения вращающихся режущих частей по отношению к обрабатываемой поверхности измельчители можно разделить на аппараты с осью вращения, перпендикулярной и параллельной ей, как показано на рисунке 3.



а) *б*)

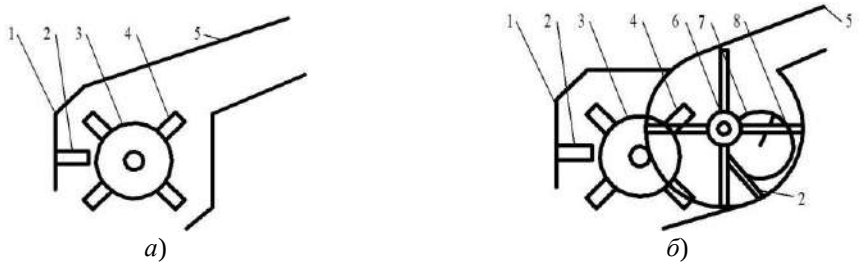
Рисунок 3 - Схема расположения оси вращения рабочих органов измельчителя относительно обрабатываемой поверхности: *а* - перпендикулярно, *б*- параллельно

Измельчители НЧУ, в зависимости от технологии, могут выполнять сразу несколько функций: подбор, измельчение, транспортировка, разбрасывание, заделывание в почву и т.д. Измельчать могут как прямостоящие растения в поле, так и уже скошенные из валка с подбором или без.

По скоростному режиму рабочих органов измельчители могут быть одно- двух- и многоскоростными.

Для решения поставленной задачи наиболее подходят измельчители непрерывного действия с активными рабочими органами, агрегатируемые с тракторами тягового класса 1,4 работающие от ВОМ трактора, обладающие высокой производительностью при их не большой массе и энергопотреблении, а также стоимости.

Сейчас широкое применение получили измельчители НЧУ двух конструкционных исполнений (рисунок 4).



а) *б*)

Рисунок 4 – Конструкционные схемы измельчителя-разбрасывателя: *а*- однобарабанное исполнение; *б*- двухбарабанное исполнение:1 - корпус; 2 – противорежущие пластины; 3 - измельчающий барабан; 4 - нож измельчающего барабана; 5 – разбрасыватель; 6 – доизмельчающий барабан; 7 - шнек; 8 - нож доизмельчающего барабана

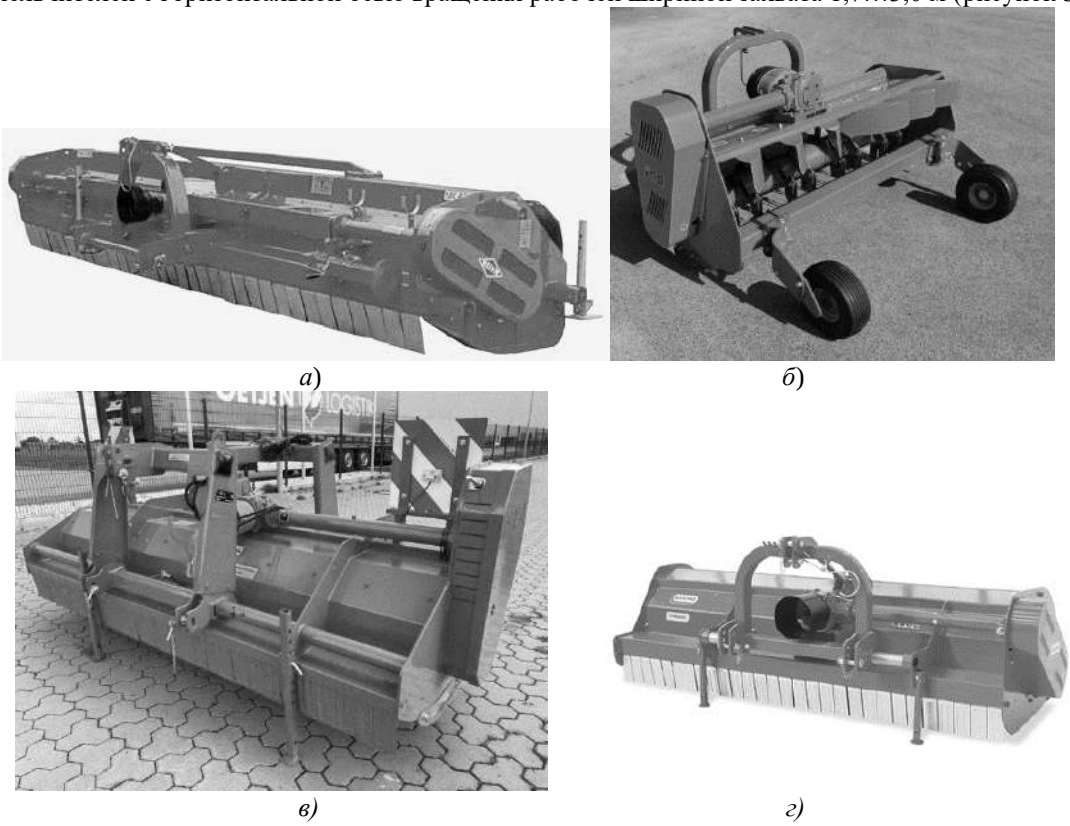
Однобарабанные измельчающие устройства (рисунок 4,*а*) работают следующим образом: ножи 4 измельчающего барабана 3 поднимают солому с поверхности поля, подают её на противорежущие пластины 2, где она под действием ударного действия ножей 4 измельчается и воздушным потоком создаваемым барабаном 3 поступает на разбрасыватель 5, и дальше распределяется по поверхности поля.

Принцип работы двухбарабанных измельчителей (рисунок 4,*б*) отличается тем, что процесс измельчения соломы происходит в два этапа следующим образом. На первом этапе ножи 4 измельчающего барабана 3 поднимают солому с поверхности поля, подают её на противорежущие пластины 2, где она измельчается. За тем на втором этапе шнеком 7 измельченная масса подаётся к доизмельчающему барабану 6 с ножами 8 где она доизмельчается на более мелкие частицы после чего через разбрасыватель 5 происходит распределение по поверхности поля [10].

По сравнению с двухбарабанными измельчителями однобарабанные обладают меньшей металлоёмкостью, меньшим забиванием рабочих органов, более простой конструкцией и энергоемкостью.

Проведённый анализ измельчителей показал, что наиболее рациональной является конструкционно-технологической схема измельчителя с одним барабаном, расположенным параллельно обрабатываемой поверхности (горизонтальная ось вращения) с приводом от ВОМ энергетического средства, без систем активного ускорения измельченной массы. Такие измельчители менее энергоёмки, их удельная мощность 10…12 кВт, что 4…5 раз меньше мощности требуемой на работу встраиваемых измельчителей [11].

В настоящее время за рубежом фирмами «Kuhn», «Ino» и др. выпускается широкий перечень измельчителей с горизонтальной осью вращения рабочей шириной захвата 1,7…3,0 м (рисунок 5).



а) *б*)

в) *г)*

Рисунок 5 - Зарубежные измельчители разбрасыватели: *а* – Kuhn NK 2801 , *б* - Ino MS 170, *в* – Sauerburger WM3300HF, *г)* - Gaspardo TORNADO 230

Данные измельчители разбрасыватели агрегатируют путём навешивания сзади на энергетическое средство. Такой способ агрегатирования эффективен только при измельчении НЧУ подбором из валка так, как при работе со стеблями на корню происходит их заминание колесами трактора.

Проведённый анализ измельчителей показал, что наиболее рациональной является конструкционно-технологической схема измельчителя с одним барабаном, расположенным параллельно обрабатываемой поверхности с приводом от ВОМ энергетического средства.

Основные условия процесса бесподпорного (или инерционным подпором) измельчения стеблевых растительных культур, аналитически рассмотрены академиком В. П. Горячкиным [12], применительно к отдельному стеблю, растущему в почве и свободно расположенному. В дальнейшем этот вопрос рассматривался Э. М. Гутьяром [13], А. Ю. Ишлинским [14], И. Ф. Василенко [15], Н.Ю. Резника [16], Э. С. Босого [17, 18] и др.

На схеме, представленной на рисунке 6 проведем систему координат *xOy* с началом в точке *O* пересечения траектории вращения измельчающих ножей с вертикалью, проведенной через центр O_1 измельчающего барабана, при этом O_x проведем вправо, а ось O_y проведем вверх.

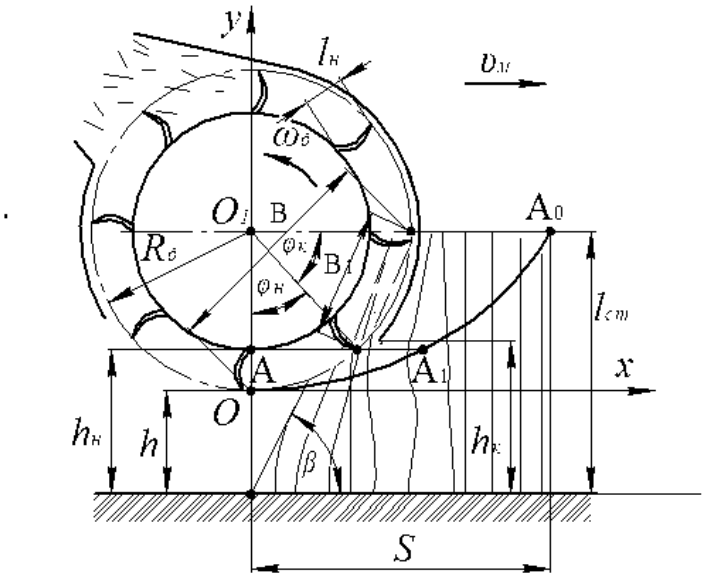


Рисунок 6 - Схема к определению параметров измельчающего аппарата

Согласно рисунку 6, координаты *x* и *y* любой точки *A* (конец ножа измельчающего барабана), выражаются следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} \chi = \mathrm{AA_0} = \mathrm{AA_1} + \mathrm{A_1A_0} = R_б \sin\varphi_н + v_м t; \\ \mathrm{y} = R_б - R_б \cos\varphi_н, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где $R_б$ – расстояние от оси O_1 барабана до конца ножа измельчающего барабана, м; $\varphi_н$– угол поворота точки *A* конца ножа от вертикали, рад; $v_м$ – скорость машины, м/с; *t* – время, с.

Угол $\varphi_н$ равен (при равномерном вращении измельчающего барабана, т.е. при ω = const): $\varphi_н = \omega_б t$, где $\omega_б$ – угловая скорость барабана, $с^{-1}$.

Из $\lambda_б$ – показатель кинематического режима работы измельчающего барабана, $\lambda_б = \omega_б R_б / v_м = v_б / v_м$ следует, что

$$R_б = v_М \lambda / \omega. \quad (2)$$

Тогда с учетом равенства (2) и (1) получаем:

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\upsilon_M \lambda}{\omega} sin\,\omega\, t + \upsilon_M t; \\ y &= \frac{\upsilon_M \lambda}{\omega}(1 - cos\,\omega\, t). \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Процесс измельчения не семенной части (стеблей) урожая лубяных культур – льна масличного и конопли можно разграничить на отдельные этапы: возникновение упругих колебаний стебля в момент удара по нему ножа, которые возбуждают продольную волну деформаций, поддерживающих друг друга и распространяющихся по длине стебля, делая его особенно жестким и возникновение деформации сгиба тела стебля во время среза, что перемещается вверх и вниз от места среза по материалу стебля.

Согласно рисунку 6 для обеспечения качественного измельчения всех стеблей необходио чтобы зона воздействия ножей аппарата на стебли была равна или больше зоны измельченных отрезков льна.

$$\mathrm{B} \geq \mathrm{B}_1 mn, \quad (4)$$

где B – длина зоны резания, м; B_1 – длина измельченных отрезков, м; m – коэффициент учитывающий неравномерность стеблей льна по высоте; n – коэффициент учитывающий неравномерность движения агрегата по полю.

При измельчении стеблей льна и технической конопли на корню за счет поступательного движения агрегата стебли вступают во взаимодействие с обтекателем измельчающего аппарата, вследствии чего происходит их отгиб на угол β по ходу движения агрегата. Исходя из физико-механических свойств стеблей (например льна) при отгибе, максимальный угол β соответсвующий максимальному изгибающему моменту равен β = 25…35° [19], с увеличением угла β произойдет излом стебля и его измельчение станет невозможено. Тогда при длине стеблестоя (для масличного льна) $l_{ст}$= 0,6м и угле β = 35°, высота $h_н$ установки кожуха измельчающего аппарата над поверхностью поля будет

$$h_{\text{к}} = l_{\text{ст}} \cdot sin\,\beta = 0{,}6 \cdot sin\,35° = 0{,}6 \cdot 0{,}57 = 0.342 \text{ м} \quad (5)$$

где $l_{ст}$= 0,6 м - длина стеблестоя; β = 35° - максимальный угол изгиба стеблей. Принимаем $h_н$ равное 0,34 м.

При повороте измельчающего барабана от своего первоначального положения точки O до точки A_1 , угол $\varphi_н$ начала измельчения будет

$$\varphi_{\text{н}} = arc\,cos\frac{R_{\text{б}} - l_{\text{н}}}{R_{\text{б}}} = arc\,cos\left(1 - \frac{l_{\text{н}}}{R_{\text{б}}}\right), \quad (6)$$

где $l_н$ – длина ножа, м; $R_б$ – радиус измельчающегоо барабана, м.

Тогда угол $\varphi_к$ конца измельченя будет

$$\varphi_{\text{к}} = 90^{^0} - arc\cos\varphi_{\text{н}} = 90^{^0} - arc\cos\left(1 - \frac{l_{\text{н}}}{R_{\text{б}}}\right). \quad (7)$$

Длина зоны измельчения B_1 с учетом уравнения (7) будет

$$\mathrm{B}_1 = 2R_{\text{б}}\, sin\frac{\varphi_{\text{к}}}{2} = 2R_{\text{б}}\, sin\frac{90^{0} - arc\,cos\left(1 - \frac{l_{\text{н}}}{R_{\text{б}}}\right)}{2}. \quad (8)$$

По формуле (2) задаваясь принятыми параметрами $\upsilon_{\text{м}}$ = 2,2...3,75 м/с и ω = 250...260 с$^{-1}$, радиус $\mathrm{R}_{\text{б}}$ измельчающего барабана равен $\mathrm{R}_{\text{б}}$ = 0,31...0,40 м.

Согласно рисунку 6 угол $\varphi_н$ начала измельчения можно выразить

$$arc\cos\frac{R_{\text{б}} - l_{\text{гр}}}{R_{\text{б}}} = arc\cos\frac{l_{\text{ст}}(1 - \sin\beta)}{R_{\text{б}}},$$

$$R_{\text{б}} - l_{\text{гр}} = l_{\text{ст}}(1 - \sin\beta);$$

Тогда длина $l_{\text{гр}}$ измельчающего ножа определится

$$l_{\text{гр}} = R_{\text{б}} - l_{\text{ст}}(1 - \sin\beta). \quad (9)$$

Продставив в формулу (9) значения $R_б$, $l_{ст}$ и угол β получим

$$l_{\text{гр}} = 0{,}31 - 0{,}6(1 - \sin 35°) = 0{,}31 - 0{,}26 = 0{,}05\text{м}$$

Для подверждения теоретических исследований экспериментальным путем, была разработана лабораторная установка с конструкционными параметрами определенными выше. Общий вид установки представлен на рисунке 7.

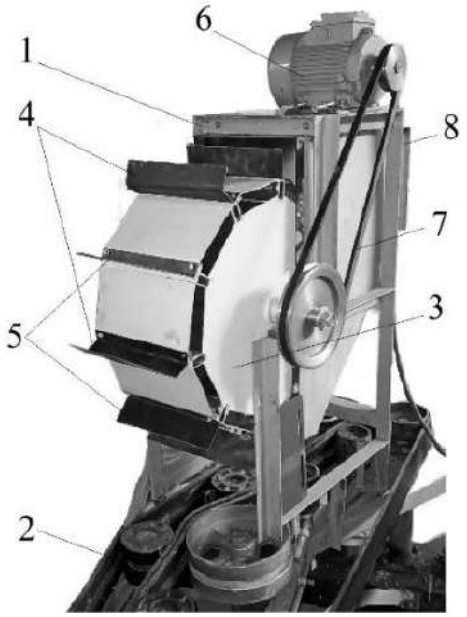


Рисунок 7 - Общий вид экспериментальной установки:1 – рама; 2 – зажимное устройство 3 – измельчающий барабан; 4 – основной нож; 5 – дополнительный нож; 6 – электродвигатель, 7 – ременная передача, 8 – приемная камера

При движении по транспортеру зажимного устройства 2 стебли взаимодействуют с кожухом измельчающего барабана (на рисунке7 кожух снят), отклоняясь попадают к ножам измельчающего барабана 3, где срезаются и измельчаются основными 4 и дополнительными 5 ножами. Далее измельченная масса под действием кинетической энергии, полученной при взаимодействии с ножами измельчающего барабана и воздушного потока, по внутренней обечайке кожуха попадает в приемную камеру 8.

В связи с вышеизложенным нами сформулированы основные требования, предъявляемые к разрабатываемой машине для измельчения не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли:

- схема агрегатирования задняя боковая;
- рабочая ширина захвата до 2 м;
- высокая пропускная способность при низких удельных энергозатратах;
- рабочая скорость движения агрегата в диапазоне от 8 до 13,5 км/ч;
- равномерное распределение измельченного материала по поверхности поля;
- возможность работы со стеблями повышенной влажности;
- массовая доля фракций соломы до 10 см должна быть не менее 90 %, свыше 15 см не должна превышать 3 % [20];
- простота конструкции и обслуживания.

На рисунке 8 представлена конструкционно-технологической схема предложенного измельчителя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли.

Согласно рисунку 8 разрабатываемый измельчитель-разбрасыватель включает в себя опорно-ходовые колеса 1, барабан 2 с шарнирно закрепленными основными ножами 3 и дополнительными ножами, выполненными в 1/2 величины основных ножей, корпус 5 и разбрасывающее устройство 6, выполненное в виде распределительных заслонок.

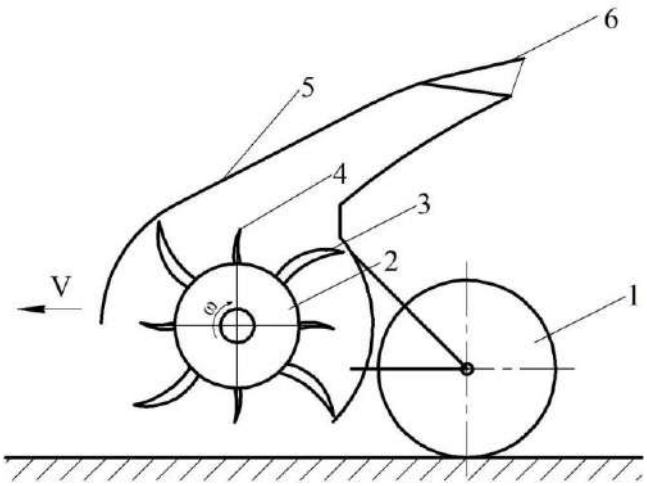


Рисунок 8 – Конструкционно-технологическая схема разрабатываемого измельчителя-разбрасывателя несеменной части урожая:1 – опорно-ходовое колесо; 2 – барабан; 3 – основной нож; 4 – дополнительный нож; 5 – корпус; 6 – разбрасывающее устройство

Выводы. Проанализировав конструкционные и режимно-технологические признаки измельчителей, выявили их основные достоинства и недостатки - малая производительность, неравномерное распределение измельченной растительной массы по поверхности поля, забивание рабочих органов, невозможность работы со стеблями повышенной влажности.

На основании проведенного анализа перспективной является конструкция измельчителя не семенной части урожая: по количеству измельчающих барабанов – однобарабанный; по типу агрегатирования с энергосредством – задняя боковая навеска; рабочая ширина захвата – до 2 м; рабочая скорость движения агрегата от 8 до 13, 5 км/ч.

Разработана конструкционно-технологическая схема нового измельчителя-разбрасывателя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли который будет способствовать очищению полей от неиспользуемых остатков и способствовать улучшению экологии и повышению плодородия почвы и урожайности последующих культур.

Исходя из условий бесподпорного срезания стеблевых растений и их качественного измельчения теоретически определены параметры измельчающего аппарата (длина основных ножей 0,05 м, длина дополнительных ножей 0,025 м, высота установки кожух измельчающего аппарата 0,34 м).

Список источников

1. Пожнивные остатки или вернуть взятое [электронный ресурс]. URL: http://agrodelo.com.ua/raznoe/pozhnivnye-ostatki-ili-vernut-vzjatoe/ (дата обращения: 02.08.2022).

2. Ягельский, М.Ю. Тенденции развития и классификация соломоизмельчителей-разбрасывателей современных зерноуборочных комбайнов / М.Ю. Ягельский, С.А. Родимцев // Вестник Орловского государственного аграрного университета. - 2016. - No3(60). - С.73-87

3. Мажугин Е. И. Механико-технологические основы совершенствования косилок для мелиорированных земель и лугопастбищных угодий: монография/ Е. И. Мажугин [и др.]. – Горки : БГСХА, 2017. – 247 с. ил.

4. Особов, В. И. Механическая технология кормов / В. И. Особов. − М.: Колос, 2009. − 344 с.

5. Бобков, В.Н. Краткий обзор конструкций зарубежных косилок-измельчителей / В.Н. Бобко.- Инженерный вестник, 2008.- №1(25).-С.48-50.

6. Урамовский Ю.М., Макуть А.Д. Современная техника для измельчения пожнивных остатков. /Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. - №2(43). С. 26-31.

7. Измельчитель валков соломы УМС-170/УМС-200 [электронный ресурс]. URL: https://selhoztehnika.net/products/izmelchitel-valkov-solomy-ums-170/ (дата обращения: 02.08.2022).

8. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-812 «Палессе GS812» - Инструкция по эксплуатации. – Брянсксельмаш, 2011.– 186 с.

9. Сельскохозяйственная техника ведущих зарубежных фирм: Кат./ Рос. НИИ информ. и техн.-экон. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. комплекса: М.:-«Росинформагротех», 2001.- 83 с.

10. Обоснование технологической схемы подборщика-измельчителя соломы / В. Г. Кушнир [и др.] // "3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация". Часть 1. - 2016. - N 2. - С. 261-266.

11. Масиенко, И.В. Обзор патентных разработок измельчителей незерновой части урожая / И.В. Масиенко // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса: сб. мат. Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Курск, 3–4 декабря 2020 г.).-Курск: КГСХА им. И.И. Иванова- 2020.- С. 326-334. - 344 с.

12. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. – Том третий. –Изд. 2-е. – М.: Колос, 1968. – 384 с.

13. Гутьяр, Е.М. К теории резания стеблей // Сельхозмашина. – 1931. - №7. – С.12–13.

14. Ишлинский, А.Ю. Задача о скорости косьбы злаков // Сельхозмашина. – 1937. - №5–6. – С. 8–12.

15. Василенко, И.Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин. Труды ВИСХОМ. – М., 1937. - №5. – С.7–14.

16. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.

17. Босой, Е.С. Режущие аппараты уборочных машин. Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1967. – 167 с.

18. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан–Шах; Под ред. Е.С. Босого – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 568 с.

19. Лачуга, Ю.Ф. Теоретическая механика. – 3-е изд., перераб. и доп. /Ю.Ф. Лачуга, В.А. Ксендзов // – М.: КолосС, 2010. – 576 с.; ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

20. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве: – М.: ФГНУ "Росинформагротех". – 2005. – 271 с.

References

1. Crop residues or return the taken [electronic resource]. URL: http://agrodelo.com.ua/raznoe/pozhnivnye-ostatki-ili-vernut-vzjatoe / (date of reference: 02.08.2022).

2. Yagelsky, M.Yu. Development trends and classification of shredders-spreaders of modern combine harvesters / M.Yu. Yagelsky, S.A. Rodimtsev // Bulletin of the Orel State Agrarian University. - 2016. - No3(60). - pp.73-87

3. Mazhugin E. I. Mechanical and technological foundations of the improvement of mowers for reclaimed lands and grasslands: monograph/ E. I. Mazhugin [et al.]. – Gorki: BGSHA, 2017. – 247 p. : ill.

4. Osobov, V. I. Mechanical technology of feed / V. I. Osobov. − M.: Kolos, 2009. − 344 p.

5. Bobkov, V.N. A brief overview of the designs of foreign shredder coils / V.N. Bobko.- Engineering Bulletin, 2008.- №1(25).- P.48-50.

6. Uramovsky Yu.M., Makut A.D. Modern technology for grinding crop residues. /Mechanization and electrification of agriculture. – 2009. - №2(43). Pp. 26-31.

7. Shredder of straw rolls UMS-170/UMS-200 [electronic resource]. URL: https://selhoztehnika.net/products/izmelchitel-valkov-solomy-ums-170 / (date of reference: 02.08.2022).

8. Combine harvester self-propelled KZS-812 "Palesse GS812" - Operating instructions.– Bryanskselmash, 2011.– 186 p.

9. Agricultural machinery of leading foreign firms: Cat. / Ros. Research Institute inform. and tech.-econ. research. by eng.-tech. providing agro-industry. complex: M.: -"Rosinformagrotech", 2001.- 83 p.

10. Justification of the technological scheme of the straw picker-shredder / V. G. Kushnir [et al.] // "3i: intellect, idea, innovation - intelligence, idea, innovation". Part 1. - 2016. - N 2. - pp. 261-266.

11. Masienko, I.V. Review of patent developments of shredders of the non-grain part of the crop / I.V. Masienko // Youth science - development of the agro-industrial complex: sat. mat. All-Russian

(national) Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists (Kursk, December 3-4, 2020).-Kursk: KGSHA named after I.I. Ivanov- 2020. - pp. 326-334. - 344 p.

12. Goryachkin, V.P. Collected works. – Volume three. –Ed. 2-E. – M.: Kolos, 1968. – 384 p.

13. Gutyar, E.M. On the theory of cutting stems // Agricultural machinery. – 1931. - №. 7. – p.12-13.

14. Ishlinskiy, A.Yu. The problem of the speed of mowing cereals // Agricultural machine. – 1937. - №5-6. – pp. 8-12.

15. Vasilenko, I.F. Theory of cutting devices of reaping machines. Proceedings of VISKHOM. – M., 1937. - No. 5. – pp.7-14.

16. Reznik, N.E. The theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 311 p.

17. Bosoy, E.S. Cutting machines of harvesting machines. Theory and calculation. – M.: Mechanical Engineering, 1967. – 167 p.

18. Theory, design and calculation of agricultural machines: Textbook for agricultural engineering universities / E.S. Bosoy, O.V. Vernyaev, I.I. Smirnov, E.G. Sultan–Shah; Edited by E.S. Bosoy – 2nd ed., reprint. and additional – M.: Mechanical Engineering, 1978. – 568 p.

19. Shack, Yu.F. Theoretical Mechanics. – 3rd ed., reprint. and additional /Yu.F. Lachuga, V.A. Ksenzov // – M.: KolosS, 2010. – 576 p.; ill. – (Textbooks and studies. manuals for higher education students. studies. institutions).

20. Initial requirements for basic machine technological operations in crop production: – M.: FGNU "Rosinformagrotech". - 2005. – 271 p.

Информация об авторах

Д.Г. Фадеев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; Д.А. Шишин - научный сотрудник; С. В. Прокофьев – научный сотрудник.

Information about the authors

D. Fadeev – Candidate of Technical Sciences, leading researcher; D. Shishin - researcher; S. Prokofiev– 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): 23.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.365.22
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-19-26

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕГО РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ СУШКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Петр Сергеевич Агеев[1], Владимир Иванович Курдюмов[2], Андрей Александрович Павлушин[3], Галина Владимировна Карпенко[4], Сергей Алексеевич Сутягин[5]
[1, 2, 3, 4, 5] Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, кафедра «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» инженерного факультета. г.Ульяновск. Россия.
[1] ageev_petr@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1114-9401
[2] vik@ugsha.ru, https://orcid.org/0000-0003-1603-1779
[3] andrejpavlu@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7678-2876
[4] karpenko.galina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0214-4193
[5] sergeysut@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6477-3817

Автор, ответственный за переписку: Петр Сергеевич Агеев, ageev_petr@mail.ru
Corresponding author: Petr Ageyev, ageev_petr@mail.ru

Реферат. *Послеуборочная обработка зерна влияет на длительность его хранения. Цель исследования – определение эффективности применения осциллирующего режима в новом устройстве с контактным способом подвода теплоты к высушиваемому материалу. Рассмотрены существующие устройства, применяемые при осциллирующем режиме контактной сушки. Предложена зерносушилка, разработанная в ФГБОУ ВО Ульяновском ГАУ, в конструкции которой применяется охлаждающее устройство. Проведены теоретические и экспериментальные исследования зерносушилки, в ходе которых определяли влияние скорости движения воздуха на влажность зерна и температуру на выходе из устройства.* В результате проведенных исследований было выявлено, что применение осциллирующего режима контактной сушки позволяет получить на выходе зерно, температура которого обеспечивает сохранению его положительных качеств. Использование охладительного устройства в предложенной зерносушилке позволяет снизить температуру зерна на выходе из устройства в среднем на 9 %, что в конечном итоге предупреждает перегрев зерна выше 39°С. При этом скорость воздушного потока, создаваемая охладительным устройством, которая варьируется в диапазоне от 1 м/с до 3,5 м/с, оказывает минимальное влияние на конечную влажность. *Выявлено, что при оптимальной средней температуре греющей поверхности устройства $t_п$ = 129 °С, скорости движения зерна $v_з$ = 0,29 м/с, а также скорости движения воздушного $v_{вп}$ = 3,5 м/с влажность зерна на выходе из устройства не меняется, а его температура после окончания операций нагрева, охлаждения и повторного нагрева на 3 градуса ниже, чем в технологической процессе без промежуточной операции охлаждения зерна.*

Ключевые слова: *сушка, зерносушилка, зерно, охлаждение, контактный способ подвода теплоты, транспортирующий рабочий орган.*

USING THE OSCILLATING MODE OF CONTACT DRYING OF BULK MATERIALS

Petr Ageyev[1], Vladimir Kurdyumov[2], Andrey Pavlushin[3], Galina Karpenko[4], Sergey Sutyagin[5]
[1, 2, 3, 4, 5] Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Department of "Agrotechnology, Machinery and Life Safety" of the Faculty of Engineering. Ulyanovsk. Russia.
[1] ageev_petr@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1114-9401
[2] vik@ugsha.ru, https://orcid.org/0000-0003-1603-1779
[3] andrejpavlu@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7678-2876
[4] karpenko.galina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-0214-4193

[5] sergeysut@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6477-3817

Abstract. *Post-harvest processing of grain affects the duration of its storage. The purpose of the study is to determine the effectiveness of the oscillating mode in a new device with a contact method of heat supply to the dried material. The existing devices used in the oscillating mode of contact drying are considered. A grain dryer developed in the Ulyanovsk State Agrarian University is proposed, in the design of which a cooling device is used. Theoretical and experimental studies of the grain dryer were carried out, during which the influence of air velocity on grain parameters such as humidity and temperature at the outlet of the device was determined. It was revealed as a result of the research that the use of an oscillating mode of contact drying makes it possible to obtain grain at the outlet, the temperature of which ensures the preservation of its positive qualities. The use of a cooling device in the proposed grain dryer makes it possible to reduce the temperature of the grain at the outlet of the device by an average of 9%, which ultimately prevents the grain from overheating above 39°C. At the same time, the air flow velocity generated by the cooling device, which varies in the range from 1 m/s to 3.5 m/s, has a minimal effect on the final humidity. It was revealed that at the optimal average temperature of the heating surface of the device* t_p *= 129 °C, grain velocity* v_z *= 0,29 m/s, as well as air velocity* v_{vp} *= 3,5 m/s, grain moisture at the outlet of the device does not change, and its temperature after the end of heating, cooling and reheating operations by 3 degrees lower than in the technological process without an intermediate grain cooling operation.*

Keywords: *drying, grain dryer, grain, cooling, contact method of heat supply, transporting working body.*

Для цитирования: Агеев П.С., Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко Г.В., Сутягин С.А. Использование осциллирующего режима контактной сушки сыпучих материалов // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 60, № 6. С. 19-26. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-19-26.

For citation: Ageyev P., Kurdyumov V., Pavlushin A., Karpenko G., Sutyagin S. Using the oscillating mode of contact drying of bulk materials. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 60(6): 19-26. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-19-26.

Введение. Выращивание зерновых культур – одно из приоритетных направлений развития аграрного производства, способствующее сохранению его стабильности во всем мире. Данный вид продукции широко востребован в пищевой промышленности, он необходим как для людей, так и для животных.

Однако после уборки урожая возникает ряд проблем, которые не позволяют хранить зерно длительное время. Поэтому необходимо проводить послеуборочную обработку зерна, которая включает в себя несколько последовательных операций, а именно: предварительную очистку, первичную очистку, сушку, вторичную очистку и сортировку. Каждый этап по-своему важен, однако наиболее энергоёмким и значимым из них является сушка.

Материалы и методы. Сушка представляет собой удаление излишнего процента влаги из зерна путем подведения к нему теплоты тем или иным способом. Чтобы довести зерно до необходимой конечной влажности за один проход через устройство следует применять осциллирующий режим сушки [1].

Осциллирующий режим сушки представляет собой чередование процессов нагревания и охлаждения обрабатываемого продукта. Благодаря этому зерно не нагревается свыше допустимой температуры (для семенного зерна – 39 °С, для продовольственного – 60 °С), что, в свою очередь, позволяет высушить зерно за один проход через сушилку [2, 3, 4].

Существует множество устройств, представляющих собой охладительные приспособления различных конструкций для реализации данного режима сушки. Рассмотрим некоторые из них (рисунок 1).

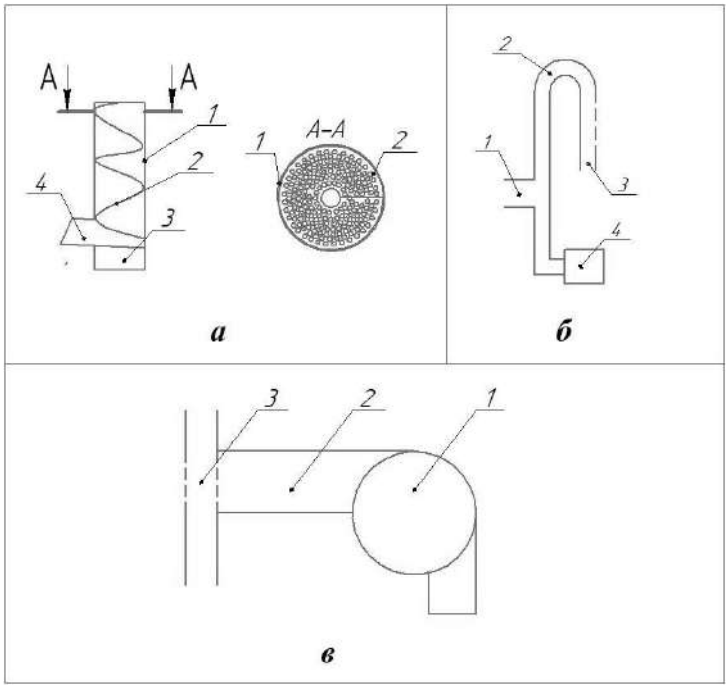


Рисунок 1 - Охладительные устройства: *а* - винтовой охладитель; *б* - U-образный охладитель; *в* - охладительная колонка

Винтовой охладитель (рисунок 1, а) представляет собой «охладительную колонку 1, выполненную в виде трубы. Внутри охладительной колонки расположен ленточный винт с перфорацией 2, шаг которого превышает его наружный диаметр. Размер перфорации выполнен меньше, чем минимальный размер обрабатываемого продукта, чтобы исключить прохождения продукта через отверстия» [5].

В процессе сушки нагретый продукт попадает в охладительную колонку. Во время спиралеобразного движения вниз по перфорированному ленточному винту охладительной колонки обрабатываемый продукт охлаждается воздушным потоком, подаваемым через воздуховод 3, одновременно частично теряя влажность. Охлажденное зерно удаляется из винтового охладителя через выгрузное окно 4.

U-образный охладитель (рисунок 1, б) включает в себя четыре элемента: загрузочный патрубок 1, направленную вверх скругленной частью U-образную трубу 2 прямоугольного сечения с перфорацией ее конечной части, выгрузное окно 3 и вентилятор 4 [6].

Принцип работы U-образного охладителя заключается в следующем. В загрузочный патрубок поступает высушиваемый материал, после чего он направляется в U-образную трубу. Внутри U-образной трубы движется воздушный поток, скорость которого выше скорости витания v зерна (для большинства культур v = 8…12 м/с). За счет этого зерно поднимается вверх, при этом охлаждаясь и теряя избыточную влажность. При прохождении верхней части U-образной трубы скорость воздушного потока снижается за счет наличия в ней перфорации. Через перфорацию увлажненный воздух удаляется из охладителя, а зерно под действием силы тяжести падает в выгрузное окно.

Охладительная колонка (рисунок 1, в) состоит из вентилятора 1, воздуховода 2 и перфорированного выгрузного патрубка 3 [7].

По выгрузному патрубку нагретое зерно движется под действием силы тяжести. Одновременно зерно охлаждается за счет воздушного потока, подаваемого через воздуховод. Наличие перфорации на выгрузном патрубке позволяет снизить напор воздушного потока, а также частично удалить избыточную влагу с поверхности зерна.

Охлаждающее устройство в виде скатной доски (рисунок 2) состоит из решета 1 и воздуховода 2, установленного с его нижней стороны. Отверстия решета выполнены с размерами, которые меньше минимального размера обрабатываемого материала [8].

Скатную доску можно устанавливать в сушильных устройствах как стационарно с регулировкой угла наклона в зависимости от угла естественного откоса обрабатываемой культуры, так и жестко связанной с сушилкой и приданием возможности совершения колебательных движений для перемещения зерна. Зерно, попадая на скатную доску, начинает охлаждаться воздушным потоком, проходящим через ее перфорацию из воздуховода 2, одновременно частично теряя избытки влаги.

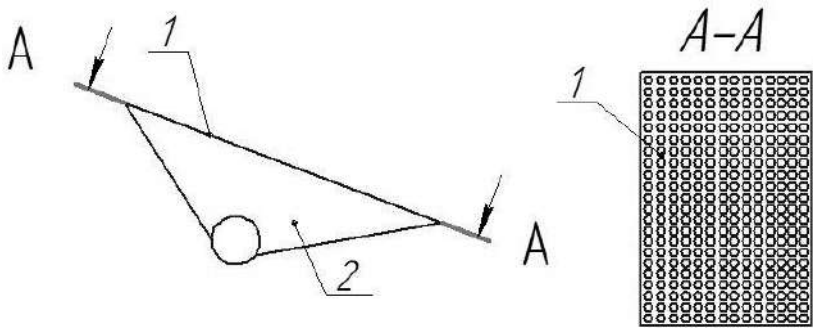


Рисунок 2 - Скатная доска

Все выше перечисленные конструкции сушилок содержат важный элемент, а именно, вентилятор.

Основные параметры, которые характеризуют «создаваемый вентилятором воздушный поток, являются статическое $p_{ст}$ и динамическое $p_{д}$ давление» [9].

«Статическое давление $p_{ст}$ представляет сбой потери напора на преодоление сопротивлений, возникающих на пути движения воздушного потока. Динамическое давление $p_{д}$ - это давление, характеризующееся скоростным напором воздушного потока» [9].

Сложение двух выше указанных показателя позволит определить полное давление воздушного потока:

$$p = p_{\text{ст}} + p_{\text{д}}. \quad (1)$$

Важно создать оптимальную скорость воздушного потока, которая позволяет добиться охлаждения обрабатываемого материала, а также отведение избыточной влаги с его поверхности. Скорость воздушного потока, м/с,

$$v_{вп} = \sqrt{\frac{2\,p_д\,d}{\rho\,\lambda\,l}}, \quad (2)$$

где $p_{\text{д}}$ - динамическое давление, Па; ρ - плотность воздуха, кг/м^3; d – диаметр воздуховода, м; λ - коэффициент сопротивления движению воздуха, зависящий от свойств материала, из которого изготовлен воздуховод; l – длина воздуховода, м.

Стоит отметить, что вентилятор должен обладать оптимальной производительностью. Это будет способствовать подведению к нагретому материалу необходимого количества воздуха, что, в свою очередь, обеспечит качественное охлаждение материала.

Объемный расход, м^3/с,

$$L_{\text{в}} = v_{\text{вп}}\,F, \quad (3)$$

где F - площадь поперечного сечения воздуховода, м^2.

Объединив (2) и (3) уравнения, получим:

$$L_в = F\sqrt{\frac{2\,p_д\,d}{\rho\,\lambda\,l}}. \quad (4)$$

Следовательно, обеспечив постоянную пропускную способность установки, можно добиться постоянства статического и динамического давлений и, с учетом этого, подобрать воздуховод нужных размеров.

Результаты и их обсуждение. Для проведения экспериментальных исследований эффективности применения охладительных устройств была разработана зерносушилка контактного типа, в конструкцию которой была включена скатная доска (рисунок 3) [10, 11, 12, 13].

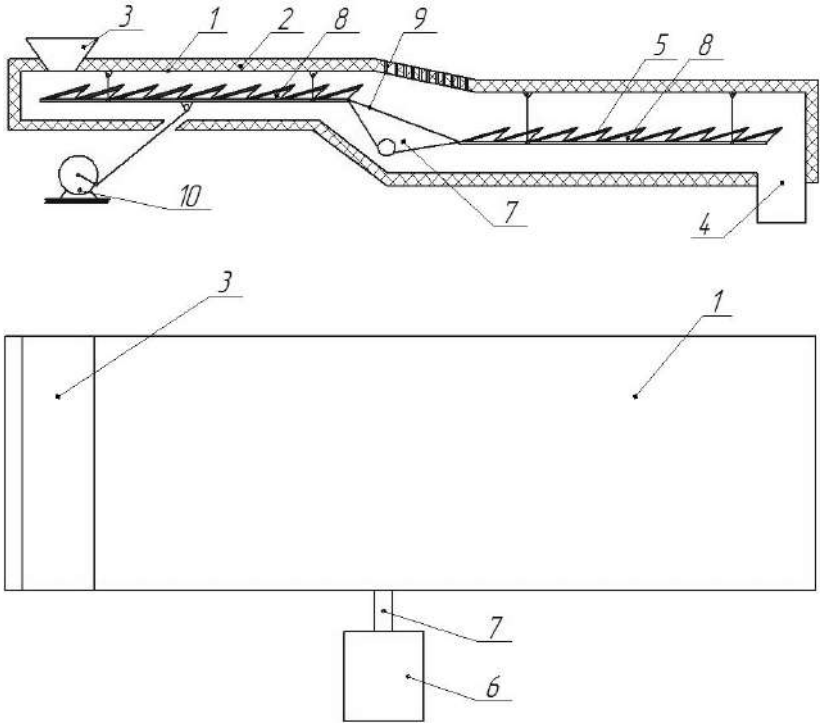


Рисунок 3 - Зерносушилка контактного типа: 1 – кожух; 2 – теплоизолирующий материал; 3 – загрузочный бункер; 4 – выгрузное окно; 5 – транспортирующий рабочий орган; 6 – вентилятор; 7 – воздуховод; 8 – нагревательные элементы; 9 – скатная доска; 10 – привод

Принцип работы зерносушилки заключается в подведении теплоты от нагретой поверхности к обрабатываемому материалу при его одновременном движении по рабочей зоне и перемешивании. Нагрев продукта осуществляется от нагревательных элементов, установленных под рабочими поверхностями транспортирующих рабочих органов (ТРО). Так как ТРО для обеспечения требуемой продолжительности сушки установлены последовательно, то это увеличивает вероятность локального перегрева высушиваемого зерна. Для исключения этого явления между ТРО установлено охлаждающее устройство в виде скатной доски с вентилятором, которое позволяет снизить температуру обрабатываемого материала перед его повторным нагревом.

В процессе исследований зерносушилка были настроены на обеспечение ранее определенных ее оптимальных параметров, в частности, температура первого ТРО составила 150 °С, второго ТРО – 108 °С, а скорость движения зерна $v_з$ равна 0,29 м/с. При этом пропускная способность зерносушилки составила 221 кг/ч.

Одна из задач лабораторных исследований – выявление характера действия скорости воздуха в зерносушилке на качество высушенного зерна, которое определяли через конечную влажность и градиент температуры [14].

Исследования изменения температуры зерна на выходе из устройства проводили на оптимальных режимах работы с постоянной скоростью движения воздушного потока 3,5 м/с. Температура воздуха в помещении во время проведения опытов составляла 21 °С, относительная влажность – 42 %.Опыты проводили как при выключенном вентиляторе, так и при работающем вентиляторе с объемным расходом $L_в$ = 0,28 м^3/с. Такое значение $L_в$ обеспечивает максимально

технически достижимую без ухудшения энергетических показателей зерносушилки скорость воздуха $v_в$ = 3,5 м/с. Результаты исследований отражает рисунок 4.

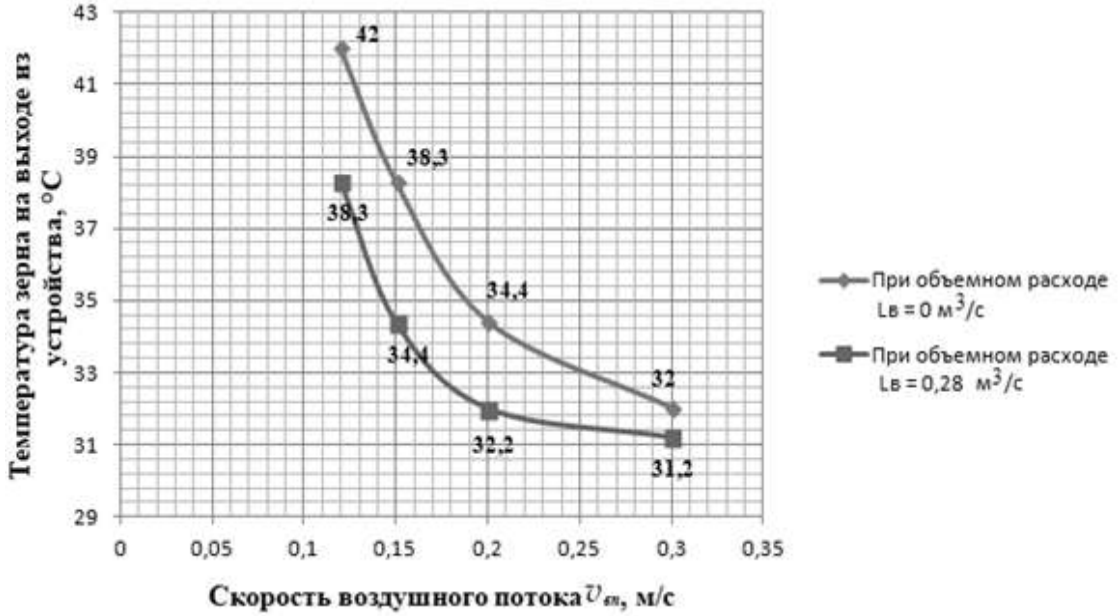


Рисунок 4 – Зависимость температуры зерна на выходе из ТРО от скорости воздушного потока

Из графика следует, что при работе зерносушилки с отключенным вентилятора ($L_в = 0$ м^3/с) температура зерна в среднем на 3 °С выше, чем при работающем вентиляторе с объемным расходом $L_в = 0{,}28$ м^3/с. На некоторых режимах зерно нагревается выше 39 °С, что приводит к потере такого его качества, как всхожесть. С учетом достигнутого относительно небольшого градиента температуры дальнейшие исследования следует проводить в направлении совершенствования конструкции охлаждающего устройства и оптимизации его параметров.

При исследовании влияния воздушного потока на конечную влажность зерна было выявлено следующее. При изменении скорости воздушного потока в диапазоне 1…3,5 м/с конечная влажность зерна не меняется. Это связано с тем, что при оптимальных режимах работы зерносушилки из зерна удаляется примерно 3,7 % влаги. Поэтому даже в случае выхода зерносушилки на максимально возможную пропускную способность из зерна испаряется лишь 0,0185 кг/с влаги. Таким образом, с задачей вывода выделяющихся при сушке водяных паров хорошо справляется движущийся вдоль ТРО поток воздуха, который возникает при работе этого ТРО. Следовательно, дополнительно подавать воздух во внутреннюю полость зерносушилки не требуется.

Следует отметить, что требуемое качество высушенного зерна можно обеспечить и без его охлаждения, и даже с помощью одной секции транспортирующего рабочего органа. Однако при этом резко снижается пропускная способность установки, что делает ее эксплуатацию экономически нецелесообразной. В связи с этим определенные в процессе исследований оптимальные параметры установки обеспечивают заданную пропускную способность 221 кг/ч, необходимую при использовании в условиях относительно небольших аграрных предприятиях.

Заключение. В результате проведенных исследований было выявлено, что применение осциллирующего режима контактной сушки позволяет получить на выходе зерно, температура которого обеспечивает сохранению его положительных качеств. Использование охладительного устройства в предложенной зерносушилке позволяет снизить температуру зерна на выходе из устройства в среднем на 9 %, что в конечном итоге предупреждает перегрев зерна выше 39°С. При

этом скорость воздушного потока, создаваемая охладительным устройством, которая варьируется в диапазоне от 1 м/с до 3,5 м/с, оказывает минимальное влияние на конечную влажность зерна.

Список источников

1. Шаршунов В.А. Сушка и хранение зерна / В.А. Шаршунов, Л.В. Рукшан // Минск: Мисанта, 2010. - 236 с.

2. Pabis, Stanisław. Grain drying: theory and practice / Stanisław Pabis, Digvir S. Jayas, Stefan Cenkowski. New York: John Wiley, 2018. Description: xii, 303 p.: ISBN: 0471573876.

3. Дорохов А.С. Исследование процесса сушки сельскохозяйственных культур в колонковых сушилках / А.С. Дорохов, М.Г. Загоруйко, Ю.В. Катаев, Р.А. Марин // Москва: 2021. - 121 с.

4. Голубкович А.В. Моделирование тепло- и массопереноса при осциллирующей сушке зерна в мобильной зерносушилке / А.В. Голубкович, И.А. Пехальский, И.Д. Лукин, Р.А. Марин // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 5. - С. 25-28.

5. Пат. 191125 Российская Федерация, МПК F26B 17/26. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, П.С. Агеев, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин, Г.В. Карпенко, Т.Г. Евдокимова; патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – № 2019107829; заявл. 19.03.2019; опубл. 25.07.2019, Бюл. № 21.

6. Пат. 2705024 Российская Федерация, МПК F26B 17/00. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, П.С. Агеев, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин, Г.В. Карпенко; патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – № 2019101138; заявл. 14.01.2019; опубл. 01.11.2019, Бюл. № 31.

7. Пат. 2728209 Российская Федерация, МПК A23B 9/08. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, П.С. Агеев, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – № 2019139484; заявл. 03.12.2019; опубл. 28.07.2020, Бюл. № 22.

8. Пат. 184194 Российская Федерация, МПК A23B 9/08. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, П.С. Агеев, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин, Г.В. Карпенко, Д.П. Ерохин; патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – № 2018108903; заявл. 12.03.2018; опубл. 18.10.2018, Бюл. № 29.

9. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции / М: Стройиздат, 1979. – 295 с.

10. Манасян С.К. Принципы конвективной сушки зерна / Вестник КрасГАУ. 2019. № 6. С. 145.

11. Цугленок Н.В. Зерносушилки сельскохозяйственного назначения / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Н.В. Демский // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 11. С. 47.

12. Богданов С.И. Исследование и математическое моделирование кинетики сушки зерна озимой пшеницы / С.И. Богданов, А.П. Дарманян, М.А. Маркин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 439-448.

13. Николаев В.А. Контактная сушка зерна в зерноуборочном комбайне / В.А. Николаев, И.В. Кряклина, Е.В. Шешунова // Аграрный вестник Верхневолжья. 2020. № 4 (33). С. 73-77.

14. Сорочинский В.Ф. Изменение полей влагосодержания и температуры в зерне при сушке / В.Ф. Сорочинский, А.Л. Догадин // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 1. С. 47-56.

References

1. Sharshunov V.A. Drying and storage of grain / V.A. Sharshunov, L.V. Rukshan / Minsk: Misanta, 2010. - 236 p.

2. Pabis, Stanisław. Grain drying: theory and practice / Stanisław Pabis, Digvir S. Jayas, Stefan Cenkowski. New York: John Wiley, 2018. Description: xii, 303 p.: ISBN: 0471573876.

3. Dorokhov A.S. Investigation of the drying process of agricultural crops in column dryers / A.S. Dorokhov, M.G. Zagoruiko, Yu.V. Kataev, R.A. Marin // Moscow: 2021. - 121 p.

4. Golubkovich A.V. Modeling of heat and mass transfer during oscillating grain drying in a mobile grain dryer / A.V. Golubkovich, I.A. Pehalsky, I.D. Lukin, R.A. Marin // Agricultural machines and technologies. 2015. No. 5. - pp. 25-28.

5. Pat. 191125 Russian Federation, IPC F26B 17/26. Grain drying device / V.I. Kurdyumov, P.S. Ageev, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin, G.V. Karpenko, T.G. Evdokimova; patent holder of the

Ulyanovsk State Agrarian University. – No. 2019107829; application 19.03.2019; publ. 25.07.2019, Bul. No. 21.

6. Pat. 2705024 Russian Federation, IPC F26B 17/00. Device for drying grain / V.I. Kurdyumov, P.S. Ageev, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin, G.V. Karpenko; patent holder of the Ulyanovsk State Agrarian University. – No. 2019101138; application. 14.01.2019; publ. 01.11.2019, Bul. No. 31.

7. Pat. 2728209 Russian Federation, IPC A23B 9/08. Device for drying grain / V.I. Kurdyumov, P.S. Ageev, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin; patent holder of the Ulyanovsk State Agrarian University. – No. 2019139484; application 03.12.2019; publ. 28.07.2020, Bul. No. 22.

8. Pat. 184194 Russian Federation, IPC A23B 9/08. Device for drying grain / V.I. Kurdyumov, P.S. Ageev, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin, G.V. Karpenko, D.P. Erokhin; patent holder of the Ulyanovsk State Agrarian University. – No. 2018108903; application 12.03.2018; publ. 18.10.2018, Bul. No. 29.

9. Taliev V.N. Aerodynamics of ventilation / M: Stroyizdat, 1979 – 295 p.

10. Manasyan S.K. Principles of convective grain drying / Bulletin of KrasGAU. 2019. No. 6. p. 145.

11. Tsuglenok N.V. Agricultural grain dryers / N.V. Tsuglenok, S.K. Manasyan, N.V. Demsky // International Journal of Experimental Education. 2012. No. 11. p. 47.

12. Bogdanov S.I. Research and mathematical modeling of the kinetics of drying winter wheat grain / S.I. Bogdanov, A.P. Darmanyan, M.A. Markin // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo complex: Science and higher professional education. 2022. No. 2 (66). pp. 439-448.

13. Nikolaev V.A. Contact drying of grain in a combine harvester / V.A. Nikolaev, I.V. Kryaklina, E.V. Sheshunova // Agrarian Bulletin of the Upper Volga region. 2020. No. 4 (33). pp. 73-77.

14. Sorochinsky V.F. Change of moisture content and temperature fields in grain during drying / V.F. Sorochinsky, A.L. Guaddin // Storage and processing of agricultural raw materials. 2019. No. 1. pp. 47-56.

Информация об авторах

П.С. Агеев – к-т технических наук, старший преподаватель; В.И. Курдюмов – д-р технических наук, профессор; А.А. Павлушин – д-р технических наук, профессор; Г.В. Карпенко - к-т технических наук, доцент; С.А. Сутягин - к-т технических наук, доцент.

Information about the authors

P. Ageyev – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer; V. Kurdyumov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Pavlushin - Doctor of Technical Sciences, Professor; G. Karpenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; S. Sutyagin - 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 conflicts of interests.

Поступила в редакцию (Received): 10.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 636.2.034.084.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-27-34

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВ ДЛЯ ТЕЛЯТ

Леонид Алексеевич Никитин [1], Владислав Евгеньевич Никифоров [2], Геннадий Александрович Симонов [3], Ольга Борисовна Филиппова [4]
[1,2,3] Вологодский научный центр Российской академии наук, г. Вологда, Россия
[1]nikitin.l.2010@mail.ru
[2]nfrv_123@mail.ru
[3]sznii@list.ru
[4]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[4]Мичуринский аграрный университет, г. Мичуринск, Россия
[4]filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

Реферат. Содержание и обслуживание телят в молочный период, когда приходится раздавать в основном жидкие корма, очень трудоемко. При ручной выпойке телят большая часть затрат времени связана с подвозом корма на тележке в молочных флягах и заполнением ведер из фляг. Для раздачи жидких кормов телятам в боксах предложено устройство кормораздатчика на передвижной раме (штанге), которая перемещается на роликах с помощью электропривода. Оно состоит из несущего конвейера с закреплёнными вёдрами, который поочерёдно совершает возвратно-поступательные движения по направлению к кормушкам. Данное техническое решение применимо на фермах, в которых для содержания телят используются отдельные групповые клетки или боксы. Предлагаемая технология раздачи жидких кормов повышает уровень всего процесса кормления телят. Установлено, что в результате работы раздатчика использование ручного труда снизилось на 90 %. Фактическая производительность труда составила не менее 400 голов в час, т.е. один оператор при работе с раздатчиком полностью способен выпоить 200 телят за 0,5 часа. Применение на фермах механизированной системы раздачи жидких кормов благоприятно влияет на снижение уровня заболеваемости телят, связанной с органами пищеварения – на 20 %. Валовой и среднесуточные приросты живой массы увеличиваются на 5-6 %.

Ключевые слова: содержание телят, механизация, раздатчик кормов, жидкие корма, системы раздачи.

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF DISTRIBUTION OF LIQUID FEED FOR CALVES

Leonid Nikitin[1], Vladislav Nikiforov[2], Gennady Simonov[3], Olga Filippova[4]
[1,2,3] Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia
[1] nikitin.l.2010@mail.ru
[2] nfrv_123@mail.ru
[3] sznii@list.ru
[4]All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[4]Michurinsk Agrarian University, Michurinsk, Russia
[4] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

Abstract. *Maintenance and care of calves during the milk period, when it is necessary to distribute mainly liquid feed, is very laborious. Most of the time is associated with the delivery of feed on a cart in*

milk flasks and filling buckets from flasks when hand-watering the calves. proposed Feeder device on a mobile frame (rod), which moves on rollers with the help of an electric drive, proposed for distributing liquid feed to calves in boxes. It consists of a carrier conveyor with fixed buckets, which alternately reciprocates towards the feeders. This technical solution is applicable on farms where separate group cages or boxes are used for keeping calves. The proposed liquid feed distribution technology raises the level of the entire calf feeding process. It was found that as a result of the work of the distributor, the use of manual labor decreased by 90%. The actual labor productivity was at least 400 heads per hour, therefore, one operator, when working with a distributor, is fully capable of drinking 200 calves in 0.5 hours. The use of a mechanized system for distributing liquid feed on farms has a positive effect on reducing the level of morbidity in calves associated with the digestive organs - by 20%. Gross and average daily gains in live weight increase by 5-6%.

Keywords: *keeping calves, mechanization, feed distributor, liquid feed, distribution systems*.

Для цитирования: Никитин Л.А., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б. Совершенствование системы раздачи жидких кормов для телят // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 60, № 6 С. 27-34. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-27-34.

For citation: Nikitin L., Nikiforov V., Simonov G., Filippova O. Improving the system of distribution of liquid feed for calves. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 60(6): 27-34. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-27-34.

Введение. Технологии, применяемые на современных животноводческих комплексах, условно делятся на две категории – одни обеспечивают процессы, связанные с заготовкой, хранением, приготовлением кормов и их раздачей животным, другие касаются организации содержания и управления стадом. В большинстве случаев задачи повышения продуктивности и увеличения производства продукции животноводства сложно решить без использования механизации отдельных технологических звеньев. В частности, раздача кормов на фермах обеспечивается специальной техникой и оборудованием. Для кормления крупного рогатого скота молочного направления продуктивности разработан и применяется целый комплекс технических средств, включая кормосмесители, совмещающие функции кормораздатчиков и дозаторов. Поение животных обеспечивается системой автопоилок, а для холодного содержания используется оборудование для подогрева воды.

Особенное значение использование новейших разработок в области технологии кормления и содержания имеет при организации выращивания молодняка, так как напрямую влияет на сроки хозяйственного использования дойных коров. От того, какими кондиционными качествами обладает ремонтный молодняк, будет зависеть и максимально возможная продуктивность. будущих коров, состояние их здоровья и качественные характеристики получаемого молока. Все мероприятия по сохранению продуктивного долголетия коров как правило сопровождаются большими затратами, которые направлены на достаточный уровень окупаемости и достижения высокой рентабельности ведения молочного скотоводства. При этом основной задачей в отечественном молочном скотоводстве должно являться повышение сохранности ремонтного молодняка и эффективности его выращивания [1-4].

До сих пор в хозяйствах наблюдаются высокие риски выращивания здорового поголовья телят и большие затраты на лечение, поскольку их недостаточное развитие в дальнейшем приведет к снижению продуктивности на 15–20 % [5-13]. Это в основном связано с нарушением технологии содержания и кормления молодняка, а также состояния микроклимата при временно неустойчивой естественной защите организма от неблагоприятных факторов.

Наибольшего внимания к полноценному питанию требуют телята от рождения до 6 месяцев, когда происходит перестройка желудочно-кишечного тракта для потребления объемистых кормов

[14]. В процессе выращивания телят приходится решать целый ряд технологических задач, при этом главным условием получения хороших результатов является грамотное сопровождение рационов (выпойки, приготовления молочных смесей), в том числе, разработкой схемы кормления в зависимости от возраста.

Существуют различные технологии содержания ремонтного молодняка КРС, однако наиболее трудоёмким является содержание и обслуживание телят в молочный период, когда приходится раздавать в основном жидкие корма (таблица 1). Во многих хозяйствах до сих пор используется способ раздачи жидких молочных кормов в вёдрах.

Таблица 1 – Затраты труда на раздачу кормов

Условия раздачи кормов	Затраты труда, %
При стойловом содержании животных	20-30
Выращивание молодняка крупного рогатого скота	25-75

По технологии подачи жидкого корма непосредственно в клетки телятам может осуществляться с помощью мобильных раздатчиков, различных установок (УВТ-6, УВТ-20А и пр.) или отдельного молокопровода [15, 16]. К недостаткам данного оборудования следует отнести его значительную металлоёмкость, сложность промывки и обслуживания. Зарубежные автоматические станции и передвижные установки для выпойки телят имеют ограничения по функциональному и техническому признаку, высокие эксплуатационные затраты и стоимость, низкую ремонтопригодность, особенно по импортозамещению [15].

Хорошее развитие молодняка КРС достигается при условии достаточного кормления и содержания на разных стадиях выращивания с учетом биологической потребности организма. Это отражается на основных экономических показателях (капвложения, трудоемкость, затраты энергии, и пр.), снижение которых возможно только при использовании энергосберегающих технологий и современного оборудования.

Совершенствование технологий в сельскохозяйственном производстве основывается на внедрении новых средств механизации. Чтобы улучшить показатели качества приготавливаемого корма, а также сократить трудоёмкость и непроизводительный ручной труд, требуется также оснащать современные фермы автоматическими системами кормления.

Цель исследований заключалась в разработке эффективного способа раздачи жидких кормов и одновременно выпойки телят в месте их непосредственного содержания.

Материалы и методы исследований.

Подопытным материалом служили телята молочного периода в возрасте 4-6 месяцев в одном из комплексов Вологодской области. Для улучшения производственных условий разработана комбинированная технология беспривязного содержания телят в боксах, которая совмещена с рамным кормораздатчиком [17]. В данной технологии боксы ограничивают зону отдыха животных на время их поения с прилегающим кормовым фронтом рамы кормораздатчика и установленными на ней поильными ведрами [18].

В исследованиях применялись общепринятые зоотехнические методы (учет поедаемости кормов, анализ продуктивности и приучаемости животных к новым условиям).

Результаты и их обсуждение.

Предлагаемая технология поения телят использует групповой беспривязно-комбибоксовый способ содержания. Боксы не входят в конструкцию кормораздатчика, что позволяют решать такие задачи, как разделение телят по фронту кормления с обеспечением места поения и отдыха.

В состав данного телятника входит (рис.1.) помещение с клеточно-боксовым содержанием телят с раздатчиком жидких кормов и помещение-молочная с оборудованием для хранения и приготовления жидкого корма.

Размеры боксового оборудования и рамы раздатчика соответствуют нормам типового проектирования к планировке телятников [19, 20]. По технологии содержания по длине помещения на 72 метра для зоны обслуживания животных можно разместить до 200 голов.

Кормораздатчик для кормления может находиться между двумя рядами боксов в центре, при этом фронт кормления закрыт рядами подвижных заслонок, которые конструктивно соединены с одним рычагом привода. В результате одновременного открытия заслонок животные равномерно распределяются непосредственно каждый у своего ведра. При одноразовом перемещении кормораздатчик обслуживает только четвертую часть поголовья (т.е. полный цикл всего процесса кормления осуществляется за четыре перемещения). Сено, и другие корма раздаются в отдельных кормушках, расположенных вдоль технологических проходов.

Технологическая линия состоит из следующих элементов рабочего процесса: штанговый раздатчик жидких кормов; устройство для открывания кормовых заслонок; устройство для загрузки поильных ведер и подачи к кормовым проемам, в которых осуществляется выпойка жидких кормов телятам.

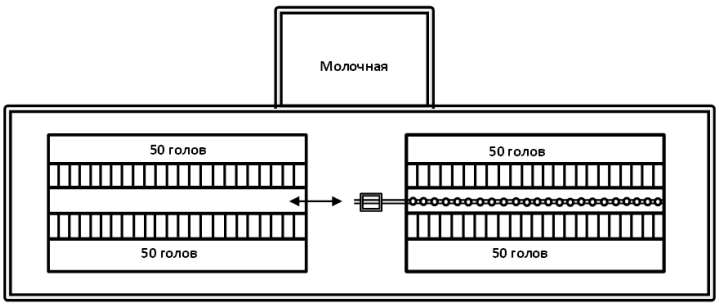


Рисунок 1 – План телятника на 200 голов, оборудованного механизмом для раздачи жидких кормов

Данная технология имеет следующие преимущества:

1) поголовье можно разделить по 20-50 телят одного возраста на группы и разместить в клетки по 7-10 голов;

2) предусмотрена возможность фиксации телят в боксах и равномерное распределение по фронту кормления по одной голове в каждом боксе;

3) технологические операции выполняются последовательно: подготовка корма и оборудования к выпойке; механизированная подача; дозирование и наполнение ведер на штанге в зоне поения; открывание заслонок в боксах;

4) предусмотрена возможность одновременного доступа группы телят к ведрам с кормом, а также последовательное поение отдельных групп при перемещении раздатчика;

5) быстрое привыкание телят (за 2-3 дня) к режиму поения на данном раздатчике;

6) дополнительное преимущество – удобство выполнения ветеринарно-санитарных мероприятий (чистка, мойка и дезинфекция оборудования).

Для раздачи жидких кормов использован специально изготовленный кормораздатчик с возможностью перемещения рамы, передвижной штанги вдоль боксов. Ведра для индивидуального кормления и поения телят закреплены на штанге. Другие виды сухих кормов скармливаются в отдельных кормушках, расположенных на стороне технологических проходов.

На рисунке 2 представлена технологическая схема кормораздатчика по одному фронту кормления телят в отдельных боксах.

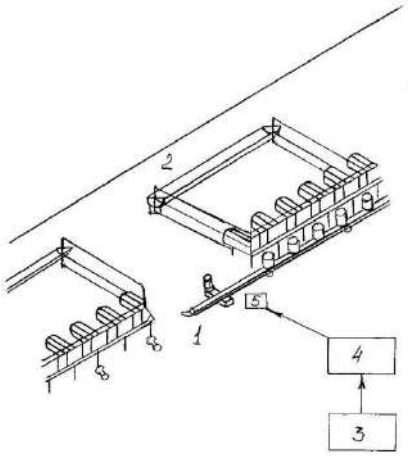


Рисунок 2 – Технологическая схема кормораздатчика: 1) линия выпойки жидкого корма; 2) линия раздачи грубых кормов; 3) оборудование для хранения молочного корма; 4) оборудование для приготовления корма; 5) оборудование для раздачи корма

Технологическое решение разработанной системы раздачи корма осуществляется в зоне обслуживания и нахождения животных по существующему проекту помещения. Ширина прохода вдоль кормушек обеспечивает использование мобильных устройств кормления и составляет 1,2 м. Ширина кормушек для сена и других кормов составляет 0,4 м. Расстояние, где располагается раздатчик жидких кормов, составляет 0,5 м. Длина боксов для телят трёхмесячного возраста установлена 1,2 м, при этом общая ширина помещения составляет 9,3 м.

Работа по обслуживанию производится оператором, поэтому учитывается время для подготовительных операций. Затраченное время за один период процесса поения одной группы телят со стороны боксов при работе раздатчика имеет вид:

$$T_1 = \sum t_П + \sum t_З + t_k$$

где: $\Sigma t_п$ – суммарные затраты времени на выполнение подготовительных операций (установка ведер, включение насоса и привода установки, разлив жидких кормов, перемещение штанги, выключение привода и насоса, открытие кормовых проемов);

$\Sigma t_з$ – суммарные затраты времени на выполнение заключительных операций оператором в течение одного цикла (закрытие кормовых проемов, расфиксация с опрокидыванием ведер, их промывка);

t_k – среднее время поения одной группы телят за один период.

Полное время работы разработанной установки для поения составит: $T = 4T_1$

В ходе экспериментальной проверки определена фактическая производительность раздатчика жидких кормов, которая составила 629 голов за 1 час основного времени, тогда как при раздаче жидких кормов вручную – 490 гол./ч. Коэффициент использования сменного времени раздатчика жидких кормов составил 0,47, при раздаче вручную – 0,12. При ручной выпойке телят 71,4 % всех затрат времени было связано с переездами, подвозом корма на тележке в молочных флягах и заполнением ведер из фляг. Установлено, что в результате работы раздатчика использование ручного труда снизилось на 90 %.

Производительность составила не менее 400 голов в час, т.е. один оператор при работе с раздатчиком полностью способен выпоить 200 телят за 0,5 часа.

Следует отметить, что при работе раздатчика жидких кормов необходимо использовать молочный насос НМУ-6 с производительностью 6,5 $м^3$/ч. Возможность повышения

производительности работы установки заключается в дополнительном оснащении устройством автоматического дозирования жидкого корма для наполнения ведер.

Применение кормораздатчика и предлагаемой технологии обеспечивает комфортные условия содержания животных, расположение оборудования, доступ к кормушкам и поильной установке, не создает стрессов, приводящие к снижению продуктивности. Было отмечено снижение травматизма у животных на 20 % по отношению к технологии с использованием ручной раздачи кормов. Механизация кормораздачи и поения обеспечила необходимый санитарно-гигиенический уровень содержания, снижающий число кишечных заболеваний у телят.

В таблице 2 представлены преимущества в результате использования раздатчика жидких кормов.

Таблица 2 – Показатели производственной эффективности предлагаемой технологии

№ пп	Показатели	По отношению к ручной технологии
1	Техническая возможность раздачи жидких кормов для скармливания в повышенных объёмах	100 %
2	Повышение общего потребления жидких кормов (обильность питания)	+ 15 %
3	Уровень травматизма и заболеваний (желудочно-кишечного тракта)	– 20 %
4	Увеличение валового и среднесуточного прироста живой массы телят-молочников	+ 5-6 %

Заключение. Проведенный анализ различных технологий содержания телят с использованием технических средств приготовления и раздачи жидких молочных кормов показал, что наиболее эффективными являются раздатчики конвейерного типа, обеспечивающие снижение затрат ручного труда на транспортировку при дозированной раздаче корма. Фактическая производительность раздатчика жидких кормов по отношению к ручному труду увеличивается не меньше, чем на 28 %. Применение на фермах механизированной системы раздачи жидких кормов благоприятно влияет на снижение уровня заболеваемости телят, связанной с органами пищеварения – на 20%, что, в свою очередь, обеспечивает высокую продуктивность у животных. По сравнению с использованием ручного труда при организации кормления валовой и среднесуточные приросты живой массы увеличиваются на 5-6 %.

Список источников

1. Эффективность производства молока при разных способах содержания коров / Г.П. Легошин, С.Е. Бильков // Молочное скотоводство России. – М. : ВИЖ, 2008. С. 150-159.

2. Опыт создания высокопродуктивных молочных стад / В.А. Сабурин, Ю.В. Коваль, А.Ю. Баранов [и др.] // Зоотехния. 2005. № 1. С. 11-15.

3. Симонов Г. Интенсивное выращивание высокопродуктивных коров // Молочное и мясное скотоводство. 2005. № 2. С. 29-30.

4. Тяпугин Е., Гуляева М. Опыт выращивания ремонтных телок в хозяйствах Вологодской области // Молочное и мясное скотоводство. 2010. № 3. С. 2-4.

5. Выращивание телят по разным схемам кормления / А. Голубев [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. 1996. № 4. С. 9.

6. Кузнецов В.М., Зотеев В.С. Эффективное кормление высокопродуктивных молочных коров на разных физиологических стадиях // Эффективное животноводство. 2018. № 1 (140). С. 28-39.

7. Симонов Г.А. Система кормления телок в молочный период // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 2. С. 84.

8. Симонов Г.А. ЗЦМ в кормлении телят молочного периода // Комбикорма. 2011. № 1. С. 59-60.

9. Филиппова О.Б., Фролов А.И., Бетин А.Н. Естественная стимуляция защитной функции организма телят // Горное сельское хозяйство. 2022. № 1. С. 47-52.

10. Филиппова, О.Б. А.И. Фролов, Кийко Е.И. Условия кормления телят – залог будущего долголетия коров // Главный зоотехник. 2015. № 8. С. 11-18.

11. Эффективность кормовой добавки на основе природных компонентов при выращивании телят молочного периода / А.Фролов [и др.] // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2021. № 12. С. 11-16.

12. Шахов А.Г. Актуальные проблемы болезней молодняка в современных условиях // Ветеринарная патология. 2003. № 2. С. 6-7.

13. Научно-обоснованная система получения и выращивания здоровых телят. (Рекомендации) МСХ РФ – М.: изд. МСХ, 1993. 40с.

14. Комплексная кормовая добавка повышает эффективность выращивания телят / А.И. Фролов [и др.] // В сборнике: Аграрная наука на современном этапе: состояние, проблемы, перспективы. Материалы IV научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию СЗНИИМЛПХ: в 2-х частях. 2021. С. 332-336.

15. Конаков А.П., Юдаев Ю.Н, Козин Р.Б. Механизация раздачи кормов. М.: Агропромиздат, 1989. 175 с.

16. Молчанов М.В. Технология выращивания телят в родильно-профилакторных боксах. Дубровицы: ФГОУ РУЭЦ, 2007. 22 с.

17. Авт. св-во. № 1291095 СССР. Кормораздатчик / Вяткин А.Г., Седунов В.А., Агапов М.А., Туваев В.Н., Прошутинский Н.П.; опубл. в Б.И., 1987. Бюл. № 7.

18. Пат. 1787393 Российская Федерация А01 К 5/02. Кормораздатчик / Никитин Л.А. Седунов В.А., Гусев А.С. – № 4789170/15; заявл. 07.09.1990; опубл. 15.01.1993; Бюл. № 2.

19. Никитин Л.А., Туваев В.Н. Технологический процесс выпойки телят послепрофилакторного периода // Эффективные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: Сборник научных трудов Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина. – ИЦ, 2004. С. 138-141.

20. Рекомендации по модернизации и техническому перевооружению молочных ферм / Е.Е. Хазанов, Е.Л. Ревякин, В.Е. Хазанов, В.В. Гордеев. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 128 с.

References

1. Efficiency of milk production with different methods of keeping cows / G.P. Legoshin, S.E. Belkov // Molochnoe skotovodstvo Rossii (Dairy cattle breeding in Russia). – M.: VIZ, 2008. pp. 150-159.

2. Experience in creating highly productive dairy herds / V.A. Saburin, Yu.V. Koval, A.Yu. Baranov [et al.] // Zootekhniya (Zootechnia). 2005. No. 1. pp. 11-15.

3. Simonov G. Intensive cultivation of highly productive cows // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo (Dairy and beef cattle breeding). 2005. No. 2. pp. 29-30.

4. Tyapugin E., Gulyaeva M. The experience of growing repair heifers in the farms of the Vologda region // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo (Dairy and beef cattle breeding). 2010. No. 3. pp. 2-4.

5. Raising calves according to different feeding schemes / A. Golubev [et al.] // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo (Dairy and beef cattle breeding). 1996. No. 4. p. 9.

6. Kuznetsov V.M., Zoteev V.S. Effective feeding of highly productive dairy cows at different physiological stages // Effektivnoe zhivotnovodstvo (Effective animal husbandry). 2018. No. 1 (140). pp. 28-39.

7. Simonov G.A. System of feeding heifers in the dairy period // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk (Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences). 2005. No. 2. p. 84.

8. Simonov G.A. Whole milk substitute in feeding calves of the dairy period // Kombikorma (Compound feed). 2011. No. 1. pp. 59-60.

9. Filippova O.B., Frolov A.I., Betin A.N. Natural stimulation of the protective function of the body of calves // Gornoe sel'skoe hozyajstvo (Mountain agriculture). 2022. No. 1. pp. 47-52.

10. Filippova, O.B. A.I. Frolov, Kiiko E.I. Conditions of feeding calves – a pledge of future longevity of cows // Glavnyj zootekhnik (Chief zootechnik). 2015. No. 8. pp. 11-18.

11. The effectiveness of a feed additive based on natural components in the cultivation of calves of the dairy period / A. Frolov [et al.] // Veterinariya sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh (Veterinary medicine of farm animals). 2021. No. 12. pp. 11-16.

12. Shakhov A.G. Actual problems of diseases of young animals in modern conditions // Veterinarnaya patologiya (Veterinary pathology). 2003. No. 2. pp. 6-7.

13. A scientifically-based system for obtaining and rearing healthy calves. (Recommendations) Ministry of Agriculture of the Russian Federation – Moscow: Publishing house of the Ministry of Agriculture, 1993. 40 p.

14. Complex feed additive increases the efficiency of calf rearing / A.I. Frolov [et al.] // In the collection: Agrarian science at the present stage: state, problems, prospects. Materials of the IV scientific and practical conference with international participation dedicated to the 100th anniversary of the FSBIS «Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences»: in 2 parts. 2021. pp. 332-336.

15. Konakov A.P., Yudaev Yu.N., Kozin R.B. Mechanization of feed distribution. M.: Agropromizdat, 1989. 175 p.

16. Molchanov M.V. Technology of growing calves in maternity and prophylactic boxes. Dubrovitsy: FGOU RUETS, 2007. 22 p.

17. Auth. sv-vo. No. 1291095 OF the USSR. Kormorazdatchik / Vyatkin A.G., Sedunov V.A., Agapov M.A., Tuvaev V.N., Proshutinsky N.P.; publ. in B.I., 1987. Byul. No. 7.

18. Pat. 1787393 Russian Federation A01 To 5/02. Feed distributor / Nikitin L.A. Sedunov V.A., Gusev A.S. – No. 4789170/15; application 07.09.1990; publ. 15.01.1993; Byul. No. 2.

19. Nikitin L.A., Tuvaev V.N. Technological process of milking calves of the post-production period // Effective technologies in the production and processing of agricultural products: Collection of scientific papers of the Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin. – IC, 2004. pp. 138-141.

20. Recommendations for the modernization and technical re-equipment of dairy farms / E.E. Khazanov, E.L. Revyakin, V.E. Khazanov, V.V. Gordeev. M.: FGNU "Rosinformagrotech", 2007. 128 p.

Информация об авторах

Л.А. Никитин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, В.Е. Никифоров – старший научный сотрудник, Г.А. Симонов - доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, О.Б. Филиппова - доктор биологических наук, главный научный сотрудник.

Information about the authors

L. Nikitin - candidate of technical sciences, leading researcher, V. Nikiforov - senior researcher, G. Simonov - Doctor of agricultural Sciences, Chief Researcher, O. Filippova - Doctor of Biological Sciences, Chief 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): 31.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 15.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.347.3.012.3.001.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-35-41

ПОВЫШЕНИЕ ОПОРНЫХ СВОЙСТВ МНОГООПОРНОЙ МАШИНЫ «КУБАНЬ-ЛК1»

Анатолий Иванович Рязанцев[1], Александр Николаевич Зазуля[2], Евгений Юрьевич Евсеев[3], Олег Владимирович Антипов[4], Алексей Олегович Антипов[5]
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Московская обл., Коломенский р-он, пос. Радужный, Россия
[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов Россия
[2]zazulja_an@rambler.ru
[1,4]Рязанский государственный агротехнологический университет П. А. Костычева, г. Рязань, Россия
[3,5]Государственный социально-гуманитарный университет, Московская обл. г.о. Коломна, Россия
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[5]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Автор ответственный за переписку: Анатолий Иванович Рязанцев, ryazantsev.41@mail.ru
Corresponding author: Anatoly Ryazantsev, ryazantsev.41@mail.ru.

Реферат. *Рассматривали вопросы повышения надежности движения дождевальной машины (ДМ) на примере «Кубань-ЛК1». Отметили значительное колееобразование, ведущее к потере проходимости из-за увеличенной интенсивности дождя в концевой части ДМ (последние тележки и консольная часть), что в конечном счете приводит к снижению производительности работы машины. Для ликвидации указанного недостатка на крайнюю тележку ДМ, интенсивность дождя которой, составляет 1.0 мм/мин, а длина 350 – 400 м. устанавливают пневмошины с шириной профиля 21.3 – 24, вместо серийных шин 18.4 – 24. Модификации ДМ длиной 500 и более метров характеризует повышенная интенсивность (ρ=1,0-1,2 мм/мин), а соответственно и увеличенное значение поверхностного стока воды, при этом несущая способность почвы, в районе последних пролетов составляет до 70 кПа. Это определяет необходимость установки широкопрофильных пневматических шин с шириной профиля 21.3 - 24 не на одной, а нескольких последних тележках. Однако, исходя из высокой стоимости и весовых показателей пневматических шин 21.3 – 24, по данным теоретико-экспериментальных исследований, авторами рекомендуется оснащать последние тележки ДМ пневматическими шинами обычного профиля 18.3 – 24 с жестким уширителем, радиус которого, определяется уменьшением радиуса колеса на величину, равную средней глубине погружения шин обычного профиля, в конце поливного сезона. Проведенные экспериментальные исследования показали, что установка уширителя на пневмошины последних тележек обеспечила показатели опорной проходимости по колееобразованию, равнозначные показателям промежуточных тележек.*

Ключевые слова: *дождевальная машина; надежность движения; энергетические затраты на движение; опорные свойства; широкопрофильные пневматические шины; ширина профиля колеса; уширитель.*

IMPROVING THE SUPPORTING PROPERTIES OF THE KUBAN-LK1 MULTI-SUPPORT MACHINE

Anatoly Ryazantsev [1], Alexander Zazulya [2], Evgeny Evseev [3], Oleg Antipov [4], Alexey Antipov[5]
[1]All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga», Moscow region, Kolomenskoye district, village Raduzhny, Russia

[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]*All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[2]zazulja_an@rambler.ru
[1,4]*Ryazan State Agrotechnological University of P. A. Kostychev, Ryazan, Russia*
[3,5]*State Socio-Humanitarian University, Moscow region, Kolomna, Russia*
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[5]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Abstract. *Considered Issues of increasing the reliability of the movement of the sprinkling machine (SM) on the example of "Kuban-LK1" were considered. Significant rutting leading to loss of patency due to increased rain intensity at the end of the SM (last bogies and cantilever) was noted, which ultimately leads to a decrease in machine performance. To eliminate this drawback, pneumatic tires with a profile width of 21.3 - 24 are installed on the outermost SM bogie, the rain intensity of which is 1.0 mm / min, and the length is 350 - 400 m, instead of serial tires 18.4 - 24. To eliminate this shortcoming, pneumatic tires with a profile width of 21.3 - 24 are installed on the extreme SM trolley, the rain intensity of which is 1.0 mm / min, and the length is 350 - 400 m, instead of serial tires 18.4 - 24. Modifications of SM with a length of 500 meters or more characterize increased intensity (ρ = 1.0-1.2 mm/min), and, accordingly, an increased value of surface water runoff, while the bearing capacity of the soil in the area of the last spans is up to 70 kPa. This determines the need to install wide-profile pneumatic tires with a profile width of 21.3 - 24 not on one, but on several last bogies. However, based on the high cost and weight indicators of pneumatic tires 21.3 - 24, according to theoretical and experimental studies, the authors recommend equipping the last SM bogies with pneumatic tires of a conventional profile 18.3 - 24 with a rigid flare, the radius of which is determined by reducing the wheel radius by an amount equal to the average depth of immersion of tires of a conventional profile, at the end of the irrigation season. The conducted experimental studies have shown that the installation of an expander on the pneumatic tires of the last bogies provided the indicators of the reference rutting ability, equivalent to those of the intermediate bogies.*

Keywords: *sprinkler machine «Kuban-LK1»; reliability of movement; energy costs for movement; supporting properties; wide-profile pneumatic tires; wheel profile width; widener.*

Для цитирования: Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. Повышение опорных свойств многоопорной машины «Кубань-ЛК1» // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 35-41. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2022-6-35-41.

For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov O, Antipov A. Improving the supporting properties of the Kuban-LK1 multi-support machine. Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 35-41. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-35-41.

Введение. Энергозатраты на передвижение ходовых систем ДМ «Кубань-ЛК1» определяются показателями сопротивления качению, зависящий от типа ходовых систем, весовыми нагрузками приходящимися на тележки ДМ, а также показателем несущей способности опорной поверхности.

Возможность надежного движения тележек ДМ может быть обеспечено соответствием значений удельного давления (q) показателям несущей способности почвенной поверхности, после завершения полива ($P_{0\text{п.п.}}$), определяемого известной зависимостью [1]:

$$P_{0nn} = P_{0\text{дп}} - (1.4 \times m_{\text{дост.}}^{0.65} + 8 \times 1.01^{m_{\text{ст.}}}) \quad (1)$$

где: $P_{0\text{дп}}$ – значение несущей способности почвы до полива, кПа;

$m_{\text{дост.}}$ – достоковая норма полива, м^3/га;

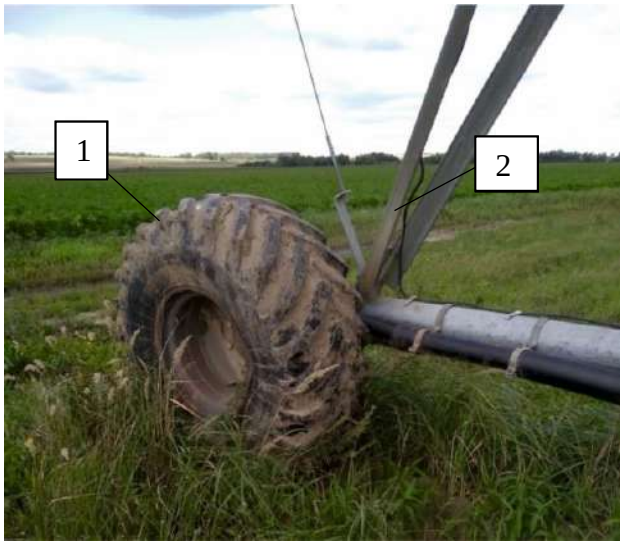
$m_{\text{ст.}}$ – величина стока, м^3/га.

Одним из главных факторов, оказывающих влияние на значение достоковой нормы полива ($m_{\text{дост.}}$) и, как следствие, на несущую способность поверхности передвижения, является интенсивность дождя (ρ).

Материалы и методы. Как показывает опыт эксплуатации ДМ «Кубань-ЛК1», вследствие увеличенной интенсивности дождя (ρ), в ее концевой части (1.0 и более мм/мин), происходит

значительное колееобразование, а в ряде случаев, потеря проходимости последних тележек и, в конечном счете, снижение производительности машины.

Для длины машины, равной 350 – 400 м. с дождевальными насадками в концевой части, при (ρ) равной 1.0 мм/мин (рисунок 2) [7] и величине стока около 100 м^3/га (20%), вызывающего снижение несущей способности почвы с 180 до 80 кПа и менее, ее последнюю тележку, для повышения опорных свойств, оснащают пневмошинами, с параметрами по ширине профиля 21.3 – 24 (рисунок 1), против серийных шин 18.4 – 24 (патент РФ №183135) [5].



1 – пневмошина 21.3 – 24; 2 - рама тележки.

Рисунок 1 – Общий вид последней тележки ДМ «Кубань-ЛК1» на пневмошинах 21.3 - 24

Необходимая ширина профиля B пневмоколеса определялась, с учетом допустимой глубины колеи H, при первом проходе машины (не более 0.05 м) и несущей способности почвы P_{0nn}, равной 70 кПа, по выражению (2) [2]:

$$B = \frac{H_1 \times \sqrt{D_{\text{пр}}}}{P_{0nn} \times 1.2 \times G} \quad (2)$$

где: $D_{\text{пр}}$ – приведенный диаметр пневмоколеса, м;

G – нагрузка на колесо, H.

При увеличенной длине машины (500 и более метров), повышенная интенсивность дождя ($\rho = 1.0 - 1.2$ мм/мин) и, как следствие, увеличенный поверхностный сток воды (до 30%), определяющий значение несущей способности почвы не более 70 кПа по длине нескольких последних пролетов машины (рисунок 3).

Это, в большей степени, снижает опорную проходимость и, как следствие, надежность движения модификации машин увеличенной длины.

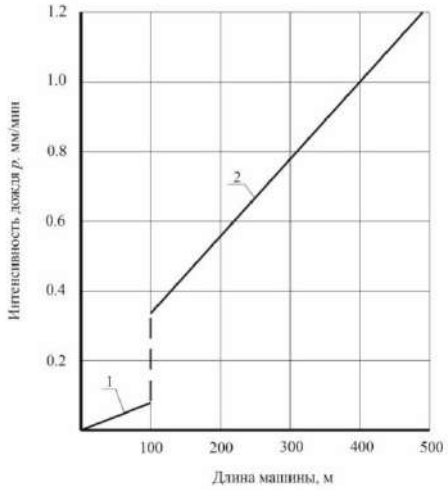
Отмеченное вызывает необходимость оснащения широкопрофильными шинами не одной, а еще дополнительно несколько последних тележек машины, количество которых N, определяется из выражения (2), (патент на изобретение РФ №2768382) []:

$$\text{N} = \frac{L}{l}, \quad (2)$$

где: L – длина концевой части машины с повышенной интенсивностью дождя (более 1.0 мм/мин), м;

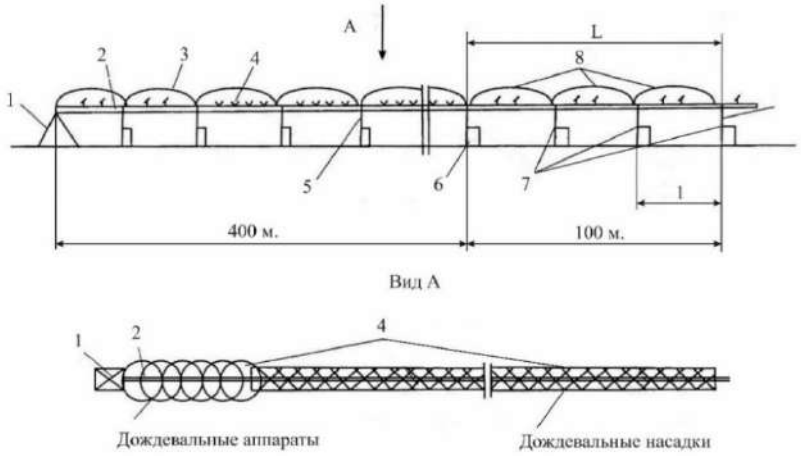
l – длина последних пролетов, м.

Как видно из рисунка 3, оснащению широкопрофильными шинами подлежат, кроме тележки 6, дополнительно еще три последние тележки 7, при увеличении длины машины на $L = 100$ м. (с 400 до 500 м.), при длине пролета 8, $l = 33.3$ м.



1 – дождевальные аппараты; 2 – дождевальные насадки.

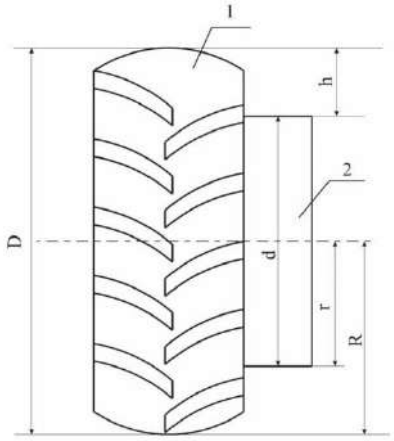
Рисунок 2 – Изменение интенсивности дождя по длине машины



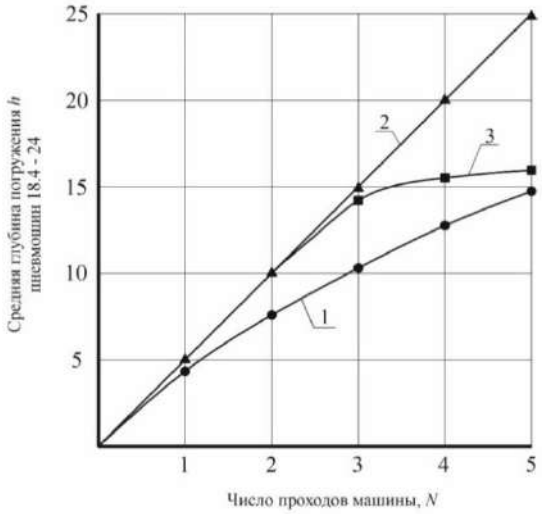
1 – неподвижная опора; 2 – трубопровод; 3 – промежуточный пролет, 4 – дождеобразующие устройства; 5 – тележка на шинах с обычной шириной профиля; 6 – тележка на шинах с увеличенной шириной профиля, при длине машины 400 м.; 7 – дополнительные тележки на шинах с увеличенной шириной профиля; 8 – дополнительные последние пролеты

Рисунок 3 – Схема дождевальной машины «Кубань-ЛК1» и расстановки на ней дождеобразующих устройств (вид А)

Результаты и их обсуждение. Исходя из высокой стоимости и весовых показателей, устанавливаемых на последних тележках машины, широкопрофильных шин 21.3 – 24, по данным теоретико-экспериментальных исследований, рекомендуется концевую часть, оснащать пневмошинами с профилем 18.3 – 24 и радиусом R, с дополнительно установленным, жестким уширителем радиусом r (рисунок 4). Значение радиуса r определяется уменьшением радиуса R на величину, средней глубины погружения (0.15 м.) пневмошин с обычным профилем, установленных на промежуточных тележках, по завершению поливного сезона (после пятого прохода машины) (рисунок 5). При этом, отношение $\frac{r}{R}$, для пневмошин, применяемых на дождевальной технике, диаметром 0.10 – 0.15 м., составляет 0.7…0.8 (таблица 1) (патент на изобретение РФ №2782270) [6].



1 – пневмошина 18.4 - 24; 2 – уширитель.
Рисунок 4 – Схема пневмошины 18.4 – 24 с уширителем

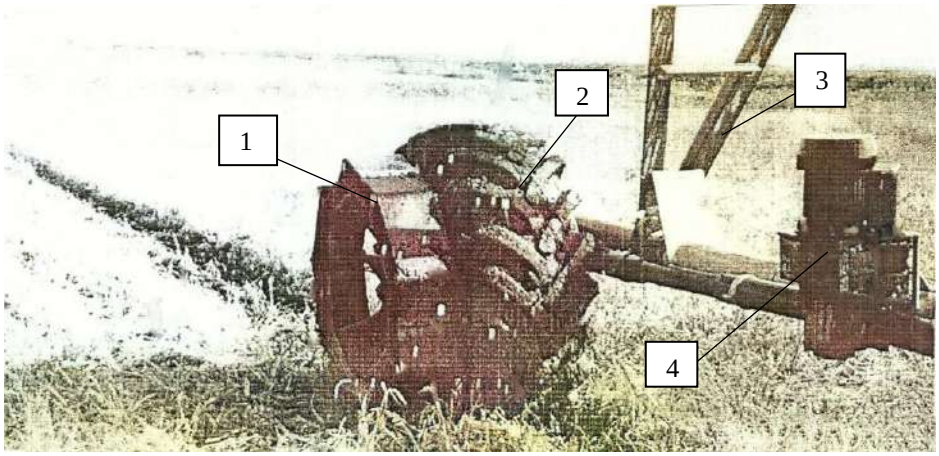


1 – промежуточные тележки; 2 – последние тележки без уширителей; 3 – концевые тележки с уширителями
Рисунок 5 – Зависимость глубины колеи тележек ДМ от числа проходов

Таблица – 1 Обоснование отношения $\frac{r}{R}$ для различных диаметров пневматических шин обычного профиля, исходя из допустимой средней глубины их погружения в конце поливного сезона

№ п.п.	Диаметр, м		Отношение $\frac{r}{R}$
	пневмошины, D	жесткого уширителя, d	
1.	0.100	0.070	0.700
2.	0.110	0.080	0.720
3.	0.120	0.090	0.750
4.	0.130	0.100	0.760
5.	0.140	0.110	0.780
6.	0.150	0.120	0.800

Оснащение последних тележек машины пневмошинами с уширителями, в полевых условиях (рисунок 6), обеспечило показатели опорной проходимости по колееобразованию, равнозначными показателям промежуточных тележек (таблица 2).



1 – уширитель; 2 – пневмошина 18.4 - 24; 3 – рама тележки; 4 - привод

Рисунок 6 – Общий вид последней тележки ДМ «Кубань-ЛК1» на пневмошинах 18.4 - 24 с уширителем

Таблица - 2 Колееобразование последних тележек ДМ «Кубань-ЛК1» на шинах 18.4 – 24 при различном их исполнении

№ прохода машины за поливной сезон	Значение глубины погружения (h)пневматических шин обычного профиля, м		
	На промежуточных тележках	На последней тележке	
		без уширителя	с уширителем
1	0.05	0.07	0.07
2	0.07	0.10	0.10
3	0.10	0.15	0.15
4	0.13	0.19	0.15
5	0.15	0.23	0.16

Заключение. Это обеспечило надежность движения машины в течение всего поливного сезона, при сохранении нормативных показателей ее производительности.

Исходя из различных форм хозяйствования и финансового состояния сельхозпредприятий агропромышленного комплекса, для производительной работы машин, типа «Кубань-ЛК1», особенно увеличенной длины, возможно оснащение их последних тележек широкопрофильными шинами или шинами с обычным профилем, оборудованных уширителем.

Список источников

1. Рязанцев, А.И. Повышение эксплуатационных показателей транспортных систем многоопорных машин [Текст] / А.И. Рязанцев, А.О. Антипов., Смирнова Е.А. – Коломна: ГОУ ВО МО ГСГУ, 2018. – 246 с.

2. Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. / Повышение надежности движения дождевальной машины «Кубань – ЛК1» // Сетевое электронное периодическое издание Депмелиорации Минсельхоза России и ФГБНУ ВНИИ «Радуга» Научно-практический журнал «Вестник мелиоративной науки» №2 2020. С. 35-38.

3. Рязанцев А.И. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий [Текст] / А. И. Рязанцев, А.О. Гаврилица. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 200 с.

4. Беляева Г.В. Совершенствование некоторых способов полива в США. М.: 1975 – 67 с.

5. Патент на полезную модель 183135 U1, 12.09.2018. Многоопорная дождевальная машина кругового действия: / Рязанцев А.И., Рембалович Г.К., Антипов А.О., Евсеев Е.Ю., Ахтямов А.А., Безносюк Р.В.: заявка №2018116248 от 28.04.2018.

6. Патент на изобретение 2768382 C1, 24.03.2022. Многоопорная дождевальная машина кругового действия: / Рязанцев А.И., Турапин С.С., Антипов А.О., Антипов О.В.: заявка №2021102287 от 01.02.2021.

7. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1» / Технические условия ТУ 4734-350-00008064-2005 // ФГНУ ВНИИ «Радуга» - Коломна, 2005.

References

1. Ryazantsev, A.I. Improving the operational performance of transport systems of multi–support machines [Text] / A.I. Ryazantsev, A.O. Antipov., Smirnova E.A. – Kolomna: GO VO MO GSU, 2018. - 246 p.

2. Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Antipov O.V., Antipov A.O. / Improving the reliability of the movement of the sprinkler machine "Kuban – LK1" // Network electronic periodical of the Depmelioration of the Ministry of Agriculture of Russia and the Federal State Budgetary Research Institute "Raduga" Scientific and Practical Journal "Bulletin of Meliorative Science" No. 2 2020. pp. 35-38.

3. Ryazantsev A.I. Optimization of wide-span circular sprinkler machines for difficult soil-relief conditions [Text] / A. I. Ryazantsev, A.O. Gavrilitsa. – Chisinau: Stiinza, 1991. – 200 p

4. Belyaeva G.V. Improvement of some irrigation methods in the USA. M.: 1975 – 67 p.

5. Patent for utility model 183135 U1, 12.09.2018. Multi-support circular sprinkler machine: / Ryazantsev A.I., Rembalovich G.K., Antipov A.O., Evseev E.Yu., Akhtyamov A.A., Beznosyuk R.V.: application No.2018116248 dated 28.04.2018.

6. Patent for invention 2768382 C1, 03/24/2022. Multi-support circular sprinkler machine: / Ryazantsev A.I., Turapin S.S., Antipov A.O., Antipov O.V.: application No. 2021102287 of 01.02.2021.

7. Sprinkler machine electrified circular "Kuban-LC1" / Technical specifications TU 4734-350-00008064-2005 // FGNU Research Institute "Rainbow" - Kolomna, 2005.

Информация об авторах

А.И. Рязанцев - доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ; А.Н. Зазуля - доктор технических наук, профессор; Е.Ю. Евсеев - ассистент кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов; О.В. Антипов – соискатель кафедры технологии металлов и ремонта машин; А.О. Антипов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. Ryazantsev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; A. Zazulya - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Evseev - Assistant of the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes; O. Antipov – Candidate of the Department of Metal Technology and Machine Repair; A. Antipov – 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): 18.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 15.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.333
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-42-49

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Ирина Евгеньевна Сиднева[1], Владимир Иванович Курдюмов[2]
[1,2] Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, г. Ульяновск, Россия.
[1]ira.sidnewa@yandex.ru
[2]bgdie@yandex.ru
[2]Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск, Россия.

Автор ответственный за переписку: Ирина Евгеньевна Сиднева, ira.sidnewa@yandex.ru
Corresponding author: Irina Sidneva, ira.sidnewa@yandex.ru

Реферат. *Большинство применяемых в настоящее время машин для внесения минеральных удобрений с центробежным рабочим органом не способны обеспечить достаточную равномерность распределения гранулированных удобрений на высокоскоростных режимах работы. В ходе исследования было установлено, что применение рабочего органа со спиралевидными лопастями вместо прямолинейных позволяет повысить качество внесения удобрений, а снабжение спиралевидных лопастей прямолинейными регулируемыми лопатками создает возможность применения такого рабочего органа при более высоких скоростях разбрасывания. Разработанный опытный образец был исследован, наряду с серийным диском разбрасывателя Jar-Met, при различных режимах работы: скорость машины - в пределах от 4 км/ч до 16 км/ч, угол установки лопатки от 0 до 20 градусов на лабораторно-испытательном комплексе. В качестве параметра оптимизации была выбрана дисперсия массы удобрений, приходящаяся на эталонную площадь: чем она меньше, тем выше равномерность распределения удобрений по поверхности. Экспериментальные исследования показали, что этот параметр у разработанного рабочего органа разбрасывателя, в несколько раз ниже, чем у серийного образца. Применение разработанного рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений на практике подтвердило результаты экспериментального исследования: урожайность пшеницы повысилась на 6,4 ц/га. Предлагаемый рабочий орган позволяет распределять минеральные удобрения по поверхности поля на более высоких скоростях с лучшей равномерностью, что обеспечивает подкормку без пропусков каждого растения при большей на 23,1 % производительности агрегата. Годовой экономический эффект на один модернизированный разбрасыватель при установленных в хозяйстве дозах внесения минеральных удобрений составил 96,7 тыс. рублей на 1 га сельхозугодий*.

Ключевые слова: *рабочий орган, разбрасыватель, минеральные удобрения.*

THE RESULTS OF RESEARCH FOR IMPROVING THE WORKING TOOL OF THE MINERAL FERTILIZER SPREADER

Irina Sidneva[1], Vladimir Kurdjumov[2]
[1,2] Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia.
[1]ira.sidnewa@yandex.ru
[2]bgdie@yandex.ru
[2] Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Air Marshal B.P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia.

Abstract. *Most of the currently used machines for applying mineral fertilizers with a centrifugal working body are not able to provide sufficient uniformity in the distribution of granular fertilizers at high speeds. It was found in the course of the study that the use of a working body with helical blades instead of straight ones improves the quality of fertilizer application, and the supply of helical blades with straight adjustable blades makes it possible to use such a working body at higher spreading speeds. The developed prototype was tested, along with a serial Jar-Met spreader disc, under various operating modes: machine speed - in the range from 4 km/h to 16 km/h, blade angle from 0 to 20 degrees at the laboratory test complex. The dispersion of the mass of fertilizers per reference area was chosen as an optimization parameter: the smaller it is, the higher the uniformity of fertilizer distribution over the surface. Experimental studies have shown that this parameter of the developed working body of the spreader is several times lower than that of the serial sample. The application of the developed working body of the mineral fertilizer spreader in practice confirmed the results of an experimental study: the wheat yield increased by 6.4 q/ha. The proposed working body makes it possible to distribute mineral fertilizers over the field surface at higher speeds with better uniformity, which ensures top dressing without skipping each plant at a 23.1% higher productivity of the unit. The annual economic effect per one modernized spreader at the doses of mineral fertilizers established in the farm amounted to 96.7 thousand rubles per 1 ha of agricultural land.*

Keywords: *working tool, spreader, mineral fertilizers.*

Для цитирования: Сиднева И.Е., Курдюмов В.И. Результаты исследования по совершенствованию рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений // Наука в Центральной России. 2022. № 6 (60), С. 42-49. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-42-49.

For citation: Sidneva I, Kurdjumov V. The results of research for improving rhe working tool of the mineral fertilizer spreader. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 42-49. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-42-49.

Введение. Качество распределения минеральных удобрений по поверхности почвы является основным фактором, определяющим эффективность применения минеральных удобрений. Неравномерность распределения удобрений приводит не только к потере урожая, но и к ухудшению плодородных свойств почвы, а также может иметь экологические последствия.

Вопросами улучшения равномерности распределения минеральных удобрений интересовались многие ученые, как в России, так и за рубежом [1-9].

Анализ работ российских и зарубежных ученых, выявивших, что проблема неравномерности внесения остается по-прежнему актуальной, позволил нам разработать собственную инновационную конструкцию рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений и теоретически обосновать его геометрические и режимные параметры. В ходе исследования было установлено, что применение рабочего органа со спиралевидными лопастями вместо прямолинейных позволяет повысить качество внесения удобрений, а снабжение спиралевидных лопастей прямолинейными лопатками с регулируемым углом установки создает возможность применения такого рабочего органа при более высоких скоростях разбрасывания. Новизна предложенного технического решения подтверждена двумя патентами РФ на полезные модели [10, 11].

Материалы и методы. На рисунке 1 показана 3D модель разработанного нами рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений.

По разработанной модели рабочего органа разбрасывателя был изготовлен опытный образец, который был установлен вместо серийного рабочего органа на однодисковый разбрасыватель фирмы JARMET. Затем были проведены экспериментальные исследования опытного образца рабочего органана равномерность распределения минеральных удобрений и выполнено сравнение полученных результатов с результатами распределения удобрений серийным рабочим органом.

При проведении экспериментального исследования использовали методику, разработанную компанией AMAZONE. При помощи лабораторно-испытательного комплекса, включающего навесной разбрасыватель минеральных удобрений Jar-Met, установленный на трактор (рисунок 2), комплект из улавливающих ковриков (рисунок 3) и приложение для смартфона, определяли массу

удобрений, попадающих на каждый коврик при разбрасывании.

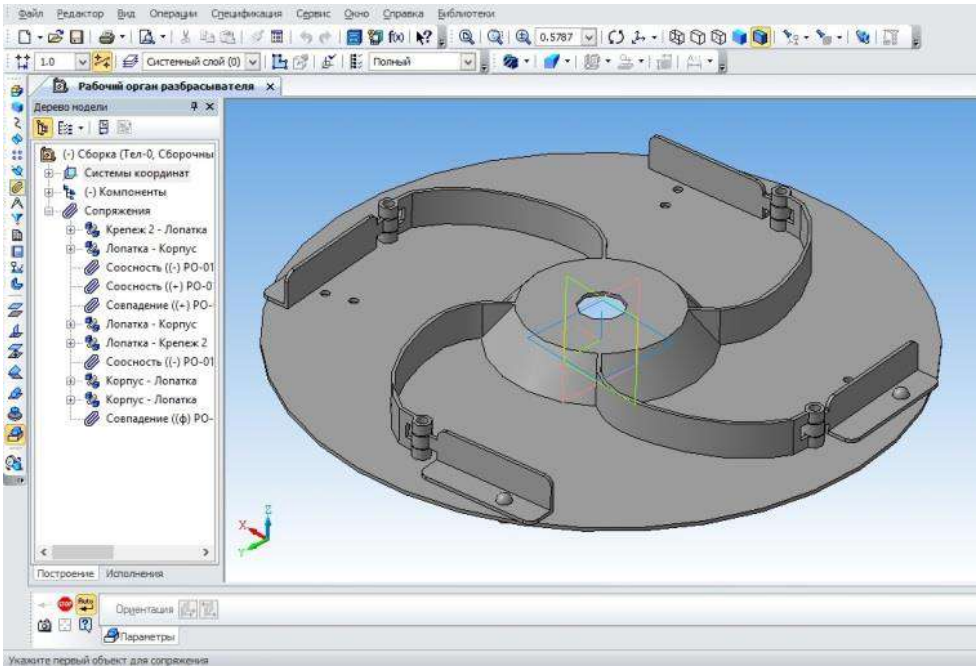


Рисунок 1 – 3-D модель рабочего органа разбрасывателя удобрений

Рисунок 2 – Опытный образец рабочего органа, установленный на серийный разбрасыватель удобрений

Разработанный нами образец был исследован, наряду с серийным диском разбрасывателя Jar-Met, при различных режимах работы: скорость машины - в пределах от 4 км/ч до 16 км/ч, угол установки лопатки от 0 до 20 градусов. Данные о независимых значимых факторах процесса разбрасывания удобрений представлены в таблице 1.

Рисунок 3– Исследования опытного образца разработанного рабочего органа разбрасывателя

Таблица 1 - Изменяемые факторы эксперимента

Угол установки лопаток в натуральных и кодированных (в скобках) значениях	Скорость, км/ч			
	4	8	12	16
0 (-1)	x	x	x	x
10 (0)	x	x	x	x
20 (+1)	x	x	x	x

В качестве параметра оптимизации была выбрана дисперсия массы удобрений, приходящейся на эталонный измерительный коврик: чем она меньше, тем выше равномерность распределения удобрений по поверхности.

Результаты и их обсуждение. Для каждого диска мы получили по 12 точек плана эксперимента, по которым построены зависимости дисперсии от угла установки лопатки и скорости машины (рис. 4, 5).

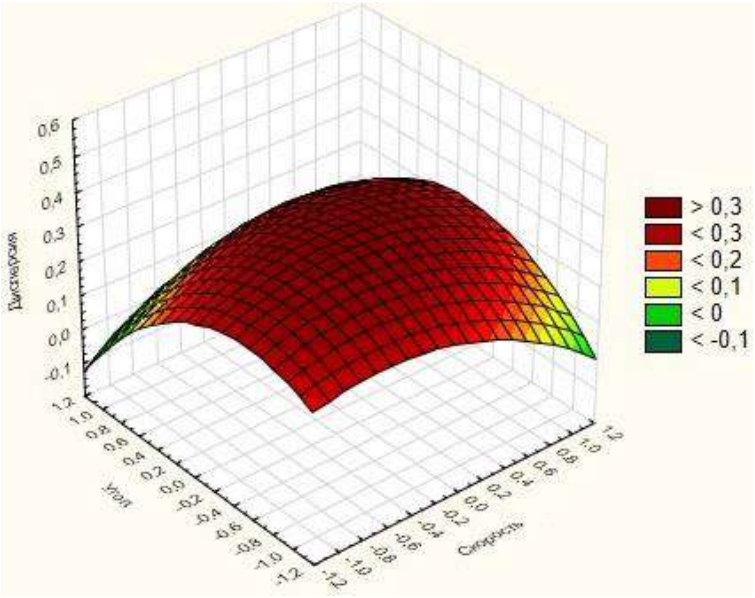


Рисунок 4 – Зависимость дисперсии экспериментального диска от угла установки лопатки и скорости движения разбрасывателя

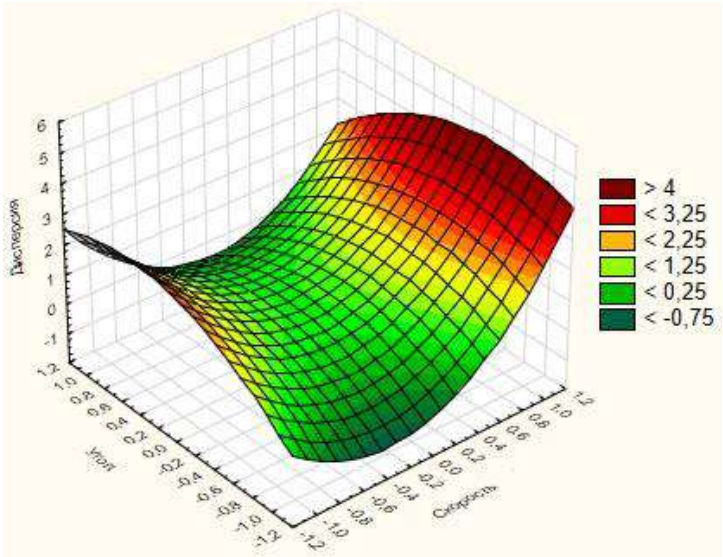


Рисунок 5 – Зависимость дисперсии для серийного диска от угла установки лопаток и скорости разбрасывателя

Из графиков (рис. 4, 5) видно, что у экспериментального диска дисперсия значительно ниже, чем у серийного, что свидетельствует о лучшем распределении удобрений по поверхности, чем при использовании серийного диска, причем на всех режимах работы разбрасывателя.

Из карты линий уровня, построенной для дисперсии экспериментального диска (рис. 6), видно, что наименьшая дисперсия наблюдается при максимальной скорости машины с минимальным углом установки лопаток, а также, наоборот, при минимальной скорости с максимальным углом установки лопаток. Данный факт, безусловно, является преимуществом разработанного нами рабочего органа, поскольку именно при этих режимах серийный диск показывает наибольшую дисперсию (рис. 7), что отрицательно сказывается на равномерности распределения удобрений.

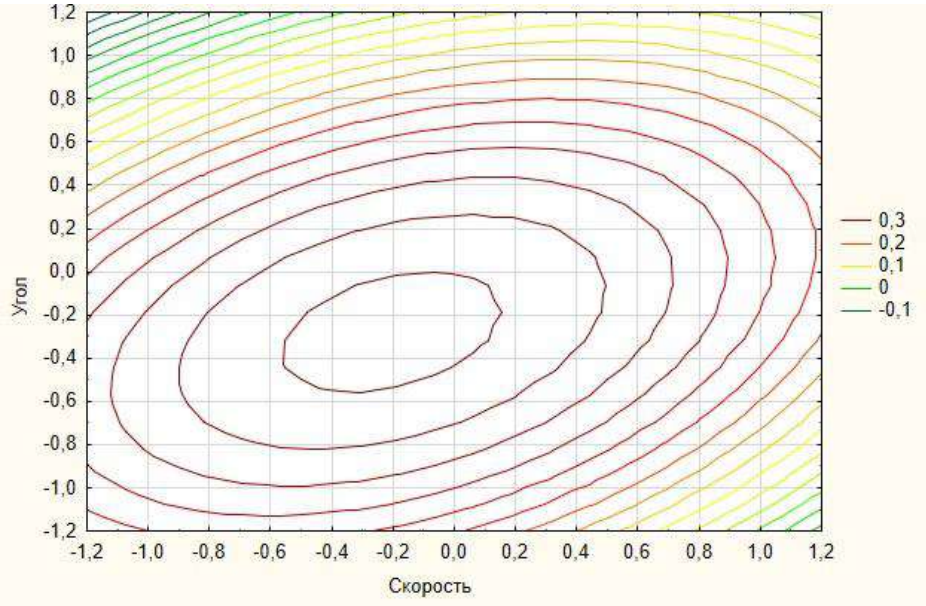


Рисунок 6 – Карта линий уровня для экспериментального диска в кодированных значениях факторов

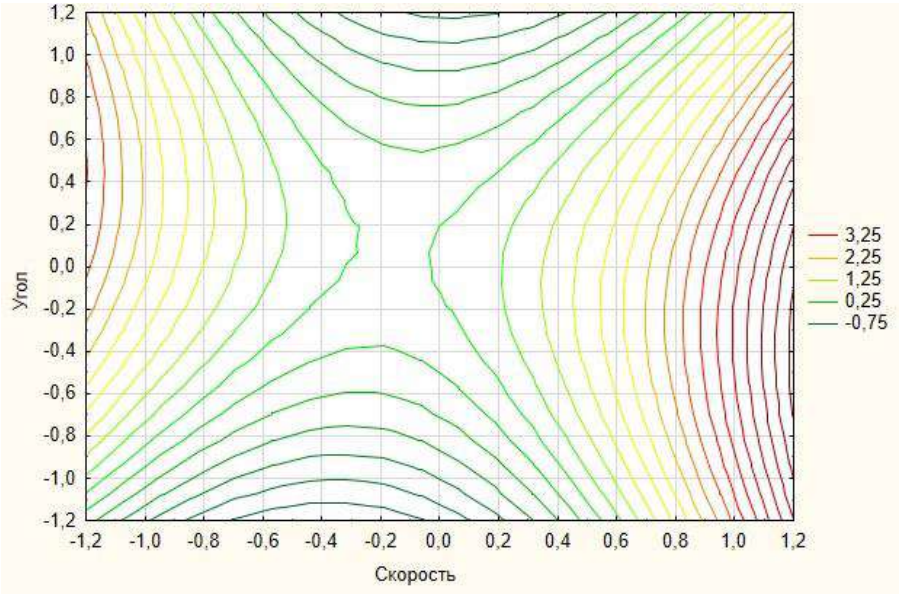


Рисунок 7 – Карта линий уровня для серийного диска кодированных значениях факторов

Таким образом, статистическая обработка результатов эксперимента показала, что разработанный нами рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений позволяет улучшить качество распределений удобрений по поверхности, что является важным фактором повышений урожайности.

Полевые опыты по определению влияния неравномерности поверхностного внесения минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы проводили в фермерском хозяйстве Макарова А.В. Чердаклинского района Ульяновской области.

Неравномерное внесение удобрений приводит к полеганию хлебов, более поздней готовности полей к уборке, к снижению производительности уборочных машин, к самоосыпанию зерна, а также к потерям при уборке из-за неподобранных колосьев и несрезанных стеблей.

Причем эти последствия особенно проявляются в годы с большим количеством осадков. Проведенные исследования позволили установить, что разбрасыватель с экспериментальным рабочим органом обеспечивает требуемую равномерность распределения удобрений по ширине захвата и по ходу движения агрегата. В результате урожайность пшеница повысилась на 15,3 % (на 6,4 ц/га) и составила 48,3 ц/га.

Технические характеристики сравниваемых средств механизации разбрасывания минеральных удобрений приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики сравниваемых разбрасывателей минеральных удобрений

Показатели	JM-500 (Польша)	Предлагаемый
Допустимая масса удобрений в бункере, кг	500	500
Доза вносимых удобрений	50…1500	50…1500
Частота вращения ВОМ, $с^{-1}$	540	540
Масса, кг	95	95
Диаметр диска, мм	445	440
Ширина захвата, м	6…9	6…9
Рекомендуемая рабочая скорость, км/ч	6…13	8…16

Заключение. Таким образом, предлагаемый рабочий орган позволяет распределять минеральные удобрения по поверхности поля на более высоких скоростях с лучшей равномерностью, что обеспечивает подкормку без пропусков каждого растения при большей на

4,2 га/ч или на 23,1 % производительности агрегата.

Годовой экономический эффект на один оснащенный предлагаемым нами рабочим органом разбрасыватель при установленных в хозяйстве дозах внесения минеральных удобрений составил 96,7 тыс. рублей на 1 га сельхозугодий.

Список источников

1. Высокоэффективная техника для энерго-, влаго-, ресурсосберегающих мировых технологий Mini-Till, No-Till в системе точного земледелия России: монография / В.А. Милюткин, В.Э. Буксман, М.А. Канаев. – Кинель: РИО Самарской ГСХА, 2018. – 182 с.

2. Методы повышения эффективности использования тракторных транспортно-технологических агрегатов / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Б.С. Зданович, Е.В. Соловьев, С.В. Соловьев. – Москва; Белгород: ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2017. – 161 с.

3. Parish Richard L. Review of Granular Applicators for Turfgrass // HortTechnologie, 2006, 16(3) // [электронныйресурс]:
https://www.researchgate.net/publication/277831878_Review_of_Granular_Applicators_for_Turfgrass.

4. Bansal R. K., Walker J. T., Gardisser D. R. Validating Fluent for the Flow of Granular Materials in Aerial Spreaders// Transactions of the ASAE, Vol. 41(1): 29-35.

5. Burwood-Taylor L. How fertilizer companies are using technology to stay relevant, 2019 [электронныйресурс]: https://agfundernews.com/how-fertilizer-companies-are-using-technology-to-stay-relevant.html.

6. Cool S., Pieters J.G., Mertens K.C. Image based techniques for determining spread patterns of centrifugal fertilizer spreaders// Agriculture and Agricultural Science Procedia/ Farm machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, 7th International Scientific Symposium// 2015, 7, p. 59-63.

7. Патент РФ № 173569, МПК A01C 15/00 Рабочий орган разбрасывателя гранулированных минеральных и органо-минеральных удобрений / Б.П. Беседин, Е.Ю. Колесников, А.А. Шварц; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», заявка № 2016142974, заявл. 31.10.2016; опубл. 31.08.2017, Бюл. № 25.

8. Патент РФ № 179534, МПК A01C 15/00. Разбрасыватель минеральных удобрений/ Д.Т. Халиуллин, Б.Г. Зиганшин, А.В. Дмитриев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВОКазанский ГАУ, заявка № 2017142174, заявл. 04.12.2017;опубл. 17.05.2018, Бюл. № 14.

9. Патент РФ № 191029, МПК A01C 17/00. Дисковый разбрасыватель гранулированных минеральных удобрений / М.А. Гайбарян, Н.Н. Новиков, В.И. Сидоркин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, заявка № 2019108461, заявл. 25.03.2019; опубл. 22.07.2019, Бюл. №21.

10. ПатентРФ № 194259, МПК A01C 17/00, A01B 15/16. Рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений / В.И. Курдюмов, И.Е. Сиднева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, заявка № 2019126062; заявл. 16.08.2019; опубл. 4.12.2019, Бюл. № 34.

11. Патент РФ № 194309, МПК A01C 17/00. Рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений / В.И. Курдюмов, И.Е. Сиднева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, заявка № 2019126064; заявл. 16.08.2019; опубл. 5.12.2019, Бюл. № 34.

References

1. Highly efficient equipment for energy-, moisture-, resource-saving world technologies Mini-Till, No-Till in the system of precision farming in Russia: monograph / V.A. Milyutkin, V.E. Buksman, M.A. Kanaev. - Kinel: RIO Samara State Agricultural Academy, 2018. - 182 p.

2. Methods for improving the efficiency of using tractor transport-technological units / N.F. Skuryatin, A.V. Bondarev, B.S. Zdanovich, E.V. Solovyov, S.V. Solovyov. - Moscow; Belgorod: LLC Central Collector of Libraries BIBCOM, 2017. - 161 p.

3. Parish Richard L. Review of Granular Applicators for Turfgrass // HortTechnologie, 2006, 16(3) // [electronic resource]:
https://www.researchgate.net/publication/277831878_Review_of_Granular_Applicators_for_Turfgrass.

4. Bansal R. K., Walker J. T., Gardisser D. R. Validating Fluent for the Flow of Granular Materials in Aerial Spreaders// Transactions of the ASAE, Vol. 41(1): 29-35.

5. Burwood-Taylor L. How fertilizer companies are using technology to stay relevant, 2019 [electronic resource]:https://agfundernews.com/how-fertilizer-companies-are-using-technology-to-stay-relevant.html.

6. Cool S., Pieters J.G., Mertens K.C. Image based techniques for determining spread patterns of centrifugal fertilizer spreaders// Agriculture and Agricultural Science Procedia/ Farm machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, 7th International Scientific Symposium// 2015, 7, p. 59-63.

7. Patent of the Russian Federation No. 173569, IPC A01C 15/00 The working body of the spreader of granular mineral and organo-mineral fertilizers / B.P. Besedin, E.Yu. Kolesnikov, A.A. Schwartz; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov", application No. 2016142974, application. 10/31/2016; publ. 08/31/2017, Bull. No. 25.

8. RF patent No. 179534, IPC A01C 15/00. Mineral fertilizer spreader / D.T. Khaliullin, B.G. Ziganshin, A.V. Dmitriev; applicant and patent holder FGBOU VOKazan State Agrarian University, application No. 2017142174, dec. 12/04/2017; publ. May 17, 2018, Bull. No. 14.

9. RF patent No. 191029, IPC A01C 17/00. Disk spreader of granulated mineral fertilizers / M.A. Gaibaryan, N.N. Novikov, V.I. Sidorkin; applicant and patent holder FGBNU FNATS VIM, application No. 2019108461, dec. 03/25/2019; publ. 07/22/2019, Bull. No. 21.

10. RF patent No. 194259, IPC A01C 17/00, A01B 15/16. The working body of the spreader of mineral fertilizers / V.I. Kurdyumov, I.E. Sidneva; applicant and patent holder FGBOU VO Ulyanovsk State Agrarian University, application No. 2019126062; dec. 08/16/2019; publ. 4.12.2019, Bull. No. 34.

11. RF patent No. 194309, IPC A01C 17/00. The working body of the spreader of mineral fertilizers / V.I. Kurdyumov, I.E. Sidneva; applicant and patentee Ulyanovsk State Agrarian University, application No. 2019126064; dec. 08/16/2019; publ. 5.12.2019, Bull. No. 34.

Информация об авторах

В.И. Курдюмов – доктор технических наук, профессор, И.Е. Сиднева – аспирант.

Information about the authors

V. Kurdjumov. - Doctor of Technical Sciences, professor; I. Sidneva – graduate student.

Вклад авторов: И.Е. Сиднева – сбор материала, обработка материала, написание статьи.
В.И. Курдюмов – научное руководство, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: I. Sidneva - collecting material, processing the material, writing an article. V. Kurdjumov - scientific guidance, scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 17.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.363.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-50-59

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ

Анатолий Тимофеевич Лебедев[1], Бадма Катинович Салаев[2], Баатр Канурович Болаев[3], Юрий Немеевич Арылов[4], Павел Анатольевич Лебедев[5], Николай Александрович Рыбалкин[6]
[1,2,3,4] Калмыцкий государственный университет, Республика Калмыкия, г. Элиста
[5,6] Ставропольский государственный аграрный университет, Ставропольский край, г. Ставрополь
[5]zoya_lebedeva@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Павел Анатольевич Лебедев, zoya_lebedeva@mail.ru
Corresponding author: Pavel Lebedev, zoya_lebedeva@mail.ru

Реферат. *Качество и надежность технологического процесса приготовления кормовых смесей оказывает существенную роль как на свойства изготавливаемого продукта, так и на продуктивность животных. Применение стандартных конструкций смесителей, как правило не обеспечивает качества смесей, экономичности, эффективности и приводит к увеличению энергетических затрат на реализацию технологического процесса. Не смотря на наличие большого разнообразия в конструкциях смесителей, необходимость новых разработок смесителей остается актуальной проблемой, связанной с постоянным повышением требований к однородности кормовых смесей. При приготовлении комбинированных кормов собственного производства степень однородности должна составлять 90…95%. Исследование процесса смешивания выполнены для двухвального лопастного смесителя непрерывного действия. При проведении исследований были рассмотрены три варианта работы лопастного смесителя, отличающихся друг от друга количеством и размерами лопастей. Наибольшая интенсивность смесеобразования была в смесителе с лопастями меньшей ширины, но при этом период сегрегации составлял более 50%. Во всех вариантах 30…50% времени затрачивается на конвективное смешивание. Качественное смесеобразование будет обеспечиваться за счет увеличения количества силовых воздействий лопастей в элементарных зонах смешивания, которые определяют общую длину смесителя непрерывного действия. Получена новая теоретическая зависимость кинетики смешивания в лопастном смесителе непрерывного действия. Формула показывает, что повышение однородности готовой кормосмеси можно осуществить за счет управления процессом смесеобразования и усовершенствованием рабочих органов смесителей. Эффективность процесса смешивания обеспечивается сначала созданием предварительного значения однородности смеси Θ_0, за пределами камеры смешивания, и последующей вариацией параметров смесителя для обеспечения требуемого качества кормосмеси. Полученная зависимость положена в основу нового способа гравитационного смешивания и устройства для его осуществления.*

Ключевые слова: *качество, корм, кормовая смесь, смешивание, смеситель, лопастной смеситель.*

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF MIXING FEED MIXTURES

Anatoly Lebedev [1], Badma Salaev [2], Baatr Bolaev [3], Jury Arylov [4], Pavel Lebedev [5], Nikolai Rybalkin[6]
[1,2,3,4] Kalmyk State University, Republic of Kalmykia, Elista city
[5,6] Stavropol State Agrarian University, Stavropol Territory, Stavropol city
[5]zoya_lebedeva@mail.ru

Abstract. *The quality and reliability of the technological process of preparing feed mixtures has a significant role both on the properties of the manufactured product and on the productivity of animals. The use of standard mixer designs, as a rule, does not ensure the quality of mixtures, economy, efficiency and leads to an increase in energy costs for the implementation of the technological process. Despite the presence of a wide variety in mixer designs, the need for new mixer developments remains an urgent problem associated with the constant increase in requirements for the uniformity of feed mixtures. When preparing combined feeds of own production, the degree of uniformity should be 90...95%. The study of the mixing process was carried out for a two-shaft bladed mixer of continuous operation. During the research, three variants of the operation of the paddle mixer were considered, differing from each other in the number and size of the blades. The greatest intensity of mixing was in a mixer with smaller blades, but at the same time the segregation period was more than 50%. In all variants, 30...50% of the time is spent on convective mixing. High-quality mixing will be ensured by increasing the number of force impacts of the blades in the elementary mixing zones, which determine the total length of the continuous mixer. A new theoretical dependence of the mixing kinetics in a continuous-action paddle mixer is obtained. The formula shows that increasing the uniformity of the finished feed mixture can be achieved by controlling the mixing process and improving the working bodies of mixers. The efficiency of the mixing process is ensured first by creating a preliminary value of the homogeneity of the mixture Θ_0, outside the mixing chamber, and then by varying the mixer parameters to ensure the required quality of the feed mixture. The obtained dependence is the basis for a new method of gravitational mixing and a device for its implementation.*

Keywords: *quality, feed, feed mixture, mixing, mixer, paddle mixer.*

Для цитирования: Лебедев А.Т., Салаев Б.К., Болаев Б.К., Арылов Ю.Н., Лебедев П.А., Рыбалкин Н.А. Интенсификация процесса смесеобразования кормовых смесей // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 50-59. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-50-59.

For citation: Lebedev A., Salaev B., Bolaev B., Arylov J., Lebedev P., Rybalkin N. Intensification of the process of mixing feed mixtures. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 50-59. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-50-59.

Введение. В настоящее время перед сельскохозяйственными предприятиями, занимающихся животноводством, стоит основная задача по обеспечению кормов, следующим параметрам: питательность, вкус, чистота, легкая перевариваемость и хорошая усвояемость. Наличие в кормах и кормовых смесях вредных примесей или веществ, которые могут оказать негативное влияние на здоровье или будут оказывать негативные последствия на конечное качество выращиваемой продукции животноводства, - не допустимо.

Известно, что организм животных способен перерабатывать в продукцию лишь 20...25% энергии корма. Повышение продуктивности до 10%, а также снижение расхода корма до 20% на единицу продукции, обеспечивается при кормлении животных с использованием кормовых смесей.

Комбикормовая промышленность изготавливает корма, которые обогащены микроэлементами, витаминами, а также различными лечебными и профилактическими препаратами. Для того, чтобы создать не только надежную, но и сбалансированную кормовую базу, необходимо учитывать важность операции смешивания компонентов. Качество и надежность процесса приготовления кормовых смесей оказывает существенную роль как на качество изготавливаемого продукта, так и на продуктивность животных.

Технологический процесс смешивания кормовых смесей реализуется за счет применения технических средств – смесителей. В настоящее время существует большое количество типов и модификаций используемых смесителей, но у всех имеющихся конструкций имеется ряд недостатков, в том числе относящихся к качеству изготавливаемых смесей. Основной причиной низкого качества смесей, приготавливаемых в имеющихся смесителях, является большое количество факторов, которые оказывают влияние на смешивание сыпучих материалов, а также недостаточная теоретическая подготовка. Возникающие трудности приводят к получению смеси имеющей низкое качество, полученной с большими энергетическими затратами и высокой

металлоёмкостью конструкции смесителя, что также влияет на низкую экономическую эффективность.

Применение стандартных конструкций смесителей, как правило не обеспечивает качества смесей, экономичности, эффективности и приводит к увеличению энергетических затрат на реализацию технологического процесса.

Не смотря на наличие большого разнообразия в конструкциях смесителей, необходимость новых разработок смесителей остается актуальной проблемой, связанной с постоянным повышением требований к однородности кормовых смесей. Развивающаяся животноводческая отрасль старается достичь повышения качества конечной продукции и продуктивности животных, что в свою очередь невозможно без обеспечения высококачественными сбалансированными кормовыми смесями.

Производство продукции животноводства сопровождается рядом затрат, основная доля которых приходится на корм. По различным источникам, в структуре себестоимости единицы продукции животноводства на корм или кормовые смеси приходится до 75%. В настоящее время доказано, что применение сбалансированных кормовых смесей позволяет увеличить продуктивность животных до 30%. Кроме того, использование кормовых смесей обеспечивает снижение расхода корма до 20%. Сухие кормовые смеси составляют основной рацион таких групп животных, как свиней до 90%, для птиц до 100%. Меньшую долю сухих кормов можно наблюдать в рационе крупного рогатого скота, которая составляет не более 30%. Высокое качество и эффективность сухих кормовых смесей обеспечивается за счет большого количества компонентов, входящих в состав кормовой смеси, и как правило, в разном процентном соотношении. Для получения максимального качества кормовых смесей необходимо применений смесителей. Известные типы и конструкции смесителей в целом способны обеспечить необходимую однородность кормовой смеси, но при этом процесс смесеобразования сопровождается большими удельными затратами энергии. На наш взгляд снижение затрат энергии на единицу корма возможно за счет усовершенствования рабочих органов смесителей и управления самим процессом смешивания.

Как уже было сказано применение кормовых смесей с биологическими добавками существенно влияет на прирост живой массы животных. Качество и эффективность кормовых смесей зависит от степени однородности получаемой при смешивании. Исходя из этого можно сказать, что целевым назначением процесса смешивания является создание внешних сил, направленных на перегруппировку и равномерное распределение частиц каждого компонента по всему объёму смеси. Для реализации этих целей применяются различные типы и конструкции смесителей кормов [1, 2, 3, 4, 6]. На наш взгляд наиболее перспективными типами смесителей являются лопастные (рисунок 1), которые способны сгладить колебания и неравномерность при работе дозирующих систем.

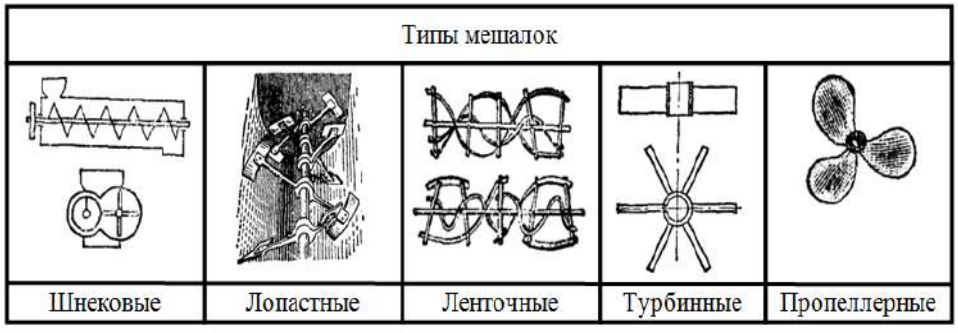


Рисунок 1 - Схемы лопастных мешалок

Исходя из справочной литературы можно сделать вывод, что для различных видов животных, а также их возраста, степень однородности кормовой смеси варьирует в широких пределах. Для комбинированных кормов собственного производства степень однородности должна составлять 90…95% [6, 7]. При непрерывном процессе смешивания, образование смеси необходимо завершить за отрезок времени, соответствующий длине смесителя при перемещении всех

исходных компонентов от их загрузки до выгрузки из смесителя. Несмотря на то, что это является отличительной особенностью работы таких смесителей, но требования к степени однородности смесей не изменяются.

Материалы и методика. Для совершенствования процесса смесеобразования использована обобщенная модель формирования эффективности технологического процесса (ТП), согласно которой, все ТП разделены на пять ключевых процессов, которые характеризуют общие закономерности развития и общую конечную цель каждого из них [8]. Процесс смешивания относится к третьему ключевому процессу, - «*перераспределения и создания заданного соотношения между частицами материалов*», главной целью которого является в принципе не сложная задача - создание в заданном объеме готового продукта требуемой концентрации (соотношения) исходных компонентов. Рассматривая «триаду» В. П. Горячкина в обобщенной модели, можно отметить, что рабочие поверхности смесителя, как сложной системы, относятся к РП, контактирующих с материалом. Основными способами управления их эффективности является форма и режимы работы таких поверхностей. Получение готовой смеси является завершающим результатом работы рассмотренной системы [5]. В связи с этим за показатель надежности процесса смешивания, который характеризует его завершённость, следует принять соответствие степени однородности смеси Θ заданной [8]. Контактное взаимодействие лопастей с компонентами исходного материала при смешивании характеризуется процессом передачи определенного импульса энергии частицам кормосмеси, организованного так, чтобы весь силовой поток, исходящий от рабочих поверхностей лопастей, был направлен не только на взаимное перераспределение частиц и обеспечение качественного смесеобразования, но и продольное перемещение смеси вдоль оси смесителя от места загрузки к выходному отверстию. Выполняя указанные условия, рабочие поверхности лопастей смесителя реализуют свое *целевое назначение* в условиях процесса непрерывного смесеобразования [1]. Рабочие органы смесителя обеспечивают непрерывное приготовление заданного объёма готовой кормовой смеси в соответствии с требуемой степенью однородности.

Специфические особенности исходных компонентов, применяемых для приготовления кормовых смесей, характеризуют смешивание как сложный вероятностный процесс. Применяемые режимы смешивания кормов основываются на данных, полученных экспериментально при определенных условиях. Однако, процессы равномерного распределения компонентов имеют общую закономерность. Данные процессы можно описать экспоненциальной зависимостью. Основываясь на анализе актуальных исследований процессов образования смеси, а также представляя процесс смешивания как совокупность однотипных последовательно чередующихся друг за другом элементарных актов силового воздействия рабочего органа на смешиваемый материал, получено следующее уравнение кинетики процесса смешивания:

$$\Theta = 1 - e^{-J \cdot Z}, \quad (1)$$

где J - эффективность элементарного воздействия лопастей;

Z - количество элементарных зон смешивания.

Под параметром J понимается функционал, который, наряду со свойствами смешиваемых материалов, учитывает в общем виде форму рабочих органов и условия продвижения смеси к выгрузному отверстию и другие параметры. Кроме того, в основе физической сущности этого параметра положена способность лопастей смесителя рационально направить поток подводимой энергии не на ее поглощение и уплотнение исходной структуры, а на свободное перераспределение частиц между собой. Это необходимо для создания требуемой однородности готовой смеси, то есть интенсификации процесса смесеобразования при каждом силовом воздействии рабочих органов смесителя. При этом каждое силовое воздействие одиночного рабочего органа за время контактирования и воздействия на материал, представлено в виде элементарного смесительного акта, в результате которого происходит изменение текущего значения однородности смеси.

Под количеством элементарных зон смешивания на заданной длине смесителя понимается часть его длины, в которой размещаются рабочие органы смесителя, реализующие свое целевое

назначение для достижения требуемой однородности смеси в процессе непрерывного смесеобразования. Теоретически этот параметр определяется по зависимости

$$Z = \frac{L}{k_в \cdot b_л \cdot \sin\alpha} \cdot, \quad (2)$$

где L – длина смесителя, м;

$k_В$ - коэффициент, учитывающий зону возбуждения материала;

$b_л$ - ширина лопасти смесителя, м;

α - угол установки лопасти к направлению движения град;

Результаты и их обсуждение. Анализируя зависимость (1) можно сделать вывод о том, что требуемая однородность смеси быстрее достигается, если одновременно увеличивать и эффективность силового воздействия J и количество элементарных зон смешивания Z. Увеличение параметра J возможно как изменением режимов работы лопастей (что вполне возможно на практике), так и изменением параметров формы рабочих поверхностей лопастей (что в большей степени связано с полной модернизацией существующего смесителя, или его замены на другую модель). Увеличение параметра Z может происходить, согласно формуле 2, как при увеличении, так и при уменьшении ширины элементарной зоны, за счет изменения ширины лопасти смесителя $b_л$, так как она устанавливается с учетом обеспечения непрерывного процесса смесеобразования [1, 8]. Как видно из представленного фрагмента, изменение степени однородности смеси происходит в каждой элементарной зоне смешивания лопастного смесителя, в первую очередь, за счет интенсификации смесительного акта, а эффективность, или не эффективность такого силового воздействия, можно оценить лишь после завершения процесса. Поэтому, нами предлагается уточнить рассмотренную зависимость и представить ее в следующем виде

$$\Theta = 1 - e^{-\Omega \cdot Z}, \quad (3)$$

где Ω - интенсивность смесеобразования в каждой элементарной зоне.

Параметр Z также представляет собой количество элементарных зон по длине смесителя, ширина каждой из которых определяется плоскостями, перпендикулярными оси смесителя и ограничивающими каждую лопасть смесителя, с учетом угла их установки и коэффициента $k_В$, учитывающего зону возбуждения материала.

Рассмотрим несколько вариантов работы смесителей, имеющих одинаковую длину. Для этого воспользуемся экспериментальными данными, полученными в работе [1, 8]. Для анализа принят двухвальный смеситель со следующими конструктивными параметрами: длина 2,1 м, ширина 0,25 м, радиус лопастей 0,1 м, расстояние между соседними отверстиями на валах 0,03 м через каждые 90^0. На рисунках (2), (3), и (4) представлены три варианта работы смесителя с лопастями, имеющих, соответственно, ширину b_1, b_2, b_3. При этом выполняется условие $b_1 \leq b_2 \leq b_3$.

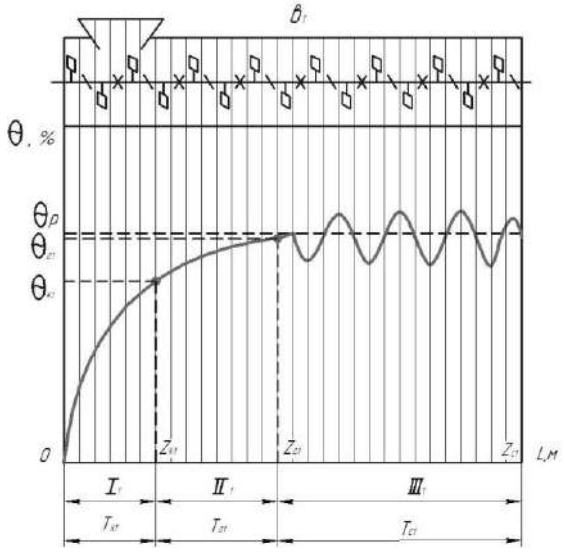


Рисунок 2 - Схема смесителя (вариант 1) и изменение степени однородности смеси *(Θ)* по его длине

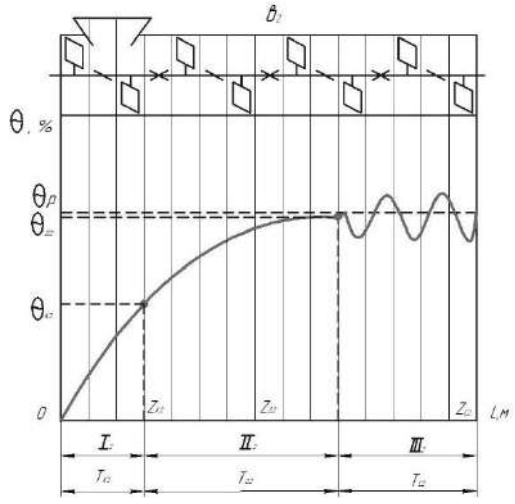


Рисунок 3 - Схема смесителя (вариант 2) и изменение степени однородности смеси *(Θ)* по его длине

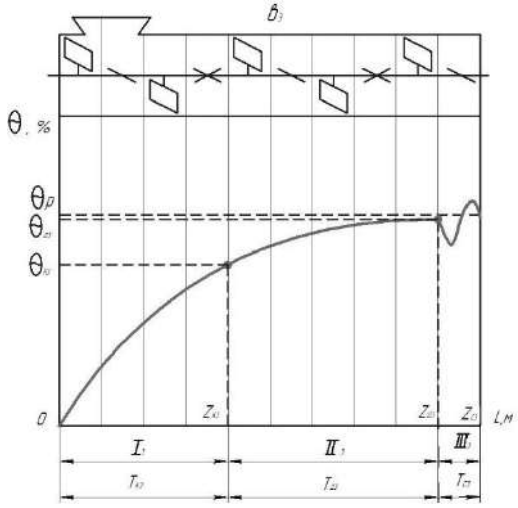


Рисунок 4 – Схема смесителя (вариант3) и изменение степени однородности смеси *(Θ)* по его длине

Расстановка лопастей, отличающихся по ширине, должна обеспечивать непрерывность перемещения смешиваемой массы вдоль оси смесителя к выгрузному отверстию и равномерность выгрузки. Для каждого из вариантов представлена зависимость степени однородности $\boldsymbol{\Theta}$ по длине смесителя, на каждой из которых можно выделить три характерные участка: конвективное смешивание *(I_1, I_2, I_3)*, диффузионное смешивание *(II_1, II_2, II_3)* и сегрегация частиц (*III_1, III_2, III_3*). Первые два процесса направлены на равномерное распределение частиц смеси, т.е. способствуют улучшению ее качества, последний, - препятствует образованию такой смеси. Все три процесса в смесителе протекают одновременно, но их роль в различные периоды смешивания различна [8, 9].

В начале процесса преобладает конвективное смешивание, которое характеризуется периодом *($T_{к1}$, $T_{к2}$, $T_{к3}$)*. Завершенность этого периода характеризуется интенсивным перераспределением исходных компонентов в зоне загрузки, но это не приводит к завершению процесса. На следующем этапе, - этапе диффузионного смешивания, - происходит сглаживание флуктуаций дозирующих систем и окончательно формируется требуемая однородность смеси. В течение этого периода *($T_{Д1}$, $T_{Д2}$, $T_{Д3}$)*, по-сути завершается процесс смешивания. Далее, совместно с диффузионным смешиванием проявляется и процесс сегрегации частиц *(Tc_1, Tc_2, Tc_3)*.

В реальных условиях все эти процессы неизбежны, но при определенном уравновешивании последних стадий силовое воздействие лопастей не приводит к улучшению качества смеси, а дальнейшее продолжение процесса приводит только к увеличению затрат. Как показывает практика, в этот период смешивание необходимо завершить и осуществить выгрузку готовой смеси. При этом, «…длительность диффузионного смешивания зависит не только от параметров смесителя и режимов его работы, но и от физико-механических свойств компонентов, из которых наибольшее значение имеют гранулометрический состав, плотность, форма, состояние поверхности частиц, их влажность, сыпучесть. Смешивание происходит эффективнее в том случае, когда указанные свойства достаточно близки друг к другу. Большее различие в плотности и размерах способствует сегрегации частиц. Существенно также количество компонентов и их соотношение. С увеличением числа компонентов их доля уменьшается, процесс смешивания затрудняется. Особенно увеличивается продолжительность смешивания при наличии компонентов, входящих в состав смеси в малых количествах. Компоненты, имеющие большую дисперсность, распределяются лучше, так как в единице объема содержание частиц более значительно» [8].

Все эти общие закономерности следует учитывать при организации процесса смешивания и настройке смесительного оборудования. Для дальнейшего анализа представим полученные зависимости по трем вариантам на рисунке 5.

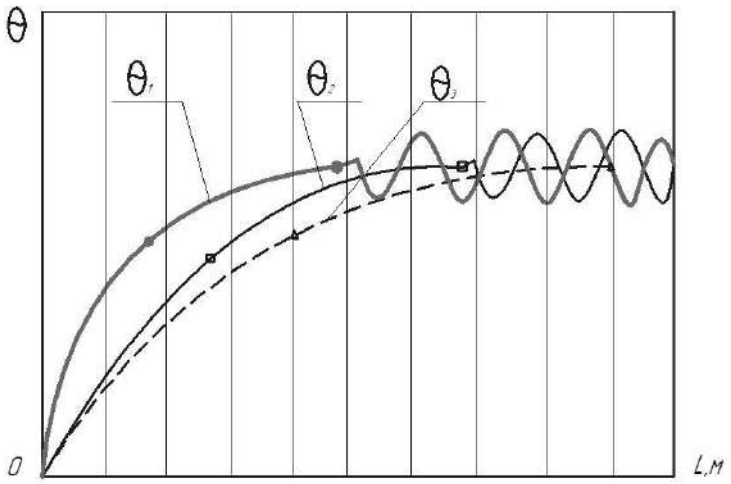


Рисунок 5 - Изменение степени однородности смеси *(Θ)* по длине смесителя при разной интенсивности смесеобразования в каждой зоне *(Ω)*

Анализ рисунка 5 позволяет сделать несколько важных выводов и рекомендаций:

- самая высокая интенсивность смесеобразования Ω наблюдается в первом варианте при работе лопастей, имеющих меньшую ширину, но при этом период сегрегации частиц, или период бесполезного смешивания, составляет более 50%;

- в каждом варианте около 30…50% времени затрачивается на конвективное смешивание (при условии исключения длительности работы в зоне сегрегации частиц), которое расходуется на перераспределение больших объёмов дозируемых компонентов в камере смесителя, то есть каждая элементарная зона смешивания превращается в большей степени в транспортирующий, а не смешивающий элемент;

- при соответствующих значениях интенсивности смесеобразования Ω значение степени однородности смеси $\boldsymbol{\Theta}$ изменяется от нулевого до максимального значения за счет увеличения количества силовых воздействий лопастей в элементарных зонах смешивания, которые определяют общую длину смесителя непрерывного действия.

Анализируя представленные зависимости (рис.5) и предыдущие графики, можно заключить, что если начало смешивания в камере смесителя вынести за его пределы, т.е. создать первоначальную однородность смеси, то из общей длительности смешивания можно исключить какую-то величину периода $T_к$, обеспечивая тем самым величину $\boldsymbol{\Theta_0}$. Имея постоянные значения интенсивности смесеобразования Ω_i для каждого конкретного варианта процесса смешивания математически это можно осуществить сдвигом общей зависимости влево до пересечения ее с вертикальной осью. Воспользуемся известным из высшей математики приемом параллельного переноса осей для математической зависимости. Применительно к кинетике процесса смешивания система уравнений определения координат точки исследуемой зависимости степени однородности от количества зон смешивания, будет представлена в следующем виде

$$\begin{cases} \theta = \theta_1 + \mathrm{A} \\ Z = Z_1 + Z_0 \end{cases}, \quad (4)$$

где Θ, Θ_1, Z, Z_1 – соответственно значения однородности смеси и количества зон смешивания рассматриваемой точки процесса в существующей и предлагаемой системе координат после ее смещения;

A, Z_0 – величина смещения центра новой системы координат по осям однородности смеси и количества зон смешивания, соответственно.

С учетом того, что оси координат смещаются только вдоль оси количества зон смешивания на величину, соответствующую начальной степени однородности $\boldsymbol{\Theta_0}$, параметр A=0. Тогда, решая данную систему уравнений получили аналитическую зависимость кинетики процесса смешивания в лопастных смесителях непрерывного действия, которую можно представить в следующем виде

$$\Theta = 1 - e^{-\Omega \cdot (Z + Z_0)}, \quad (5)$$

где Z_0 –количество зон смешивания, соответствующее начальному значению степени однородности смеси Θ_0, исходных компонентов, поступающих в смеситель;

$Z=Z_1$ – текущее значение количества зон смешивания в реальном смесителе.

Анализ зависимости показывает, что в начале смешивания, когда исходные компоненты только подаются из дозаторов, смеситель еще не приступил к работе, и в этом случае Z=0, а степень однородности смеси равна Θ_0. При $Z_0=0$, имеет место работа смесителя без предварительного смешивания и в этом случае формула (5) соответствует уравнению (3), т.е. в начальный момент работы однородность смеси приближается к нулевым значениям.

Заключение. Выполненные в данной работе экспериментально-теоретические исследования, позволили получить новую теоретическую зависимость кинетики процесса смешивания в лопастном смесителе непрерывного действия. Согласно этой зависимости, повышение однородности готовой кормосмеси можно осуществить за счет управления процессом смесеобразования и усовершенствования рабочих органов смесителей. Повышение эффективности процесса обеспечивается на этапе предварительного смешивания созданием начального значения однородности смеси Θ_0, за пределами камеры смешивания. Далее интенсифицируя процесс смесеобразования вариацией параметров смесителя (длины, ширины лопастей и др.) достигается требуемое качество кормосмеси. Для практической реализации полученных результатов теоретических исследований нами предложен новый способ гравитационного смешивания и устройство для его осуществления. Новизна технического решения защищена патентом на изобретение RU 2603670 [5].

Список источников

1. Рыбалкин Н.А. Совершенствование процесса смешивания кормов в лопастном смесителе / Рыбалкин Н.А., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В.// Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 3 (27). С. 78-84.

2. Рыбалкин Н.А. Горизонтальный смеситель материалов/ Рыбалкин Н.А., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В..// Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 6 (106). С. 785-791

3. Kolesnikov A., Pastukhov A., Vodolazskaya N., Minasyan A. Research in parameters of working process of interfusing in batcher mixer (Исследование параметров рабочего процесса смешивания в дозаторе-смесителе) // Engineering for rural development / Proceedings, Vol / 18,: Изд-во / Latvia University of Life Sciences and Technologies/ Jelgava, 2019 P. 487 492. ISSN 1691-5976, DOI: 10.2261 6 / ERDev2019.18. N033.

4. Lobanov D.V., Efremov I.M., Lobanova A.N., Popov E.V. Description of the process of vibrational mixing of elastoviscoplastic multicomponent mixtures // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53, № 7-8, November. P. 495-500.

5. Пат. 2603670 Российская Федерация, МПК B C1. Гравитационный способ смешивания сыпучих материалов и устройство для его осуществления/ Лебедев А.Т., Очинский В.В., Павлюк Р.В., Захарин А.В., Магомедов Р.А., Лебедев П.А., Марьин Н.А., Искендеров Р.Р., Рыбалкин Н.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ. № 2015122079/05 от 09.06.2015

6. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Ye. Z. Mateyev, D. B. Shalginbayev, S. Z. Mateyeva, M. V. Kopylov, A. N. Ostrikov, V. N. Vasilenko // EuroAsian Journal of BioSciences. 2019. Volume 13 Issue 2, pp. 1875-1880

7. Current Status and Development of Production Technologies of Multicomponent Mixtures of Bulk Materials in Large Volumes / V. Ya. Borshchev, T.A. Sukhorukova // Advanced Materials & Technologies.2018.01.pp.069-077 DOI: 10.17277.

8. Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления совершенствования эксплуатации и ремонта машин и оборудования сельскохозяйственного производства: дис. д-ра техн. наук / Лебедев А.Т. Зерноград: АЧГАА, 2012. – 474 с.

9. Суханова, М.В. Процесс смешивания - необходимая составляющая экосистемы: корма - смеситель - животное - человек / Научные труды Института непрерывного профессионального образования. 2015. №5. С. 283-287.

References

1. Rybalkin N.A. Improving the process of mixing feed in a paddle mixer / Rybalkin N.A., Lebedev A.T., Pavlyuk R.V.// Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2020. No. 3 (27). pp. 78-84.
2. Rybalkin N.A. Horizontal material mixer/ Rybalkin N.A., Lebedev A.T., Pavlyuk R.V.// Scientific life. 2020. V. 15. No. 6 (106). pp. 785-791
3. Kolesnikov A., Pastukhov A., Vodolazskaya N., Minasyan A. Research in parameters of working process of interfusing in batcher mixer // Engineering for rural development./ Proceedings, Vol / 18 ,: Publishing house / Latvia University of Life Sciences and Technologies / Jelgava, 2019 P. 487 492. ISSN 1691-5976, DOI: 10.2261 6 / ERDev2019.18.N033.
4. Lobanov D.V., Efremov I.M., Lobanova A.N., Popov E.V. Description of the process of vibrational mixing of elastoviscoplastic multicomponent mixtures // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53, No. 7-8, November. P. 495-500.
5. Pat. 2603670 Russian Federation, IPC B C1. Gravitational method of mixing bulk materials and a device for its implementation / Lebedev A.T., Ochinsky V.V., Pavlyuk R.V., Zakharin A.V., Magomedov R.A., Lebedev P.A., Maryin N. A., Iskenderov R.R., Rybalkin N.A.; applicant and patent holder FGBOU VPO Stavropol State Agrarian University. No. 2015122079/05 of 06/09/2015N.A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Stavropol'skij GAU. № 2015122079/05 ot 09.06.2015
6. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Ye. Z. Mateyev, D. B. Shalginbayev, S. Z. Mateyeva, M. V. Kopylov, A. N. Ostrikov, V. N. Vasilenko // EuroAsian Journal of BioSciences. 2019. Volume 13 Issue 2, pp. 1875-1880
7. Current Status and Development of Production Technologies of Multicomponent Mixtures of Bulk Materials in Large Volumes / V. Ya. Borshchev, T.A. Sukhorukova // Advanced Materials & Technologies.2018.01.pp.069-077 DOI: 10.17277.
8. Lebedev, A.T. Resource-saving directions for improving the operation and repair of machinery and equipment for agricultural production: dis. Dr. tech. Sciences / Lebedev A.T. Zernograd: ACHGAA, 2012. - 474 p.
9. Sukhanova, M.V. The mixing process is a necessary component of the ecosystem: feed - mixer - animal - human / Scientific works of the Institute of Continuing Professional Education. 2015. No. 5. pp. 283-287.

Информация об авторах

А.Т. Лебедев – доктор технических наук, профессор; Б. К. Салаев – доктор биологических наук, профессор; Б. К. Болаев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; Ю.Н. Арылов – доктор биологических наук, профессор; П.А. Лебедев – кандидат технических наук, доцент; Н.А. Рыбалкин – аспирант.

Information about the authors

A.T. Lebedev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientific Officer; B. K. Salaev – Doctor of Biological Sciences, Professor; B. K. Bolaev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Y.N. Arylov – Doctor of Biological Sciences, Professor; P.A. Lebedev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N.A. Rybalkin - graduate student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.33.024.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-60-70

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ АРИДИЗАЦИИ КЛИМАТА

Руслан Адальбиевич Нотов[1], Анатолий Тимофеевич Лебедев[2], Бадма Катинович Салаев[3], Наталья Леонидовна Курепина[4], Юрий Немеевич Арылов[5], Павел Анатольевич Лебедев[6]
[1,6] Ставропольский государственный аграрный университет, Ставропольский край, г. Ставрополь
[2,3,4,5] Калмыцкий государственный университет, Республика Калмыкия, г. Элиста
[6] zoya_lebedeva@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Павел Анатольевич Лебедев, zoya_lebedeva@mail.ru
Corresponding author: Pavel Lebedev, zoya_lebedeva@mail.ru

Реферат. *При посеве зерновых в иссушенную почву рабочие органы сеялок испытывают значительные нагрузки, приводящие к износу рабочих поверхностей (РП) и нарушению технологии посева, которые вызывают необходимость пересева на более 10% площадей. При выпадении осадков в период сева, сам посев оттягивается из-за залипания рабочих органов. Перспективным является применение сошников, у которых (РП) обладают и износостойкостью, и способностью снижать липкость почвы при посеве зерновых культур. Предложено использовать накладки из сверхвысоко молекулярного полиэтилена (СВМПЭ) на РП стандартных дисковых сошников (СДС), переоборудуя их в модернизированные дисковые сошники (МДС). Исследованиями определены параметры и способ крепления накладки из СВПМЭ к РП диска. Полевыми испытаниями подтверждено, что крепление накладки к диску заклепками в количестве 24 штук обеспечивает надежность работы МДС, которые выполняют требования посева на исследованных режимах. Отмечено снижение налипаемости почв при работе МДС в 1,6…2,9 раза относительно СДС. На всех типах почв тяговое сопротивление МДС при глубине посева 0,06 м изменяется в пределах 60…80 Н, что в 1,23…1,55 раза меньше, чем у СДС. Интенсивность изнашивания рабочих поверхностей МДС, выполненных из СВМПЭ РЕ-500 более чем в 3 раза меньше, чем у стали 65Г, что позволяет увеличить их ресурс в 1,5…2,4 раза в сравнении с СДС. Зерновые сеялки, оборудованные МДС, позволяют расширить периоды безотказной работы как в засушливых условиях, так и при повышенной влажности почв, обеспечивая заданные агротехнические требования по технологии посева в различных климатических условиях.*

Ключевые слова: *аридизация климата, изнашивающая способность почв, качество посева, сошник, посев, надежность, рабочий орган, почва, сеялка.*

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE SOWING OF GRAIN CROPS IN THE CONDITIONS OF CLIMATE ARIDIZATION

Ruslan Notov [1], Anatoly Lebedev [2], Badma Salaev [3], Nataliya Kurepina [4], Jury Arylov [5], Pavel Lebedev [6]
[1,6] Stavropol State Agrarian University, Stavropol Territory, Stavropol city
[2,3,4,5] Kalmyk State University, Republic of Kalmykia, Elista city
[6] zoya_lebedeva@mail.ru

Abstract. *The working bodies of the seeders experience significant loads, leading to wear of the working surfaces (WP) and violation of the sowing technology, which necessitate reseeding on more than 10% of the area when sowing grain in dried soil. The sowing itself is delayed due to sticking of the working bodies during precipitation during the sowing period. Promising is the use of coulters, in which (RP) they have both wear resistance and the ability to reduce soil stickiness when sowing grain crops. It*

is proposed to use overlays made of ultrahigh molecular polyethylene (UHMWPE) on the RP of standard disc coulters (SDS), converting them into upgraded disc coulters (MDS). The research determined the parameters and method of fastening the lining from the SVPME to the RP disk. Field tests have confirmed that fixing the lining to the disk with rivets in the amount of 24 pieces ensures the reliability of the MDS, which fulfill the requirements of sowing in the studied modes. There was a decrease in the adhesion of soils during the operation of the MDS by 1.6...2.9 times relative to the SDS. On all types of soils, the traction resistance of MDS at a sowing depth of 0.06 m varies within 60...80 N, which is 1.23...1.55 times less than that of SDS. The wear rate of the MDS working surfaces made of UHMWPE RE-500 is more than 3 times less than that of 65G steel, which makes it possible to increase their resource by 1.5-2.4 times in comparison with SDS. Grain seeders equipped with MDS allow to extend the periods of trouble-free operation both in arid conditions and at high soil humidity, providing the specified agrotechnical requirements for sowing technology in various climatic conditions.

***Keywords**: climate aridization, soil wearing capacity, sowing quality, coulter, sowing, reliability, working body, soil, seeder.*

Для цитирования: Нотов Р.А., Лебедев А.Т., Салаев Б.К., Курепина Н.Л., Арылов Ю.Н., Лебедев П.А. К вопросу совершенствования посева зерновых культур в условиях аридизации климата // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 60-70. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-60-70.

For citation: Notov R., Lebedev A., Salaev B., Kurepina N., Arylov J., Lebedev P. Intensification of the process of mixing feed mixtures. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 60-70. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-60-70.

Введение. В последние годы в основных регионах страны, занимающихся производством зерна, посев зерновых культур объективно сопровождается решением целого ряда вопросов и проблем, связанных с изменениями климата и его аридизацией. Особое значение приобретает это в южных регионах страны: в восточной зоне Ставрополья, юго-восточной зоне Ростовской области, практически на всей территории Республики Калмыкия, в Волгоградской, Астраханской областях, и других регионах России. Наиболее распространены в этих регионах суглинистые и среднесуглинистые каштановые (темные и светлые) почвы различной степени солонцеватости, имеющие высокий коэффициент испаряемости влаги. В этих районах возделываются как озимые, так и яровые культуры. При посеве зерновых в иссушенную почву, наряду с нарушением как условий среды прорастания семян, так и глубины заделки, равномерности распределения семян в бороздке и по ширине посева, рабочие органы сеялок (сошники) испытывают значительные нагрузки, приводящие к износу рабочих поверхностей (РП) и дополнительному нарушению технологии посева. Так, из-за нарушения технологии посева озимых зерновых требуется пересев засеянного, на более 10% площадей. С другой стороны, после выпадения осадков в период сева, сам посев оттягивается из-за залипания рабочих органов почвой высокой влажности. Применение в качестве сошников, у которых РП обладают и износостойкостью, и способностью снижать липкость почвы, является перспективным способом повышения эффективности возделывания зерновых культур.

Посев зерновых культур, в зависимости от их вида, качества семян, типа и влажности почвы, для наиболее распространенных способов посева, осуществляется на глубину 3…8 см, с шириной междурядий 15см при рядовом посеве и 7,5 см при узкорядном. Соответствие таких основных показателей, как норма высева, глубина заделки семян, их равномерное распределение по площади поля и ширина стыковых междурядий, определяют не только качество посева, но и оптимальные условия развития всходов. Такие условия обеспечиваются работой посевных секций зерновых сеялок. При этом агротехническими требованиями допускаются отклонения: по норме высева семян не более ±3%; от заданной глубины не более ± 15% (1,5…2 см); ширины стыковых междурядий у смежных сеялок в сцепке не более ±2 см, а для двух смежных проходов не более ±5 см [1, 2, 4, 9].

Практикой установлено, что качество посева в наибольшей степени зависит от типа используемого сошника, основной задачей которого является формирование посевной бороздки

для семян. По форме РП и назначению наиболее распространены анкерные, лаповые и дисковые сошники. Конкретные модели сошников имеют в зависимости от марки сеялки свои конструктивно-геометрические параметры, и определенные присущие им достоинства и недостатки. Указанные типы сошников принципиально отличаются друг от друга не только формой и свойствами РП, но и отличаются формой посевной бороздки, образуемой при посеве (рисунок 1).

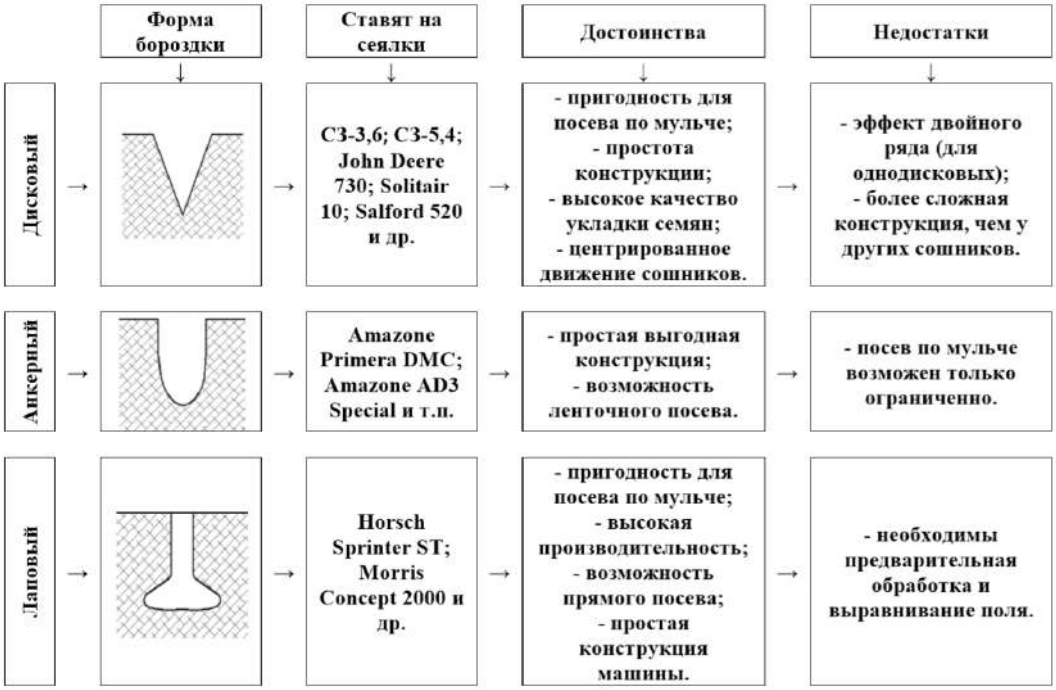


Рисунок 1 – Типы сошников и характеристики их работы

Как показывает практика, более 85% всех сеялок эксплуатируются с одно- или двухдисковыми сошниками [4, 5, 10], поэтому в наших исследованиях использовались такие сошники.

Материалы и методы. Как отмечалось выше, в условиях аридизации климата наиболее прогнозируемыми случаями при посеве зерновых культур являются: работа сошников при повышенном износе их РП и работа на почвах повышенной влажности для того, чтобы создать благоприятные условия для развития семян и сохранения дефицитной почвенной влаги. Интенсивность изнашивания РП сошника, особенно его режущей кромки, резко увеличивается при их работе в абразивной среде, в которую переходят почвы аридной зоны при их влажности 10…12% и менее. Работа сошников в условиях повышенной влажности для некоторых моделей просто не возможна, но дисковые сошники, как правило, теряют свою работоспособность только по причине их сильного залипания. Налипание почвы, не только резко увеличивает тяговое сопротивление сеялки, но и изменяет геометрию образуемой бороздки. Рассматривая работоспособность зерновой сеялки с позиции надежности технологического процесса посева семян в условиях нестабильности и значительной вариации параметров, характеризующих природно-климатические условия регионов, нами представлены основные направления обеспечения работоспособности дисковых сошников (рисунок 2).

Рисунок 2 – Направления обеспечения работоспособности двухдискового сошника зерновой сеялки

На представленной аналитической схеме нами выделены две основные проблемы, характерные для эксплуатации двухдисковых сошников в засушливых условиях, это затупление режущей кромки дисков и налипание почвы на РП при их работе в условиях повышенной влажности почв. Для устранения этих недостатков дисковых сошников и повышения эффективности их работы, с учетом анализа ранее выполненных исследований в этом направлении, нами предложено использовать накладки из сверхвысоко молекулярного полиэтилена (СВМПЭ) на РП стандартных дисковых сошников (СДС). [4, 5, 10]

При исследовании работоспособности модернизированных дисковых сошников (МДС), с накладками из СВМПЭ, выполнено сначала теоретическое обоснование, а затем экспериментальное подтверждение рационального способа крепления накладки к рабочей поверхности диска. На основе проведенного анализа доступных, в условиях эксплуатации, способов фиксации съемных элементов аналогичных конструкций, принято к обоснованию широко распространенное на практике, - крепление заклепками (рисунок 3).

Заклепочное соединение в данной конструкции МДС выполняет следующие функции:

- обеспечивает плотное прилегание накладки из СВМПЭ к РП диска в зоне его режущей кромки;

- зона расположения крепежных элементов (заклепок) не должна препятствовать проведению операций ТО и восстановлению геометрии диска при ремонте МДС.

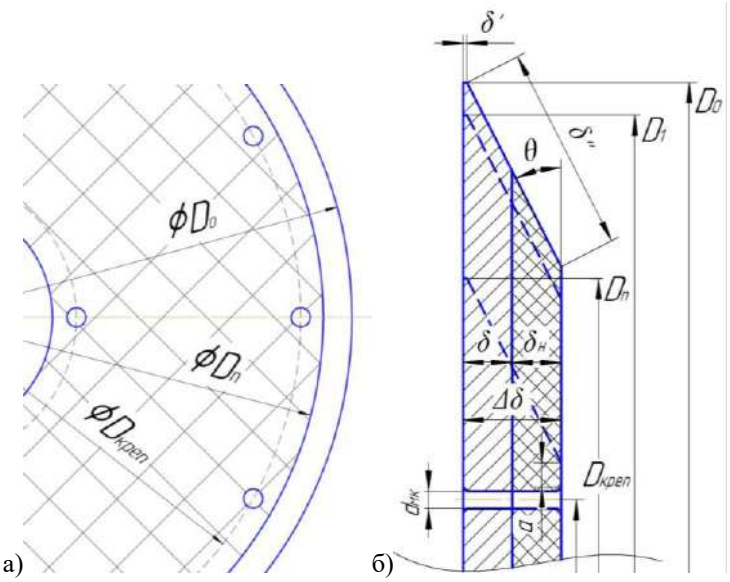


Рисунок 3 – Схема к расчету параметров МДС (лицевая (а) и профильная (б) части диска)

Рассмотрим схему МДС, представленную на рисунке 3. Плотное прилегание накладки из СВМПЭ к РП диска в зоне его режущей кромки, из-за неизбежных отклонений формы исходного диска и нарушения его геометрии в период эксплуатации, необходимо обеспечить так, чтобы режущая кромка и фаска диска не закрывались накладкой. При этом плотность прилегания может быть обеспечена жесткостью материала накладки (разновидностью СВМПЭ, толщиной накладки) и расстоянием между крепежными элементами по диаметру их крепления на диске $D_{\text{креп}}$ (количеством заклепок $n_{\text{креп}}$).

Для проведения операций ТО (восстановления режущей кромки диска при заострении δ' и ширине фаски δ'', соответствующих углу заточки θ при толщине диска δ) и восстановления геометрии диска МДС при ремонте (восстановления до требуемого ремонтного размера) необходимо, чтобы элементы крепления были расположены по окружности диаметром $D_{\text{креп}}$. Указанный размер должен быть определен расчетом с учетом предельно допустимого размера диска $D_{\text{п}}$, толщины накладки $\Delta\delta$ и текущего размера МДС в эксплуатации D_1. При достижении предельного размера $D_{\text{п}}$ диск сошника заменяется на новый, который перед установкой модернизируется, в соответствие с указанной схемой и технологией модернизации.

Расчет диаметра крепления заклепок $D_{\text{креп}}$, выполнялся в соответствие с изложенным выше и схемой на рисунке 3 по зависимости:

$$D_{\text{креп}} \leq D_{\text{п}} - d_{\text{мк}} - \Delta\delta \cdot ctg\theta - 2a, \quad (1)$$

где $d_{\text{мк}}$ – диаметр заклепок, м;

a –припуск на обработку и размещение головок заклепки, м.

Таким образом, для стандартных размеров СДС номинальным диаметром нового диска D_0 = 350 мм с углом заточки θ = 20° и толщиной диска δ = 2,5 мм, у которого предельный размер при выбраковке составляет $D_{\text{п}}$ = 326 мм, расчетный диаметр размещения элементов крепления составляет $D_{\text{креп}} \leq 310{,}9$ мм (для случая применения заклепок с $d_{мк}$ = 6 мм, наибольшей толщины накладки $\delta_н$ = 3 мм и a = 2 мм). Для изготовления экспериментальных МДС было принято $D_{\text{креп}}$ = 310 мм.

Результаты и их обсуждение. Теоретические исследования и расчет количества механических креплений $n_{\text{креп}}$, исходя из требуемых условий плотного прилегания накладки из СВМПЭ к диску МДС выполнены при следующих условиях. Размещение крепежных элементов в количестве $n_{\text{К}}$ по $D_{\text{креп}}$ определяется таким же количеством равновеликих хорд. Длину хорды по

окружности $D_{креп}$ можно представить, как расстояние l между защемленными концами упругой балки 2 (накладка из СВМПЭ), прогиб f′ которой может быть осуществлен под воздействием давления на нее со стороны почвы 4, попадающей в зазор между жестким диском 1 и накладкой 2(рисунок 4). При уменьшении расстояния l увеличивается сопротивление прогибу накладки и увеличивается плотность прилегания ее к поверхности диска. Регулировка силы $F_п$ прижатия накладки к диску может осуществляться количеством крепежных элементов 3, а также механическими свойствами материала накладки (применение СВМПЭ разных марок, например, СВМПЭ РЕ-500 и СВМПЭ РЕ-1000, и их разной толщины). Для проведения теоретических расчетов ставилась задача определения усилий, обеспечивающих прогиб не более 1 мм, для разных типов материала, их толщине и расстояниях между креплениями накладки (что прямо пропорционально количеству креплений).

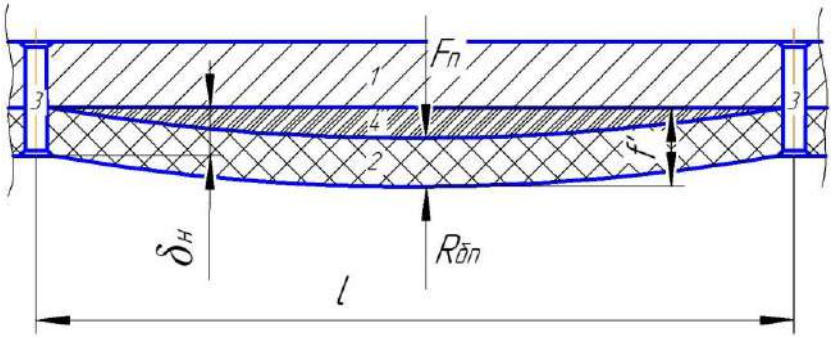


Рисунок 4 – Расчетная схема к определению усилия прогиба упругой балки (накладка СВМПЭ)

Определение требуемого усилия $F_п$ проводили по известной из теории сопротивления материалов [7] формуле

$$F_п = \frac{48 \cdot E \cdot I_x \cdot f'}{l^3}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала накладки, МПа;

I_x – момент инерции поперечного сечения, мм^4.

Моделируя различные варианты модернизации СДС, изменением свойств материала, были получены теоретические зависимости усилия $F_п$ от расстояния между точками креплений при постоянном значении величины прогиба накладки f′ = 0,001 м (рисунок 5).

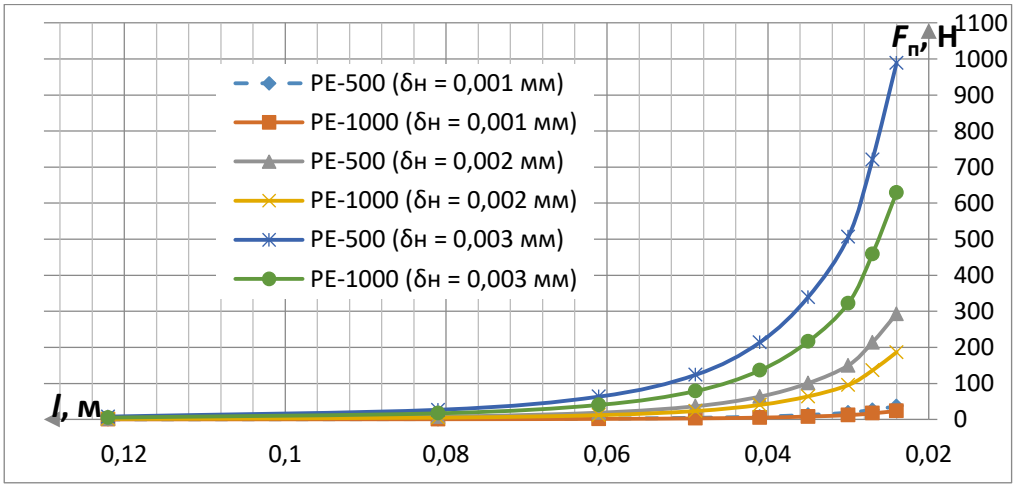


Рисунок 5 – Графики изменения усилия $F_п$ в зависимости от расстояния l между креплениями и толщины накладки $\delta_н$ (расчетный прогиб f′ = 0,001 м)

Расчеты усилия $F_п$ выполнены для 10 вариантов крепления накладки к диску сошника. Как показывают графики, представленные на рисунке 5, при увеличении расстояния между крепежными элементами в диапазоне 80…121,7 мм, что соответствует уменьшению количества креплений от 12 до 8 штук по периметру диска, требуемое усилие резко уменьшается для всех рассмотренных вариантов применяемых накладок. В расчетах были приняты накладки из СВМПЭ РЕ-500 и СВМПЭ РЕ-1000, толщина которых составляла 1, 2 и 3 мм. Анализ зависимостей показывает, что расчетное усилие прижатия может обеспечиваться при увеличении количества креплений от 20 до 40 штук (соответствует уменьшению расстоянию между креплениями от 48,6 до 24,3 мм), особенно у накладок толщиной 3мм. Значение силы прогиба накладки при этом может увеличиться от 62 до 1000 Н для обеспечения расчетного значения накладки в 1мм. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что тяговое сопротивление, приходящееся на один МДС, составляет 50…110 Н в зависимости от состояния почвы и глубины посева. Поэтому, указанный диапазон был принят при изготовлении опытных образцов МДС для экспериментального подтверждения оптимального количества крепежных элементов. Расчетами установлено, что усилие для прогиба накладки из СВМПЭ РЕ-1000 в 1,6 раза больше, чем у накладки из СВМПЭ РЕ-500, что более высокими механическими характеристиками указанного материала. Но фрикционные свойства, оказывающие влияние на тяговое сопротивление МДС, гидрофобные и износные характеристики этих материалов практически не отличаются между собой. Поэтому в дальнейшем, исследования проводились на МДС, у которых в качестве накладки использовался листовой СВМПЭ РЕ-500, толщиной 3 мм, стоимость которого почти в 2 раза меньше, чем у РЕ-1000 [7, 8].

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы МДС, количество крепежных элементов на которых было принято 12, 16, 20, 24 и 28 штук, расстояние между соседними точками округленно составило, соответственно: 81, 61, 48, 40 и 35 мм (рисунок 6, а). Точность изготовления каждого варианта образцов МДС обеспечивалась разработкой и изготовлением специальной оснастки в виде разметочных дисков (рисунок 6, б). Испытания опытных образцов проводились в одинаковых полевых условиях после их установки на зерновую сеялку типа СЗ-3.6 (рисунок 6, в).

Рисунок 6 – Экспериментальные образцы МДС сеялки СЗ-3,6 и оснастка для их изготовления

Полевые испытания зерновой сеялки СЗ-3,6, оборудованной экспериментальными образцами МДС, которые устанавливались на ней вместе со СДС, проведены на поле, подготовленном под

посев, влажностью почвы 17...18% и скорости посевного агрегата 10 км/ч. Опытами установлено, что при работе опытных образцов почва в основном накапливается на границе между основным диском и накладкой в зоне режущей кромки диска. Количество почвы в этой зоне МДС существенно отличается, в зависимости от варианта исполнения МДС (рисунок 7). Для вариантов МДС с 12, 16 и 20 точками креплений масса почвы составила в среднем 32, 14 и 3г, соответственно. В других вариантах, с 24 и 28 заклепками, в этой зоне почва отсутствовала.

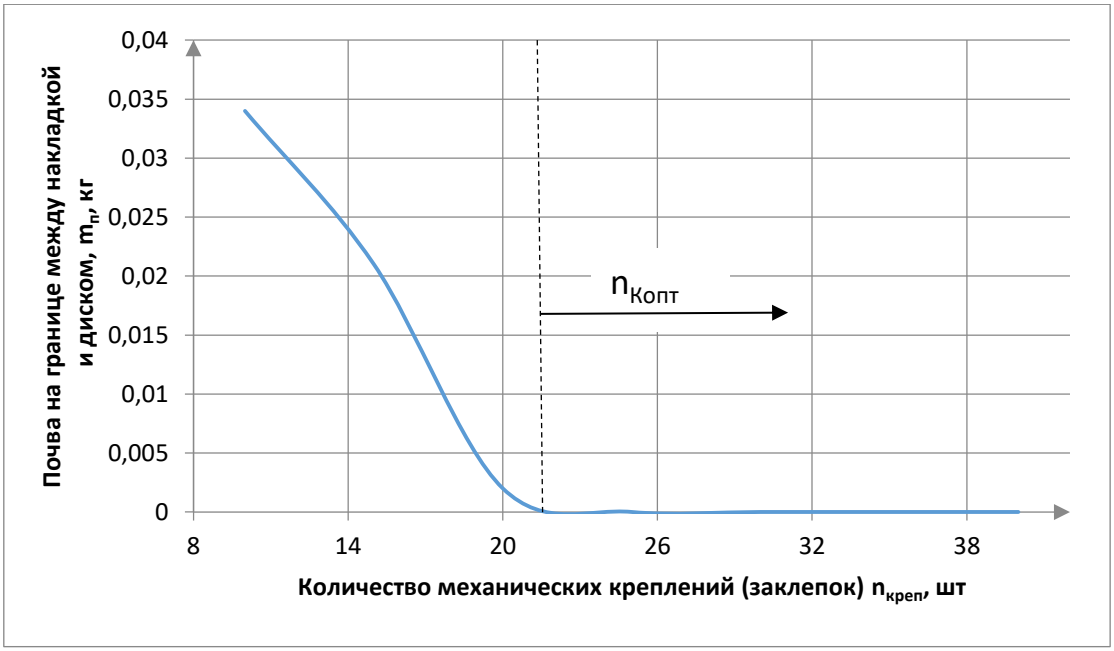


Рисунок 7 – Зависимость количества почвы $m_п$, на границе между диском и накладкой из СВМПЭ, от количества заклепок $n_{креп}$

Таким образом, для создания надежного контакта между диском и накладкой, исключающего возможность попадания между ними твердых частиц почвы, особенно при работе в условиях засухи, расстояние между точками креплений должно быть не более 0,048 м, которое соответствует оптимальному значению количества креплений не менее 20 штук. С учетом упрощения слесарных работ при разметке и изготовлении МДС, а также обеспечения гарантированной надежности крепления в эксплуатации МДС на почвах различной влажности, в дальнейшем можно использовать модернизированные диски с 24 креплениями накладки, которые расположены по диаметру 310 мм для новых дисков с номинальным диаметром 350 мм [1-3].

Проверка работоспособности СДС и МДС, по критерию налипания почвы на рабочие поверхности, выполнялась на лабораторной установке «Почвенный канал» СтГАУ и полевых условиях ООО «Фрегат» Кабардино-Балкарской Республике. В почвенном канале моделировались условия для средних значений влажности 5%, 15% и 25%. Испытывались однострочные и узкорядные стандартные и модернизированные сошники (рисунок 8).

а) б)

в) г)

Рисунок 8 – Налипание почвы на диски сошников: широкорядных МДС (а) и СДС (б) при при влажности почвы 15%; узкорядных МДС (в) и СДС (г) при влажности почвы 25%.

Заключение. Установлено, что при работе всех типов испытываемых сошников и влажности модели почвы 5% налипания почвы не зафиксировано. При повышении влажности до 15% масса налипшей почвы составила в среднем 0,37 кг и 0,26 кг для узкорядного и широкорядного СДС, соответственно. При увеличении влажности почвы до 25% происходит значительное увеличение налипшей массы в 6,5 и 3,6 раза, соответственно.

Работа узкорядного и широкорядного МДС характеризуется следующими показателями:

- при влажности 15% масса налипшей почвы для МДС составила в среднем 0,23 кг и 0,09 кг для узкорядного и широкорядного вариантов, что соответственно, в 1,6 и 2,9 раза меньше, чем у СДС;

при влажности почвы 25% масса налипшей почвы для МДС составила в среднем 1,01 кг и 0,35 кг для узкорядного и широкорядного вариантов, что соответственно, в 2,4 и 2,7 раза меньше, чем у СДС.

Полевыми испытаниями установлено, что при повышенной влажности почвы 24…27% широкорядные (однострочные) СДС в целом не обеспечивают необходимых агротехнических требований по глубине заделки семян, как правило из-за уменьшения заданной глубины на 22%, а из-за налипания почвы наблюдался вынос семян на поверхность почвы, значительно увеличивается ширина посевной бороздки, по сравнению с работой МДС, показатели работы которых соответствуют заданном параметрам. При работе МДС на всех типах почв (от иссушенных до переувлажненных) их тяговое сопротивление изменяется в пределах 60…80 Н при глубине посева 0,06 м, что в 1,23…1,55 раза меньше, чем у СДС.

Интенсивность изнашивания рабочих поверхностей МДС, выполненных из СВМПЭ РЕ-500 более чем в 3 раза меньше чем у стали 65Г. Обеспечение возможности работы МДС в широком диапазоне свойств почвы как в засушливых условиях, так и при повышенной влажности позволяет

не только увеличить ресурс таких сошников в 1,5…2,4 раза в сравнении с СДС, но и расширить периоды работы зерновых сеялок, оборудованных МДС, при обеспечении заданных требований по технологии посева в различных климатических условиях.

Список источников

1. Нотов, Р.А. Работоспособность дисковых сошников зерновых сеялок в различных эксплуатационных условиях / Р.А. Нотов, А.Т. Лебедев // Наука в центральной России. – 2019. – № 6 (42). – С. 5-10.

2. Нотов, Р.А. Совершенствование дисковых сошников зерновых сеялок для работы в условиях переменной влажности почвы / Р.А. Нотов, А.Т. Лебедев, Р.Р. Искендеров // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 4 (24). – С. 64-71.

3. Пастухов А.Г., Кравченко И.Н., Волков М.И. / Исследование износа дисковых сошников сеялки СЗТ-3,6А // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 3 (23). – С. 55-68.

4. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М. / Модернизация зерновой сеялки для работы в условиях повышенной влажности почв. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. № 3 (43). – С. 238-245.

5. Патент №190896 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Двухдисковый сошник / А.Т. Лебедев, В.В. Очинский, Н.А. Марьин, А.К. Апажев, Р.А. Нотов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ. № 2019110459; заявл. 08.04.2019; опубл. 16.07.2015, Бюл. № 20.

6. Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бурьянов А.И., Московский М.Н. / Перспективы применения пластиков в конструкциях современных сельскохозяйственных машин // Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. – Всероссийский научно-исследовательский институт механизации с. х., 2015. –С. 26-29.

7. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука; Издание 9-е, перераб. – 1986 г. – 512 с.

8. Лобачевский Я.П., Колчина Л.М. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин. ФГНУ "Росинформагротех". Москва, 2005. – 116 с.

9. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. /Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. - Т. 12. - № 3. – С. 45-52.

10. Ероков, М.Б. Исследование и обоснование режимов работы сошника зерновой сеялки в условиях повышенной влажности почвы: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Ероков Мурат Борисович. – Нальчик, 2000. – 153с.

References

1. Notov, R.A. Efficiency of disk coulters of grain seeders in various operating conditions / R.A. Notov, A.T. Lebedev // Science in Central Russia. - 2019. - No. 6 (42). - P. 5-10.

2. Notov, R.A. Improvement of disk coulters of grain seeders for work in conditions of variable soil moisture / R.A. Notov, A.T. Lebedev, R.R. Iskenderov // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. - 2019. - No. 4 (24). - S. 64-71.

3. Pastukhov A.G., Kravchenko I.N., Volkov M.I. / Study of the wear of the disc coulters of the SZT-3.6A seeder // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. - 2019. - No. 3 (23). – P. 55-68.

4. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M. / Modernization of a grain seeder for work in conditions of high soil moisture. // Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. – 2016. No. 3 (43). – S. 238-245.

5. Patent No. 190896 Russian Federation, IPC A01C 7/20. Double disc coulter / A.T. Lebedev, V.V. Ochinsky, N.A. Maryin, A.K. Apazhev, R.A. Notov; applicant and patent holder FGBOU VO Stavropol State Agrarian University. No. 2019110459; dec. 04/08/2019; publ. 07/16/2015, Bull. No. 20.

6. Pakhomov V.I., Braginets S.V., Buryanov A.I., Moskovsky M.N. / Prospects for the use of plastics in the construction of modern agricultural machines // Collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference. – All-Russian Research Institute of Mechanization p. x., 2015. -S. 26-29.

7. Feodosiev, V.I. Strength of materials. – M.: Nauka; 9th edition, revised. - 1986 - 512 p.

8. Lobachevsky Ya.P., Kolchina L.M. Current state and development trends of tillage machines. FGNU "Rosinformagrotech". Moscow, 2005. - 116 p.

9. Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. /Trends and prospects for the development of domestic equipment for sowing grain crops // Agricultural machines and technologies. - 2018. - T. 12. - No. 3. - S. 45-52.

10. Erokov, M.B. Research and substantiation of the modes of operation of the coulter of a grain seeder in conditions of high soil moisture: diss. … cand. tech. Sciences: 05.20.01 / Erokov Murat Borisovich. - Nalchik, 2000. - 153 p.

Информация об авторах

Р.А. Нотов – кандидат технических наук; А.Т. Лебедев – доктор технических наук, профессор; Б. К. Салаев – доктор биологических наук, профессор; Н.Л. Курепина – доктор экономических наук, профессор; Ю.Н. Арылов – доктор биологических наук, профессор; П.А. Лебедев – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

R.A. Notov – Candidate of Technical Sciences; A.T. Lebedev – Doctor of Technical Sciences, Professor; B. K. Salaev – Doctor of Biological Sciences, Professor; N.L. Kurepina – Doctor of Economic Sciences, Professor; Y.N. Arylov – Doctor of Biological Sciences, Professor; P.A. Lebedev – 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): 25.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.356.46
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-71-77

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА КПК-2-01, ОСНАЩЕННОГО ИНТЕНСИФИКАТОРОМ

Парвиз Имранович Гаджиев [1], Анатолий Петрович Башкиров [2], Гюльбике Гудретдиновна Рамазанова [3], Имран Парвизович Гаджиев [4], Николай Сергеевич Шершнев [5]
[1,3]Российский государственный аграрный заочный университет,
г. Балашиха, Московская обл., Россия
[1]pgadjiev@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6877-6126
[3]gulbike@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2758-9479
[2,5] Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова,
г. Курск, Россия
[2]tmv46@mail.ru
[5]shershnevnikola@yandex.ru
[4]Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева,
г. Рязань, Россия
[4]imgadjiev@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Гюльбике Гудретдиновна Рамазанова, gulbike@yandex.ru
Corresponding author: Gulbike Ramazanova, gulbike@yandex.ru

Реферат. *Эффективность работы картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах во многом зависит от конструкционных особенностей сепарирующих рабочих органов. На почвах с повышенной влажностью прутковые элеваторы не удовлетворяют отделению клубней от почвы без интенсификации поступающей клубненосной массы. Для сокращения потерь урожая в работе предложен интенсификатор в виде прижимного транспортера с лопастями, установленными под некоторым углом. Транспортер вращается сторону противоположную вращению сепарирующего элеватора картофелеуборочного комбайна, расположен под элеватором. Исследовали эффективность работы интенсификатора, как фактора, повышающего сепарирующую способность картофелеуборочных машин при работе на переувлажненных почвах и снижающего повреждения, а также потери клубней при уборке картофеля. Проведенная сравнительная агротехническая оценка серийного и модернизированного картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 на полях в Курской области показала следующее. При уборке картофеля на комбайне с разработанным интенсификатором, полнота уборки увеличилась на 10%, а повреждения клубней уменьшились на 38%. Во время уборки картофеля при повышенной влажности 26,3% не наблюдалось залипания просвета между прутками. Полнота сепарации составила 93,5%. Отсутствие залипания просвета между прутками также позволило увеличить рабочую скорость комбайна с 0,84 м/с на 0,86 м/с.*

Ключевые слова: *интенсификатор, сепарация почвы, зазор между прутками, прижимной транспортер, повреждение клубней, картофелеуборочные машины.*

RESULTS OF FIELD TESTSOF THE KPK-2-01 POTATO HARVESTER EQUIPPED WITH AN INTENSIFIER

Parviz Gadzhiev [1], Anatolyi Bashkirov [2], Gulbike Ramazanova [3], Imran Gadzhiev [4], Nikolai Shershnev [5]
[1,3]Russian State Agrarian Correspondence University, Balashikha, Moscow region, Russia
[1]pgadjiev@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6877-6126
[3]gulbike@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2758-9479
[2,5] Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia

[2]tmv46@mail.ru
[5]shershnevnikola@yandex.ru
[4] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia
[4]imgadjiev@mail.ru

Abstract. *The efficiency of potato harvesters on waterlogged soils largely depends on the design features of the separating working bodies. Rod elevators do not satisfy the separation of tubers from the soil without the intensification of the incoming tuberous mass on soils with high moisture. An intensifier in the form of a pressing conveyor with blades installed at a certain angle is proposed in this work to reduce crop losses. The conveyor rotates the side opposite to the rotation of the separating elevator of the potato harvester, located under the elevator. The effectiveness of the intensifier, as a factor that increases the separation capacity of potato harvesters when working on waterlogged soils and reduces damage, as well as the loss of tubers during potato harvesting, was studied. A comparative agrotechnical assessment of the serial and modernized KPK-2-01 potato harvester on the fields in the Kursk region showed the following. The completeness of harvesting increased by 10%, and damage to tubers decreased by 38% when harvesting potatoes on a combine with the developed intensifier. During the harvesting of potatoes at a high humidity of 26.3%, no sticking of the gap between the bars was observed. The completeness of separation was 93.5%. The absence of sticking of the gap between the bars also made it possible to increase the operating speed of the combine from 0.84 m/s to 0.86 m/s.*

Keywords*: intensifier, soil separation, gap between bars, pressure conveyor, tuber damage, potato harvesters.*

Для цитирования: Гаджиев П.И., Башкиров А.П., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П., Шершнев Н.С. Результаты полевых испытаний картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 оснащенного интенсификатором // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 71-77. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-71-77.

For citation: Gadzhiev P., Bashkirov A., Ramazanova G., Gadzhiev I., Shershnev N. Field test results of a potato harvestercombine KPK-2-01 equipped with an intensifier. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 71-77. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-71-77.

Введение. Наличие непостоянства физико-механических свойств почвы создает определенные трудности в работе картофелеуборочных комбайнов. При выборе рабочего органа для отсеивания почвы в качестве основного сепаратора преимущество дается сепарирующему устройству элеваторного типа со встряхивателями. В тоже время, в почве засоренными с мелкими камнями комбайны грохотного типа являются более перспективными. Сепарирующие элеваторы сепарируют до 98% почвы из клубненосной массы, отделяют клубни картофеля до 4% и растительных примесей до 1,5% и транспортируют клубненосный ворох без повреждения клубней [1-3].

Картофелеуборочные комбайны, созданные и поставленные на производство, не имеют успехов при уборке картофеля на переувлажненных почвах, поскольку они дают сильные повреждения и большие потери клубней. Поэтому выпускаемые комбайны требуют конструктивного усовершенствования, для повышения качества сепарации почвы и уменьшения повреждения клубней [4-6]. Для активизации процесса сепарации почвенно-клубненосной массы существуют интенсификаторы с различной конструкцией, которые полностью не решают поставленные задачи. Несмотря на все это, во время комбайновой уборки картофеля на переувлажненных почвах зазоры между прутками элеватора залипаются, уменьшается «живая зона» просеивания, сепарация почвы ухудшается, в конечном счете из-за образования глыб увеличиваются повреждения клубней, что приводит к потере урожая. Для этих условий необходимо создать специальные сепарирующие рабочие органы с интенсификатором [7-9].

Для решения данной задачи в ФГБОУ ВО РГАЗУ разработан интенсификатор для сепарирующего устройства картофелеуборочных машин, выполненный в виде прижимного транспортера с лопастями. При работе на переувлажненных почвах прижимной транспортер,

выполняя функцию интенсификатора, повышает степень сепарации почвы и уменьшает повреждения клубней.

Цель исследования – проверка эффективности работы интенсификатора, как фактора повышающего сепарирующую способность картофелеуборочных машин при работе на переувлажненных почвах и снижающего повреждения, а также потери клубней при уборке картофеля. Кинематический режим интенсификатора соответствует различной загрузке сепарирующего элеватора.

Материалы и методы. Для работы на переувлажненных почвах в рамках усовершенствования картофелеуборочных машин разработан сепарирующий рабочий орган с интенсификатором, который размешен под сепарирующим рабочим органом (рисунок1).

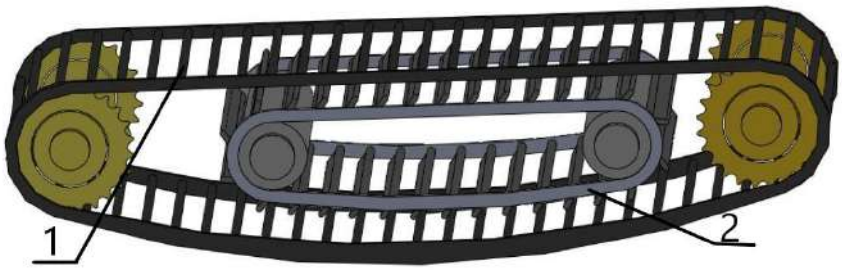


Рисунок 1 – Сепарирующий элеватор с прижимным транспортером
1 – сепарирующий элеватор, 2 – интенсификатор с лопастями

Интенсификатор выполнен в виде транспортера с лопастями, установленными под некоторым углом. Транспортер вращается сторону противоположную вращению сепарирующего элеватора картофелеуборочного комбайна, что позволяет очищать зазоры между прутками от залипания, тем самым увеличивается полнота сепарации и уменьшается повреждения клубней картофеля и потери урожая.

Для выявления эффективности предложенной конструкции была проведена сравнительная агротехническая оценка серийного и нового картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 на полях Фермерского хозяйства «Радуга» Быкова В.Д., Курская область, Курский район, п. Камыши, где в мае месяце 2022 года на площади 15 га был посажен картофель [10].

Оценка работы модернизированного картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 производилась по намеченной программе и методике.

Технологический процесс работы картофелеуборочного комбайна состоит в следующем. Во время работы комбайн в передней части опирается на копирующие катки, которые обеспечивают постоянную глубину подкапывания и раздавливают комки почвы, лежащие на поверхности. Почвенный пласт картофельных рядков при подкопе их лемехом поступает на основной элеватор, при том почвенный пласт разрыхляется шнеком, которые расположен частично над лемехом и элеватором. После сепарации основной массы, идет далее очистка клубней от ботвы, растительных и других примесей. С основного элеватора оставшаяся клубненосная масса поступает на второй элеватор, где происходит дальнейшая сепарация с последующей подачей массы на третий элеватор и к редкопрутковому транспортеру. Клубни и оставшиеся мелкие примеси проваливаются между прутками редкопруткового транспортера на элеватор, который, частично просыпая мелкую почву в зазоры между прутками, подает массу на пальчиковую поверхность горки. В зависимости от угла наклона горки, картофель или скатывается в ковшовый транспортер или поступает вместе с примесями к шнеку. После чего шнек, пропуская примеси под собой, остальную массу подает на дополнительную пальчиковую горку для дополнительной очистки и подачу клубней в ковшовый транспортер, из ковшей которого масса подается на транспортер и клубни загружаются в бункер-накопитель. По мере заполнения указанной зоны бункера включается подвижное дно, и клубни продвигаются в зону выгрузки к откидной части бункера и направляющему лотку. При этом откидная часть бункера устанавливается близко к

горизонтали. По мере заполнения бункера выгрузную часть его направляют в сторону транспортного средства, включается привод транспортера и осуществляется выгрузка картофеля через направляющий лоток, которое предотвращает повреждение клубней, в транспортное средство (рисунок 2).

Рисунок 2 – Модернизированный картофелеуборочный комбайн КПК-2-01 во время уборки

Результаты и обсуждение. Интенсификатор сепарации установлен под рабочим полотном элеватора так, чтобы его лопасти прижимались к полотну без взаимодействия или с минимальным взаимодействием с прутками. Примеси, прошедшие через зазоры между прутками элеватора над интенсификатором, захватываются его лопастями и/или резиновой лентой и сбрасываются на землю. Упругие лопасти интенсификатора, установленного под рабочим полотном элеватора, выполняют следующие основные функции:

- принудительное перемещение частей пласта относительно прутков элеватора на его полотне, в частности, выталкивание клубней из зазоров между соседними прутками в том случае, когда клубни закрывают зазоры;
- очистка клубней;
- транспортирование отсепарированных примесей без заклинивания их между лопастью и прутком.

Рисунок 3 характеризует чистоту клубней картофеля в бункере картофелеуборочного комбайна КПК-2-01.

Рисунок 3 – Чистота клубней картофеля в бункере картофелеуборочного комбайна КПК-2-01

Выталкивание клубней и примесей из зазоров между прутками на рабочее полотно элеватора увеличивает живое сечение полотна и повышает эффективность сепарации фракций примесей, прошедших через зазоры.

Критериями оценки при испытании были следующие параметры:

- полнота сепарации почвы вовремя комбайновой уборки картофеля;
- степень повреждения и потери урожая при уборке картофеля.

Так же учитывались эксплуатационные показатели комбайна при уборке картофеля

Характеристика фона, где проводились испытания, приведены в таблице 1.

Данные в таблицах 1 и 2 показывают, что при уборке картофеля с применением картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с предложенным интенсификатором полнота уборки увеличилась на 10%, а повреждения клубней уменьшились на 38%. Это произошло за счет выталкивания клубней из зазоров между соседними прутками, при случае если клубни закрывают зазоры и транспортирование отсепарированных примесей без заклинивания их между лопастью и прутком.

Таблица 1 – Характеристика условий проведения испытаний

Наименование показателей	**Значение показателей**
Время испытаний	Октябрь 2022 г.
Сорт картофеля	Винета
Биологическая урожайность клубней, т/га	45
Состояние ботвы	Полуподсохшая, убранная
Высота гребня, см	17,5
Глубина посадки клубня, мм	80
Ширина междурядья, см	70
Место испытаний	ФХ «Радуга» Быкова В.Д. Курская область, Курский район, п. Камыши
Микрорельеф	Слабо выраженный
Тип почвы	Выщелоченный чернозем
Максимальная глубина залегания клубня, см	17,5
Рельеф	ровный
Влажность почвы по слоям (см), %: 0-10 10-20 20-30	 20,1 24,5 26,3
Твердость почвы по слоям (см), МПа: 0-10 10-20 20-30	 0,52 0,97 1,12

Результаты испытаний сравниваемых картофелеуборочных комбайнов по полноте сепарации показано в таблице 2.

Выводы. Благодаря установленному прижимному транспортеру с лопастями,в работе картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 вовремя уборки картофеля при повышенной влажности 26,3%, не наблюдалось залипания просвета между прутками.Полнота сепарации составило 93,5% в сравнении с серийным комбайном – 85,2%. Повреждения клубней на картофелеуборочном комбайне, с оборудованным интенсификатором составило 2,8%, а в серийном комбайне –6%. Полнота сепарации увеличилась за счет очистки прутков элеватора от залипания почвенным пластом и сокращения количества соударений их с прутками элеватора. Отсутствие залипания просвета между прутками, также позволило увеличение рабочей скорости модернизированного комбайна с 0,84м/с на 0,86м/с. Результаты полевых исследований показали эффективность работы картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 оснащенного интенсификатором.

Таблица 2– Агротехнические показатели работы комбайна КПК-2-01

Показатели	**КПК-2-01**	**КПК-2-01 с экспериментальным рабочим органом**
Скорость комбайна, м/с	0,84	0,86
Глубина хода подкапывающих рабочих органов, м	0,20	
Поступило массы на 1 м пути, кг: всего	195,0	217,0
в том числе:		
почва и комок	190,78	212,67
клубни	3,12	3,25
растительные остатки	1,10	1,08
Просеяна почва с элеватора, кг	166,1	202,9
Фракционный состав почвы, сходящей с элеватора, %		
в том числе:		
до 25 мм (по толщине)	43,2	58,0
25-50 мм	27,3	37,2
50-100 мм	24,2	3,5
свыше 100 мм	5,3	1,3
Сход с элеватора всего, кг:	87,2	45,8
в том числе:		
почва	82,85	41,33
клубни	3,15	3,37
растительные остатки	1,2	1,1
Полнота сепарации, %	85,2	93,5
Повреждения клубней, %	6,0	2,8

Список источников

1. Колчин Н.Н., Пономарев А.Г., Петухов С.Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях // В сборнике: Картофель и овощи. 2019. №3. С. 14-16. – DOI: 10.25630/PAV.2019.48.28.002

2. Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах // Наука в центральной России. 2022. № 2(56). С.98-106. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106

3. Гаджиев П.И., Шестакова Е.В., Рамазанова Г.Г. Теоретическое исследование подкапывающего лемеха картофелеуборочного агрегата для снижения потерь урожая и эрозии почвы // Инженерные технологии и системы. 2022. Т.32. №2. С.263-278. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202202.263-278

4. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля // Агроинженерия. 2022. Т.24. № 1. С.12-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16.

5. Kostenko M.Y., Ruzimurodov A.A., Byshov D.N., Golakhov A.A., Yakutin N.N. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020.Vol. 422(1). 012032

6. Жбанов Н.С., Евтехов Д.В., Безносюк Р.В. [и др.] Исследование эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин с модернизированными рабочими органами // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. Рязань, РГАТУ, 2021. № 1 (49). С. 112-119.– DOI 10.36508/RSATU.2021.49.1.017.

7. Aniket U., Rahul B., Sarthak D., Vipul R., Deepak Ch. Development of potato harvesting model.International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2017;4:1567-1570.

8. Edrris M., Al-Gaadi K., Hassaballa A. [et al.]Impact of soil compaction on the engineering properties of potato tubers // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2020. Vol. 13, Issue 2. Pp. 163-167. – URL: https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf

9. Pasaman, B., Zakharchuk V. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger // ECONTECHMOD. 2012. no.2. Pp. 43-47. – URL: http://www.journals.pan.pl/dlibra/publication /98931/edition/85237/content

10. Гаджиев П.И., Башкиров А.П., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П., Шершнев Н.С. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля // Наука в центральной России. 2022. № 3(57). С. 41-47.– DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

References

1. Kolchin N.N., Ponomarev A.G., Petukhov S.N. How to reduce damage to tubers in machine technologies // In the collection: Potatoes and vegetables. 2019. №3. pp. 14-16. – DOI: 10.25630/PAV.2019.48.28.002

2. Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G., Gadzhiev I.P. Operating conditions of the separating elevator of potato harvesters on waterlogged soils // Science in Central Russia. 2022. No. 2(56). pp.98-106. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106

3. Gadzhiev P.I., Shestakova E.V., Ramazanova G.G. Theoretical study of the digging share of a potato harvester to reduce crop losses and soil erosion. Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2022. V.32. No. 2. pp.263-278. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202202.263-278

4. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. A method for a comprehensive assessment of the quality of the performance of technological operations of an energy-resource-saving technology for harvesting root crops and potatoes // Agroengineering. 2022. V.24. No. 1. P.12-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16.

5. Kostenko M.Y., Ruzimurodov A.A., Byshov D.N., Golakhov A.A., Yakutin N.N. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020 Vol. 422(1). 012032

6. Zhbanov N.S., Evtekhov D.V., Beznosyuk R.V. [et al.] Study of the performance indicators of potato harvesters with modernized working bodies // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. Ryazan, RGATU, 2021. No. 1 (49). pp. 112-119.– DOI 10.36508/RSATU.2021.49.1.017.

7. Aniket U., Rahul B., Sarthak D., Vipul R., Deepak Ch. Development of potato harvesting model. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2017;4:1567-1570.

8. Edrris M., Al-Gaadi K., Hassaballa A. [et al.] Impact of soil compaction on the engineering properties of potato tubers // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2020. Vol. 13, Issue 2. Pp. 163-167. – URL: https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf

9. Pasaman, B., Zakharchuk V. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger // ECONTECHMOD. 2012. no.2. Pp. 43-47. – URL: http://www.journals.pan.pl/dlibra/publication/98931/edition/85237/content

10. Gadzhiev P.I., Bashkirov A.P., Ramazanova G.G., Gadzhiev I.P., Shershnev N.S. Influence of technological methods on potato yield // Science in Central Russia. 2022. No. 3(57). pp. 41-47.– DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47.

Информация об авторах

П.И. Гаджиев – доктор технических наук; А.П. Башкиров – доктор технических наук; Г.Г. Рамазанова – кандидат технических наук; И.Г. Гаджиев – соискатель; Н.С. Шершнев – аспирант.

Information about the authors

P. Hadzhiev – PhD in Engineering; A. Bashkirov – PhD in Engineering; G. Ramazanova – PhD in Engineering; I. Hadzhiev – degree seeking applicant; N. Shershnev – Post-graduate student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 02.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.33.022.69
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-78-84

ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БУНКЕРА И ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ СЕМЯН В БУНКЕРЕ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Анна Георгиевна Уварова[1], Николай Евгеньевич Филатов[2]
[1,2] Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова, г. Курск, Россия
[2]nicolyafilatov@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Николай Евгеньевич Филатов, nicolyafilatov@gmail.com
Corresponding author: Nikolay Filatov, nicolyafilatov@gmail.com

Реферат. *Важную роль в технологическом процессе посева семян дисковым механическим высевающим аппаратом играет истечение семян из бункера. Анализ исследований данного процесса показал, что истечение семян зависит от геометрии бункера и выпускного отверстия, физико-механических свойства материалов, условия загрузки, и выпуска. Приведен анализ конструкции симметричного щелевого бункера, в котором движение семян происходит в пределах канала выгрузного отверстия. Представлена методика расчета его геометрических параметров. Технологический объем семенного бункера определен через сумму активного и пассивного объема. Бункер представлен в виде двух фигур верхней части (параллелепипеда) и нижней части (обелиска). Получено уравнение для определения высоты обелиска, которая определяется при условии ссыпания всей массы семян в выходное отверстие бункера, что возможно при условии, если угол наклона боковых стенок больше угла трения семян о поверхность бункера. Рассмотрены силы, действующие на непрерывно движущийся поток семян в бункере, выделив бесконечно малый горизонтальный элемент толщиной dx в бункере. Теоретически определены сжимающие силы на зерновой поток. Установлен метод оценки скорости истечения семенного потока из бункера и его пропускная способность*.

Ключевые слова*: бункер, движение семян, нормальное истечение, сила, разгрузочное окно, поток, высевающий аппарат*.

THE MAIN GEOMETRIC PARAMETERS OF THE HOPPER AND DYNAMICS OF THE MOVEMENT OF SEEDS IN THE HOPPER OF THE SOWING MACHINE

Anna Uvarova[1], Nikolay Filatov[2]
[1,2]Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia
[2]nicolyafilatov@gmail.com.

Abstract. *An important role in the technological process of sowing seeds with a mechanical disk sowing machine is played by the outflow of seeds from the hopper. Analysis of the studies of this process showed that the expiration of seeds depends on the geometry of the hopper and the outlet, the physical and mechanical properties of the materials, the loading conditions, and the release. An analysis of the design of a symmetrical slotted hopper is given, in which the movement of seeds occurs within the channel of the unloading opening. A method for calculating its geometric parameters is presented. The technological volume of the seed hopper is determined through the sum of the active and passive volume. The bunker is presented in the form of two figures of the upper part (parallelepiped) and the lower part (obelisk). An equation is obtained for determining the height of the obelisk, which is determined under the condition that the entire mass of seeds is poured into the outlet of the hopper, which is possible provided that the angle of inclination of the side walls is greater than the angle of friction of the seeds on the surface of the hopper. The forces acting on a continuously moving flow of seeds in the bunker are considered, having singled out an infinitely small horizontal element with a thickness dx in the bunker.*

Theoretically, the compressive forces on the grain flow are determined. A method for estimating the speed of the seed flow from the hopper and its throughput has been established.

Keywords: *hopper, seed movement, normal outflow, force, discharge window, flow, seeding apparatus.*

Для цитирования: Уварова А.Г., Филатов Н.Е. Основные геометрические параметры бункера и динамика движения семян в бункере высевающего аппарата // Наука в Центральной России. 2022. № 6 (60), С. 78-84. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-78-84.

For citation: Uvarova A, Filatov N. The main geometric parameters of the hopper and dynamics of the movement of seefs in the hopper of the sowing machine. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 78-84. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-78-84.

Введение. Основным агротехническим показателем качества посева является равномерное распределение семян вдоль рядка. Дисковые высевающие аппараты лучше всего отвечают этому условию. Увеличение производительности и точности посева механических, высевающих аппаратов сеялок, во многом зависит от пропускной способности бункеров, которые часто применяются не только в качестве транспортирующих устройств, но также в качестве дозирующих устройств [1,2].

Бункер - обязательный узел в установках, работающих с сыпучими материалами. В высевающих агрегатах – это емкость определенной геометрической формы и размеров для кратковременного хранения и высева посевного материала. Несмотря на повсеместное распространение бункеров, теория их рабочего процесса до настоящего времени недостаточно изучена. В технологическом процессе устойчивое нормальное истечение семян, особенно мелкосеменных культур, во многом зависит от формы бункера, разгрузочного окна и типа истечения [3]. Как указано в работах [3,4], форма бункера должна обеспечивать максимальное заполнение и полную разгрузку без образования «мертвых» зон, где происходит задержка семян, и предотвращать возможность сводообразования (зависания) семян над разгрузочными отверстиями, нарушающего режим свободного истечения». Авторы работы [3] утверждают также, что угол наклона стенок бункера должен быть на 10–15° больше угла естественного откоса семян для того, чтобы у стенок воронки не образовывалась пассивная зона, в пределах которой семена в начале разгрузки остаются неподвижными, затем располагаются по углу естественного откоса, а затем скользят вдоль стенок бункера.

Наибольшее распространение в конструкциях высевающих аппаратов нашли симметричные щелевые бункера. Для данной формы бункера движение семян происходит в пределах канала выгрузного отверстия.

Материалы и методы исследования. Технологический объем семенного бункера определяется как сумма активного и пассивного объема [4,5]:

$$V_T = V_A + V_n, \quad (1)$$

где V_A – активный объем - высеваемый объем семян, м^3;

V_n – пассивный объем - невысеваемый объем семян, м^3.

Активный объем

$$V_a = \frac{10^{-6} \times m'_{cp} \times q \times Ln}{j}, \quad (2),$$

где $m_{ср}$ – средняя штучная подача семян, шт./м;

g– масса 1000 семян, г^3,

L – проектируемая длина гонов, м;

n – проектируемое количество гонов дозаправки, шт.;

j – объемная масса высеваемого материала, г/м^3.

Пассивный объем

$$V_n = V_T(1-\beta) \quad (3)$$

где β – коэффициент использования объема бункера, β=0,9.

Причем $\beta=\frac{V_A}{V_T}$ (4)

После преобразований получим, что технологический объем бункера (м^3) будет определять формула:

$$V_T=\frac{10^{-6}\times m_{ср}\times g\times L\times n}{j\times\beta} \quad (5)$$

Бункер для семян состоит из двух фигур верхней части (параллелепипеда) и нижней части (обелиска)

Обелиск – это фигура, состоящая из двух прямоугольных оснований верхнего и нижнего, которые располагаются в параллельных плоскостях, а противоположные грани одинаково наклонены к основанию, но не пересекаются в одной точке [6].

Объем прямоугольного параллелепипеда определятся из следующего выражения:

$$V_в=a\cdot b\cdot h,\ м^3, \quad (6)$$

где a – длина параллелепипеда, м;
b – ширина параллелепипеда, м;
h – высота параллелепипеда, м.

Объем обелиска

$$V_0=\frac{h_1[(2a+a_1)b+(2a+a)b_1}{6} \quad (7)$$

где a – длина меньшего основания обелиска, м;
b – ширина меньшего основания обелиска, м;
h_1 – высота обелиска, м.

Высота обелиска определяется при условии ссыпания всей массы семян в выходное отверстие бункера. Это возможно при условии, если угол наклона боковых стенок больше угла трения семян о поверхность бункера.

Исходя из данного условия, получаем выражение для определения высоты обелиска:

$$h_1=\frac{(a-a_1)tg£}{2}, \quad (8)$$

Соответственно

$$V_0=\frac{[(2a+a_1)b+(2a+a)b_1\cdot(a-a_1)tg£}{12}$$

Рассмотрим силы, действующие на непрерывно движущийся поток семян в бункере, выделив бесконечно малый горизонтальный элемент толщиной dx, который является механической системой материальных сил.

Схема сил зернового потока в бункере представлена на рисунке 1.

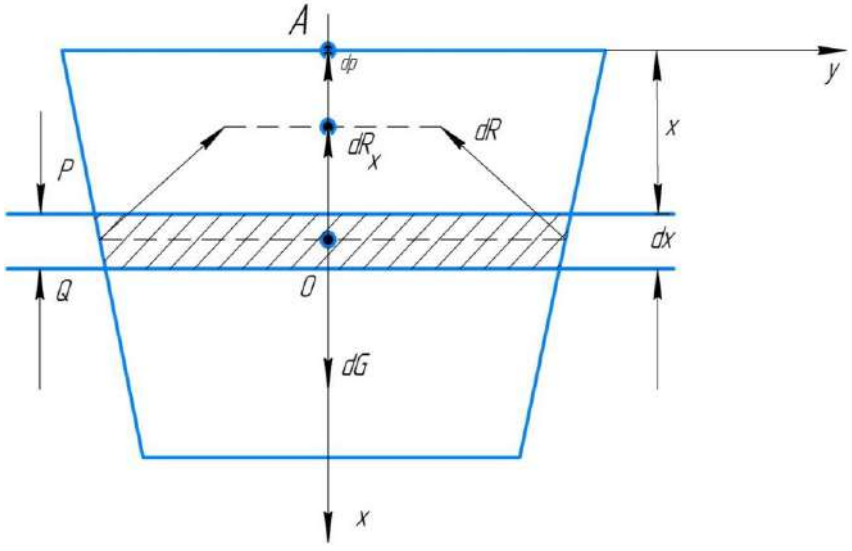


Рисунок 1 – Схема сил зернового потока в бункере

В этом случае будут действовать силы: *dG* – сила тяжести, *P* и *Q* =*P*+*dP*, вертикальные силы элемента верхних и нижних слоев, dR – реакции стенок бункера.

Спроецировав действующие силы на ось АХ, составим дифференциальное уравнение движения потока

$$dm \cdot a = dG - dR_x - dP, \quad (9)$$

где *dm* – масса элемента;

$a = a_G$ – проекция ускорения массы на ось АХ;

dR_x – сумма реакции поверхностей стенок бункера;

Q – *P* = *dP* – приращение осевого усилия *P* на расстоянии *dx*.

Определим составные части уравнения (9)

Масса элемента dx

$$Dm = jFdx, \quad (10)$$

где *F=F(x)* - площадь поперечного сечения разгрузочного окна;

j – плотность зерна;

Сила тяжести – $dG = gdm = jgFdx$ (11)

dR_x – сумма реакций стенок бункера.

Допустив, что распорные свойства зерновой среды будут пропорциональны распорным силам *Q* и *P* будут по модулю практически равны, то

$$dR_x = KPdx \quad (12)$$

где *K=K(x)* – коэффициент сопротивления, зависящий от многих факторов (формы зоны подачи семян к высевающему диску, физико-механические свойства семян и др.).

Результаты исследований. Основной задачей расчета является определение сжимающей силы *P*, зависящей от переменных *x* и времени *t*, то есть *P = p (x, t)*

Приращение осевой силы dP является частным дифференциалом $d_xP=\frac{dP}{dx}\,dx$.

Подставив найденные значения в уравнение (9), получим дифференциальное уравнение движения сплошной сыпучей среды [7,8].

$$\frac{dP}{dx}+KP = gF(g-a). \quad (13)$$

Иногда в расчетах используют вертикальное давление $б=\frac{P}{F}$. Откуда *P* можно записать

$$P=Fб=F(x)б(x,t)$$

или

$$\frac{dP}{dx}=б\frac{dF}{dx}+F\frac{dб}{dx}. \quad (14)$$

Включив *P* и $\frac{dP}{dx}$ в (11), получим

$$\frac{d6}{dx} + (К + \frac{F|}{F})\, б = g(q-a), \quad (15)$$

где $F^|$ – площадь разгрузочного окна.

В данном уравнении ускорение а не выражено через закон течения, что затрудняет его практическое использование.

Эту связь можно получить через объемный расход

q=FU (или нормой высева)

Откуда $U=\frac{q}{F}=\frac{q(t)}{F[x(t)]}$, (16)

где *x=x(t)* – закон движения;

$F[x(t)]=F(t)$ – закон изменения площади поперечного сечения переходного участка [9].

Продифференцировав (14), получим

$$a=\frac{dV}{dt}=\frac{d}{dt}\frac{(q)}{f}=\frac{d}{dt}\{\frac{q(t)}{F[x(t)]}\}$$

или окончательно

$$a=\frac{qF-qfF^{|}x}{F^2}, \quad (17)$$

где $q=\frac{dq}{dt}$; $F^{|}=\frac{dF}{dx}$; $x=\frac{dx}{dt}=U$

С учетом, что $x= U=\frac{q}{F}$, выражение ускорения будет выглядеть

$$A=\frac{1}{F}q-\frac{F^{|}}{F^3}q^2=a_1+a_2 \quad (18)$$

Процесс расхода семян в аппарате считается установившимся и характеризуется ускорением $a_2=\frac{F^{|}}{F^3}q^2$.

Подставив найденные значения ускорения в (13) и (15), получим

$$\frac{dP}{dx}+KP=j(gF-q+\frac{F^{|}}{F^3}q^2); \quad (19)$$

$$\frac{d6}{dx}+(K+\frac{F^{|}}{F})\,6=\frac{j}{F}(gF-q+\frac{F^1}{F^2}q^2). \quad (20)$$

Выражение (19) определяется вертикальным усилием, а (20) – давление при движении сыпучего материала

Исходя из условия правильной пирамидальной укладки шаровых мелкозернистых зерен и закона истечения зернистого материала из бункера, гидравлический радиус сечения определяется

$$R_r=\frac{2F}{S}, \quad (21)$$

где S – площадь диаметрального сечения одного шара.

Запишем отношение сил Q и P

$$\frac{d6}{dx}=\frac{R_r d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}{R_r d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}, \quad (22)$$

где d – диаметр семян;

β – угол укладки зерен сыпучего материала;

a – угол отклонения стенки бункера от вертикали;

φ - угол внешнего трения зерен о стенки бункера;

ψ – угол внутреннего трения зерен.

Определим дискретное значение приращения ΔR_x

$$\Delta R_x=\frac{2d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}{R_r+d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}\cdot P$$

или

$$dR_x=\frac{tg\beta+tg(\beta\pm\psi)\cdot tg(\varphi\pm a)}{R_r+d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}\cdot Pdx \quad (23)$$

Учитывая несоизмеримо малые размеры d относительно R_r, упростим знаменатель (23) и перенеся эти изменения в (12), получим выражение для определения коэффициента сопротивления

$$K=\frac{1}{R_r}\,tg\beta\cdot tg(\beta\pm\psi)\cdot tg(\varphi\pm a) \quad (24)$$

Обозначив $tg\beta\cdot tg(\beta\pm\psi)\cdot tg(\varphi\pm a)$ значением K_0, получим

$$K=\frac{K_0}{R_r} \quad (25)$$

При этом, K_0 не зависит от линейных размеров поперечного сечения и для прямоугольного выгрузного окна со сторонами a и b

$$R_{\text{г}} = \frac{2F}{S} = \frac{ab}{a+b}. \quad \text{(гидравлическое истечение)} \tag{26}$$

$$R_{\text{гН}} = \frac{0{,}5\ a \cdot b}{\text{a+b}} \text{ (нормальное истечение)} \tag{27}$$

Практически, с достаточной точностью, скорость семенного потока из бункера можно определить [10]

$$U = 5{,}65 \cdot \lambda \sqrt{R_r} \tag{28}$$

где λ= 0,55…0,65 – коэффициент истечения для семенного потока.

Однако, пропускная способность бункера будет скорректирована (чаще ограничена) нормой высева сельскохозяйственной культуры.

Выводы. Таким образом, в работе была представлена методика расчета геометрических параметров семенного бункера и сил, влияющих на динамику движения семенного потока в бункере.

Установлен метод оценки скорости истечения семенного потока из бункера и его пропускная способность.

Список источников

1. Красовских В.С., Клишин А.И. Высевающие устройства посевных машин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. №8. С.48–51.

2. Горюшинский И.В. Повышение эффективности хранения зерновой продукции в бункерах/И.В. Горюшинский, И.Н. Мазько// Хранение и переработка сельхозсырья-2008.-№ 11.-С.77-78.

3. Третьяков, Г.М. Бункер с донными щелевыми отверстиями для зернохранилищ. Совершенствование конструкции и технологии использования сельскохозяйственной техники Текст. / Г.М. Третьяков, В.С. Горюшинский, А.В. Варламов/Сборник научных трудов, СГСХА, Самара, 1999. -133-136с.

4. Гячев Л.В. Основы теории бункеров – Новосибирск из-во Новосибирского университета, 1992. -309 с.

5. Гячев, Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / П.В. Гячев // М.: Машиностроение, 1968. - 184 с.

6. Гячев, Л.В. Основы теории бункеров и силосов. Алтайский политехнический институт им. И.И. Ползунова: Барнаул. - 1986. -86 с.

7. Богомягких В.А., Пепчук А.П. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов – Зерноград ВНИПТИМЭСХМ, 1996. – 164 с

8. О форме и условном диаметре реальных частиц зернового материала Богомягких В.А., Несмиян А.Ю., Климович А.С., Ляшенко А.Л., Скудина А.А. Вестник аграрной науки Дона. 2014. Т. 2. №26. С. 30-34. ISSN: 2075-6704.

9. Богомягких, В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов [Текст] / В.А. Богомягких // Издательство Ростовского университета, 1973. - 152 с.

10. Богомягких В.А., Ялтанцев В.Г., Семененко Т.Н. Процесс образования сводов в силосах и бункерах при истечении сыпучих материалов // В. кн.: Механика деформируемых систем в сельхозмашиностроении. - Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1974. – с. 115-164.

References

1. Krasovskikh V.S., Klishin A.I. Seeding devices of sowing machines // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2007. No. 8. pp.48–51.

2. Goryushinsky I.V. Improving the efficiency of storage of grain products in bunkers / I.V. Goryushinsky, I.N. Mazko // Storage and processing of agricultural raw materials - 2008. - No. 11. - P. 77-78.

3. Tretyakov, G.M. Bunker with bottom slotted openings for granaries. Improving the design and technology of using agricultural machinery. Text. / G.M. Tretyakov, V.S. Goryushinsky, A.V. Varlamov / Collection of scientific works, SGSKhA, Samara, 1999. -133-136s.

4. Gyachev L.V. Fundamentals of the theory of bunkers - Novosibirsk from Novosibirsk University, 1992. -309 p.

5. Gyachev, L.V. The movement of bulk materials in pipes and bunkers / P.V. Gyachev // M.: Mashinostroenie, 1968. - 184 p.

6. Gyachev, L.V. Fundamentals of the theory of bunkers and silos. Altai Polytechnic Institute. I.I. Polzunova: Barnaul. - 1986. -86 p.

7. Bogomyagkikh V.A., Pepchuk A.P. Intensification of unloading of bunker devices in the conditions of arch formation of granular materials - Zernograd VNIPTIMESHM, 1996. - 164 p.

8. On the shape and conditional diameter of real particles of grain material Bogomyagkikh V.A., Nesmiyan A.Yu., Klimovich A.S., Lyashenko A.L., Skudina A.A. Herald of agrarian science of the Don. 2014. Vol. 2. No. 26. pp. 30-34. ISSN: 2075-6704.

9. Bogomyagkikh, V.A. Theory and calculation of bunkers for granular materials [Text] / V.A. Bogomyagkikh // Rostov University Publishing House, 1973. - 152 p.

10. Bogomyagkikh V.A., Yaltantsev V.G., Semenenko T.N. The process of formation of arches in silos and bunkers during the outflow of bulk materials // V. book: Mechanics of deformable systems in agricultural engineering. - Rostov-on-Don: RISHM, 1974. - p. 115-164.

Информация об авторах

А.Г. Уварова – кандидат технических наук, доцент; Н.Е. Филатов – аспирант.

Information about the authors

A. Uvarova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N. Filatov – graduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 19.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.796
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-85-91

СОСТОЯНИЕ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА В ТИПИЧНОМ ПОДСОБНОМ ХОЗЯЙСТВЕ КОЛОНИИ-ПОСЕЛЕНИИ В СИСТЕМЕ 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 перспективного развития ресурсного потенциала подсобного хозяйства в одной из колоний поселения сельскохозяйственного направления. Выделены перспективные отрасли развития растениеводства типичной колонии поселения уголовно-исполнительной системы: картофелеводство, зерноводство, овощеводство и кормопроизводство. Подробно охарактеризованы технологии выращивания и уборки картофеля и озимой пшеницы. Сделаны выводы по полному обеспечению подсобного хозяйства необходимой техникой для выполнения технологических операций по возделыванию этих культур, но преимущественно используется уже устаревшая техника, что увеличивает трудоемкость и сроки проведения полевых работ и снижает производительность. Трехлетний мониторинг данных по посевным площадям показал положительную динамику увеличения посевной площади только у озимой пшеницы, за 3 года посевная площадь которой увеличилась почти в два раза. Определены и выделены категории земель за анализируемые три года использования, находящиеся в ведении рассматриваемого типичного территориального органа уголовно-исполнительной системы, необходимые для возделывания потребляемых культур. Дана оценка экономической эффективности использования посевных площадей при помощи расчета урожайности и выхода валовой продукции на единицу к земельной площади. Сделан вывод о недостаточном получении урожая колонии поселения, по сравнению с гражданскими аграрными предприятиями. Исходя из предназначения подсобных хозяйств ФСИН России следует, что главной задачей их функционирования на сегодняшний день является – максимальное самообеспечение продуктами питания собственного производства, что и подтверждается основными направлениями, рассмотренными в данной статье.*

Ключевые слова: *подсобные хозяйства, колония поселения, уголовно-исполнительная система, продовольственное обеспечение, урожайность, растениеводство.*

THE STATE OF RESOURCE POTENTIAL IN A TYPICAL SUBSIDIARY FARM OF A COLONY-SETTLEMENT IN 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 perspective development of the resource potential of subsidiary farming in one of the colonies of an agricultural settlement are considered. Perspective branches of the development of crop production of a typical colony of a settlement of the penitentiary system are identified: potato growing, grain growing, vegetable growing and fodder production. The technologies for growing and harvesting potatoes and winter wheat are described in detail. Conclusions are drawn on the full provision of subsidiary farming with the necessary equipment to perform technological operations for the cultivation of these crops, but obsolete equipment is mainly used, which increases the labor intensity and timing of field work and reduces productivity. Three-year monitoring of data on sown areas showed a positive trend in the increase in sown area only for winter wheat, for 3 years the sown area of which almost doubled. The categories of lands for the analyzed three years of use, which are under the jurisdiction of the considered typical territorial body of the penitentiary system, necessary for the cultivation of consumable crops, are determined and allocated. An assessment of the economic efficiency of the use of sown areas is given by calculating the yield and output of gross output per unit to the land area. The conclusion is made about the insufficient harvest of the colony of the settlement, in comparison with civilian agricultural enterprises. Based on the purpose of subsidiary farms of the Federal Penitentiary Service of Russia, it follows that the main task of their functioning today is the maximum self-sufficiency in food products of their own production, which is confirmed by the main directions discussed in this article.*

Keywords*: subsidiary farms, colony settlements, penal system, food security, productivity, crop production.*

Для цитирования: Зазуля А.Н., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В. Состояние ресурсного потенциала в типичном подсобном хозяйстве колонии-поселении в системе ФСИН// Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 85-91. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-85-91.

For citation: Zazulya A., Makarov V., Makarova O., Gasparyan S. The state of a resource potencial in a typical subsidiary farm of a colony-settlement in the FSIN system. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 85-91. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-85-91.

Введение. В соответствии с Программой самообеспечения перед исследуемым учреждением, как единственной в регионе колонией сельскохозяйственного типа, стоит задача максимального продовольственного обеспечения всех исправительных учреждений области. Их потребность в продуктах питания на сегодняшний день значительно превышает валовый сбор сельскохозяйственных культур в подсобном хозяйстве колонии-поселения. Низкие показатели урожайности не позволяют осуществить поставки продукции в необходимом объеме.

В настоящее время уголовно-исполнительная система сталкивается с множеством проблем при организации сельскохозяйственного производства в своих учреждениях. Одной из основных из них является функционирование учреждений и органов УИС в статусе казенных, что, в соответствии со ст. 161 Бюджетного Кодекса РФ, накладывает специфические ограничения на осуществление приносящей доход деятельности. Так, исправительные учреждения не могут получать субсидии на производимую сельхозпродукцию; по возмещению затрат на приобретение горюче-смазочных материалов, удобрений, семян; у них нет возможности привлекать кредитные ресурсы для технического перевооружения и т.д.

Вопросами развития подсобных хозяйства исправительных учреждений занимались такие ученые, как Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Фазлиев И.Н., Светлаков А.Г., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В, Кибиров А.Я., Наприс Ж.С. [1-7].

Материалы и методы. Исходя из этих условий, постараемся разработать мероприятия, способствующие совершенствованию деятельности отрасли растениеводства в одном из типичных подсобных хозяйств колонии поселения, для чего проведем экономический анализ ресурсного потенциала отрасли растениеводства и рассмотрим тенденции ее развития. Как известно, растениеводческая продукция пенитенциарной системы представляет основу обеспечения животноводства кормами, продуктами питания осужденных, часть продукции реализуется на нужды гражданскому населению. В исследуемом подсобном хозяйстве растениеводство представлено такими отраслями как картофелеводство, зерноводство, овощеводство и кормопроизводство.

Выращивание картофеля производится чисто для продовольственного назначения. Посадка картофеля осуществляется в соответствии с планом, исходя из внутренних потребностей и возможных поставок этой культуры в другие исправительные учреждения региона.

Ознакомимся с технологией выращивания картофеля в 2021 году в подсобном хозяйстве учреждения (таблица 1).

Таблица 1 – Технология выращивания и уборки картофеля в типичном подсобном хозяйстве колонии поселения

Наименование работ	Используемая сельскохозяйственная техника
Вспашка	Т-150К + ПЛН-5-35
Боронование	Т-150К + СП-11; БЗТС-1,0; МТЗ
Культивация	Т-150К + КРГ 3,6
Погрузка минеральных удобрений	МТЗ-82.1 + КУН-0,8
Внесение удобрений	МТЗ-82.1 + РУМ Л-116
Транспортировка семенного материала	МАЗ; КамАЗ
Транспортировка удобрений	ЗИЛ-130
Подвоз воды	МТЗ-82.1 + Бочка
Посадка картофеля с протравливанием и внесением удобрений	МТЗ-82.1 + Л-207
Междурядная обработка	МТЗ-82.1 + КОН-2,8
Обработка гербицидами	МТЗ-82.1 + Опр-ль Demarol
Окучивание	МТЗ-82.1 + КГО-3,0
Фунгицидная обработка	МТЗ-82.1 + Опр-ль Demarol
Скашивание ботвы	МТЗ-82.1 + КИР-1,5М
Уборка картофеля	МТЗ-82.1 + КПК-2-01
Транспортировка картофеля	МАЗ; КамАЗ
Укладка на хранение, сортировка	КСП-15В

Анализ показывает, что в колонии-поселении полностью соблюдается технологический процесс уборки картофеля и имеется для этого вся необходимая сельскохозяйственная техника.

Овощеводство представлено выращиванием огурцов в закрытом грунте. Для этой цели используются три теплицы общей площадью 90 м^2. В 2021 году было собрано 4,18 ц огурцов, которые наряду с внутренним потреблением были реализованы для продажи сторонним потребителям.

Ведущей отраслью растениеводства в рассматриваемом подсобном хозяйстве является зерноводство. Доля посевной площади зерна в 2021 году составила 80%, а в 2022 году увеличилась до 85%. Это объясняется ценностью зерна как продукта питания для человека и необходимостью питательного корма для сельскохозяйственных животных. По своей доступности и потребительским свойствам продукты, производимые из зерна, способны удовлетворить до 40% суточной потребности человека в пище, а с учетом доли зерна в комбикормах и концентратах для животных и птицы (для производства мяса, яиц, молока) соответственно до 60%.

Зерноводство в колонии поселении представлено выращиванием озимой пшеницы и ярового ячменя. Озимая пшеница выращивается для производства пшеничной муки 2 сорта. С этой целью на территории колонии-поселения функционирует мукомольный участок. Для получения муки используется мельница Фермер-III а. Из зерен ячменя получают ценный высокоэнергетический концентрированный корм, пригодный для всех видов сельскохозяйственных животных.

Рассмотрим технологию выращивания зерновых культур, возделываемых в 2021 г. (таблица 2).

Таблица 2 – Технология выращивания и уборки озимой пшеницы в типичном подсобном хозяйстве колонии поселения

Наименование работ	Используемая с/х техника
Дискование	Т-150К + БДТ-7; ХТА-220 + БДМ-3х4
Протравливание семян	ПС-5
Погрузка семян	МТЗ-82.1 + КУН-0,8
Подвоз семян	КамАЗ
Посев	МТЗ-82.1 + СЗТ-5,4
Боронование	МТЗ-82.1 + СП-11; БЗТС-1,0
Погрузка минеральных удобрений	МТЗ-82.1 + КУН-0,8
Подвоз минеральных удобрений	ЗИЛ-130
Внесение удобрения	МТЗ-82.1 + РУМ Л-116
Уборка зерна	Зерноуборочный комбайн Полесье
Отвоз зерна	КамАЗ
Сортировка зерна	ОВС-25
Прессование соломы	МТЗ-82.1 + ПР-110М
Погрузка соломы	МТЗ-82.1 + КУН-0,8
Отвоз соломы	КамАЗ

Можно сделать общий вывод, что в исследуемом подсобном хозяйстве процессы выращивания и уборки сельскохозяйственных культур полностью механизированы, однако преимущественно используется уже устаревшая техника, что увеличивает трудоемкость и сроки проведения полевых работ и снижает производительность.

В рамках организации кормопроизводства в колонии - поселении функционирует комбикормовый участок, который имеет в своем составе комбикормовый завод ПРОК-500, смеситель комбикормов СВШ-2 и две зернодробилки ДМП-7,5. Основным сырьем для производства кормов служит выращиваемый яровой ячмень. Также на корм животным используют побочные продукты, образующиеся при помоле зерна пшеницы, из которых изготавливают пшеничные отруби. Кроме этого, в колонии-поселении выращивают многолетние травы, которые используются на сено. Надо отметить, что учреждение полностью обеспечивает себя кормами для сельскохозяйственных животных и птиц.

Общеизвестно, что главным средством производства при организации растениеводства является земля, пригодная для выращивания культурных растений. За период 2019-2021 годы в колонии-поселении общая площадь сельскохозяйственных выросла с 1304, 62 га до 1388,67 га, аналогичную тенденцию имела и площадь пашни: она увеличилась с 682,1 га до 841,13 га. Сведения о наличии и распределении земель сельскохозяйственного назначения за последние три года представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Площадь земель сельскохозяйственного назначения в типичной колонии-поселения за 2019-2021 гг.

Наименование показателя	2019 г.	2020 г.	2021 г.
	га	га	га
Общая площадь земель сельскохозяйственного назначения	1414	1414	1414
Площадь сельскохозяйственных угодий, в том числе:	1304,62	1332,77	1388,67
Площадь пашни, из нее:	682,1	700	841,13

посевная площадь	465	550	430
неиспользуемая площадь	217,1	150	411,13
естественные сенокосы	67,18	67,18	67,18

Динамика такова: удельный вес сельскохозяйственных угодий в общей земельной площади в 2019 составил 92,3%, в 2020 – 94,3%, то в 2021 году -98,2%, то есть за три года площадь сельхоз угодий увеличилась на 6%. Удельный вес пашни в структуре сельскохозяйственных угодий в 2019 году составлял 52,2%, в 2020году - 52,5%, а в 2021 году - 60%. Стоит отметить, что в 2021 году осталась необработанной почти половина площади пашни.

В хозяйстве также имеются естественные сенокосы, площадь которых остается неизменной и составляет 67,18 га.

Результаты и их обсуждение. Для оценки экономической эффективности использования посевных площадей воспользуемся таким показателем как урожайность культур, расчет которого производится исходя выхода валовой продукции в расчете на единицу земельной площади (таблица 4). Как показывает практика, получение высокой урожайности зависит от множества факторов, к которым относятся качественные показатели почвы, выбранные для посева сорта растений, технология возделывания культур, природно-климатические условия и т.д.

Таблица 4 – Посевные площади и валовый сбор сельскохозяйственных культур в типичной колонии-поселения за 2019-2021 гг.

Наименование культуры	Посевная площадь, га.			Валовый сбор, ц.		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Пшеница озимая	180	220	250	4177	5139	4114
Ячмень яровой	245	300	150	3106	3875	2342
Картофель	40	30	30	4637	5000	2000

Анализ показывает, что положительная динамика увеличения посевной площади наблюдается только у озимой пшеницы, которой и под урожай 2022 года было засеяно 330 га. Так, за 3 года посевная площадь этой зерновой культуры в совокупности увеличилась на 150 га. Резкое уменьшение посевной площади, а именно в 2 раза, наблюдается у ярового ячменя в 2021 году по отношению к 2020 году. Постепенно уменьшается и посевная площадь картофеля, составляя к 2022 году всего 20 га, что в 2 раза меньше площади посева 2019 года. Рассчитаем урожайность каждой сельскохозяйственной культуры (табл.5).

Таблица 5 – Урожайность сельскохозяйственных культур в типичной колонии-поселении за 2019-2021 гг.

Наименование культуры	Урожайность ц/га		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Пшеница озимая	23,2	23,4	16,5
Ячмень яровой	12,6	12,9	15,6
Картофель	115,9	166,7	66,7

Урожайность картофеля в 2021 году получена 66,7 ц/га, что в несколько раз ниже средней урожайности, полученной в этом году в данной области. Справедливости ради надо отметить, что урожайность 2020 года составила 166,7 ц/га, что соответствует средним региональным показателям урожайности картофеля. На перспективу следовало бы планировать посевы картофеля не менее 30 га картофеля, что при средней урожайности этой культуры гарантировало бы не только полную обеспеченность колонии-поселения, но и позволило бы поставлять картофель в другие исправительные учреждения территориального органа.

Низкая урожайность в 2021 году получена и озимой пшеницы, которая составила 16,5 ц/га. Хотя предыдущие два года были получены более высокие показатели, так в 2020 году урожайность наблюдалась в размере 23,4 ц/га. Средний региональный показатель урожайности озимой пшеницы - 44,9 ц/га. Таким образом, несмотря на более высокие значения полученной в 2020 году относительно 2021 года урожайности, она была почти в 2 раза ниже средних показателей по области.

Урожайность ярового ячменя в 2021 году составила 15,6 ц/га. Наблюдается положительная динамика относительно двух прошлых лет, но, несмотря на это, данный результат также в 2 раза ниже средней урожайности по области.

Можно сделать вывод, что эффективность работы участков растениеводства учреждения, в части получения урожая на единицу площади, в сравнении с гражданскими аграрными предприятиями в настоящее время низкая.

Для анализа экономической эффективности деятельности подсобного хозяйства кроме натуральных показателей проанализируем также степень самообеспечения колонии-поселения производимой продукцией.

Исходя из данных о среднесписочной численности спецконтингента, определим потребность учреждения в двух таких видах жизненно необходимых продуктах как картофель и мука 2 сорта в соответствии с минимальными нормами питания, указанными в Постановлении Правительства от 11.04.2005 № 205 (таблица 6).

Таблица 6 – Потребность типичной колонии-поселения в продовольствии за 2019-2021 гг.

Наименование продукта	Норма питания, г/сутки		Потребность, кг/год		
	муж.	жен.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Мука пшеничная 2 сорта	5	5	414,275	474,5	543,85
Хлеб пшеничный из муки 2 сорта, из него:	250	250	20 713,75	23 725	27 192,5
мука пшеничная 2 сорта	-	-	14 955,78	17 129,96	19 633,57
Итого:					
Мука пшеничная 2 сорта	-	-	15 370,1	17 605,5	20 177,4
Картофель	550	500	45 223,5	51 684	59 257,75

На основе показателей о валовом сборе культур (таблица 4), и продовольственной потребности учреждения (таблица 6) сделаем вывод о степени самообеспеченности колонии – поселения картофелем и мукой пшеничной 2 сорта, а именно на протяжении анализируемого периода (2019-2021 годы) объемы пшеницы и картофеля собранных в типичном подсобном хозяйстве во много раз превышают собственную потребность учреждения в этих культурах.

Вывод. В соответствии с Программой самообеспечения перед исследуемым учреждением, как единственной в регионе колонией сельскохозяйственного типа, стоит задача максимального продовольственного обеспечения всех исправительных учреждений области. Их потребность в продуктах питания на сегодняшний день значительно превышает валовый сбор сельскохозяйственных культур в подсобном хозяйстве колонии-поселения. Низкие показатели урожайности не позволяют осуществить поставки продукции в необходимом объеме.

В связи с этим возникает необходимость совершенствования организации сельскохозяйственного производства в колонии-поселении с позиций повышения урожайности, расширения площадей и ассортимента выращиваемой продукции, что будет способствовать обеспечению продовольственной безопасности исправительных учреждений как отдельных регионов, так и в целом системы ФСИН

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. Фазлиев И.Н., Светлаков А.Г. Особенности развития производственных подразделений сельскохозяйственных направлений системы ФСИН в экономике России // Фундаментальные исследования. 2020. № 4. С. 120-124.

3. Макарова О.В., Гаспарян С.В. Специфика продовольственного обеспечения учреждений уголовно-исполнительной системы // – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. – 61 с.

4. Макарова О.В., Гаспарян С.В., Цацина М.Н. Повышение экономической эффективности сельскохозяйственного производства пенитенциарной системы // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. № 1 - С 43-46

5. Наприс Ж.С. Продовольственное обеспечение учреждений пенитенциарной системы: сущность, особенности и направления совершенствования / – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2019. – 189 с.

6. Макаров В.А., Новожилова Ж.С., Гаспарян С.В. Совершенствование продовольственного самообеспечения в УИС ФСИН // Журнал проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства. – 2014. № 6 - С 243-245.

7. Кибиров А.Я., Новожилова Ж.С. Организационно-экономические механизмы инновационного развития агропромышленного производства учреждений уголовно-исполнительной системы (УИС). Агропродовольственная политика России. 2016. № 2 (50). С. 13-19.

References

1. Zazulya A.N., Nagornov S.A. Improving the efficiency of the use of resources in the production of agricultural products - new technologies and equipment of a new generation for crop production and animal husbandry // Collection of scientific reports of the XXI International Scientific and Practical Conference. Tambov. 2021- p. 7-12.

2. Fazliev I.N., Svetlakov A.G. Features of the development of production units of agricultural directions of the FSIN system in the Russian economy // Fundamental Research. 2020. No. 4. pp. 120-124.

3. Makarova O.V., Gasparyan S.V. Specifics of food supply of institutions of the penal system // - Kursk: CJSC "University Book", 2020. – 61 p.

4. Makarova O.V., Gasparyan S.V., Tsatsina M.N. Improving the economic efficiency of agricultural production of the penitentiary system // International Agricultural Journal. – 2020. No. 1 - From 43-46

5. Napris J.S. Food supply of penitentiary institutions: the essence, features and directions of improvement / – Kursk: CJSC "University Book", 2019. – 189 p.

6. Makarov V.A., Novozhilova Zh.S., Gasparyan S.V. Improvement of food self-sufficiency in the Federal Penitentiary Service of the Federal Penitentiary Service // Journal of problems of mechanization of agrochemical service of agriculture. - 2014. No. 6 - From 243-245.

7. Kibirov A.Ya., Novozhilova Zh.S. Organizational and economic mechanisms of innovative development of agro-industrial production of institutions of the penal system (UIS). Agro-food policy of Russia. 2016. No. 2 (50). pp. 13-19.

Информация об авторах

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.

Information about the authors

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): 15.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-92-95

ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ЗЕРНА

Константин Николаевич Тишанинов [1]
[1]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]TishaninovKN@rambler.ru

Реферат. *Установлено, что техническое развитие делителей потока зерна должно следовать законам развития технических систем, предложенных Альтшуллером Г.С. в теории решения изобретательских задач. Показаны основные этапы исследований устройств для разделения потока зерна. Показана первоначальная необходимость создания отдельного устройства для деления потока зерна. Выход из системы зернопровода нужен для создания новой системы для качественного разделения потока зерна. Обоснована необходимость стабилизирующей емкости и принципа авторегулирования - поддержания слоя зерна в заданном диапазоне. Дальнейшее развитие этой системы направлено на упрощение конструкции и крепления устройства, а принцип авторегулирования выполнен с помощью щелевых отверстий. На третьем этапе исследования применен принцип перехода в надсистему – делитель является частью зернопровода, причем стабилизирующая емкость отсутствует как самостоятельное устройство, а ее функцию выполняет часть зернопровода. Принцип авторегулирования по-прежнему выполняют щелевые отверстия. Установлено, что щелевые отверстия снижают расходные характеристики делителя, что может привести к забиванию зернопровода. Решением этой проблемной ситуации является каскадное размещение щелевых отверстий. Полученное устройство является решением задачи качественного разделения потока зерна в зерноочистительных технологиях.*

Ключевые слова: *делители потока зерна, теория решения изобретательских задач.*

TECHNICAL DEVELOPMENT OF GRAIN FLOW SEPARATION DEVICES

Konstantin Tishaninov [1]
[1]*ALL-Russian research Institute for the use of machinery and petroleum products in agriculture, Tambov, Russian Federation*
[1]TishaninovKN@rambler.ru

Abstract. *It wos established that the technical development of grain flow dividers should follow the laws of the development of technical systems proposed by G.S. Altshuller in the theory of solving inventive problems. The main stages of research of devices for grain flow separation are shown. The initial necessity of creating a separate device for dividing the grain flow is shown. The exit from the grain pipeline system is needed to create a new system for the qualitative separation of grain flow. The necessity of a stabilizing capacity and the principle of auto-regulation - maintaining the grain layer in a given range is substantiated. The further development of this system is aimed at simplifying the design and fastening of the device, and the principle of auto-regulation is carried out with the help of slot holes. At the third stage of the study, the principle of transition to the suprasystem was applied – the divider is part of the grain pipeline, and the stabilizing capacity is absent as an independent device, and its function is performed by part of the grain pipeline. The principle of auto-regulation still performs slotted holes. It is established that the slotted holes reduce the flow characteristics of the divider, which can lead to clogging of the grain pipeline. The solution to this problem situation is the cascading placement of slot holes. The resulting device is a solution to the problem of qualitative separation of grain flow in grain cleaning technologies.*

Keywords: *grain flow dividers, theory of inventive problem solving technologies.*

Для цитирования: Тишанинов К.Н. Техническое развитие устройств для разделения потоков зерна // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 60, № 6. С. 92-95. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-92-95.

For citation: Tishaninov K. Technical development of grain flow separation devices. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 60(6): 92-95. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-92-95.

Введение.

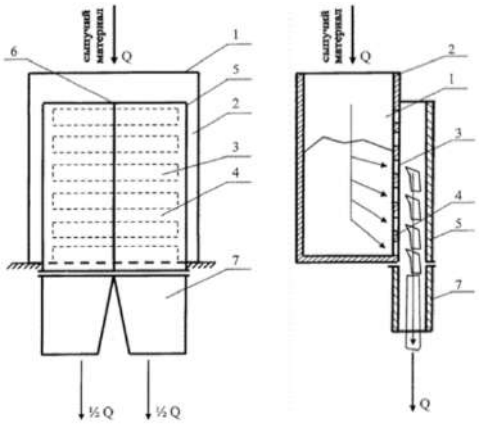
В технологических линиях по переработке зерна зачастую стоит задача разделения потока зерна на равные части. Использование флажковых делителей малоэффективно, так как они создают большую погрешность разделения. Нами был разработан делитель потока зерна, который выдавал высокую точность разделения. Он представлял отдельное устройство и выходил из системы зернопровода (Рисунок 1).

Рисунок 1 – Авторегулируемые делители потока зерна с пружинной грузовопринимающей системой (патент РФ №2341954 [1])

Результаты и обсуждение.

На первом этапе исследований пришлось отказаться от принципа развития технических систем, предложенным Альтшуллером Г.С. [4, 5, 6] – перехода в надсистему. Для качественного разделения потока зерна образовалась новая система, состоящая из подвижной стабилизирующей емкости, подвешенной с помощью пружин к раме, отводов, клапанов, регулирующих расходные характеристики. Устройство работало в режиме авторегулирования. При заполнении емкости и накоплении в ней зернового материала емкость перевешивала силу натяжения пружин и по направляющим опускалась вниз. Клапаны при этом открывались, расходные характеристики отводов увеличивались и превосходили подачу зерна в делитель. Емкость опустошалась и по направляющим поднималась вверх, а отводы закрывались.

Сложность крепления и конструкции требовали дальнейшего развития делителя массовых потоков зерна. На втором этапе исследований нами был предложен делитель с щелевыми отверстиями. (рисунок 2).



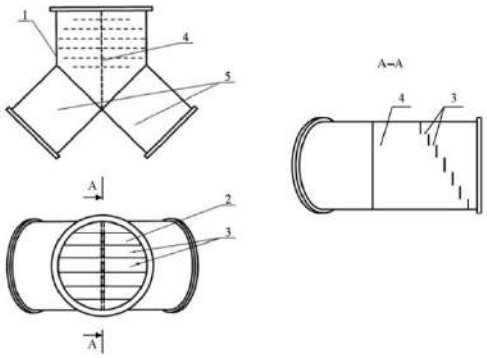
1 - стабилизирующую емкость; 2 – боковая стенка; 3 – отводящие каналы;
4 – щелевые отверстия; 5 – корпус; 6 – вертикальная перегородка; 7 – патрубки
Рисунок 2 – Делитель потока зерна с щелевыми отверстиями (Патент РФ 2459405 [2])

Данное устройство также содержало стабилизирующую емкость и сохранило принцип авторегулирования уровня слоя зерна в емкости при переменных расходных характеристиках отводов: с увеличением зерна в емкости увеличивалось число задействованных щелевых отверстий. Расход зерна увеличивался, а масса зерна в емкости уменьшалась. Аналогичным образом с уменьшением массы зерна в емкости расходные характеристики отводов уменьшались.

Отсутствие подвижных частей упрощало конструкцию делителя и повышало надежность его работы. Тем не менее, делитель представлял отдельное от зернопровода устройство, что создавало неудобство его крепления. Необходимо было создание делителя, который входил бы в систему зернопровода. Такой делитель показан на рисунке 3. Он использует принцип разделения потока зерна с помощью щелевых отверстий, а роль стабилизирующей емкости выполняет часть зернопровода. Произошло свертывание системы – отдельное устройство (делитель) отсутствовало, а его функция выполнялась тройником зернопровода.

1 –корпус; 2 - боковую стенку; 3 – щелевые отверстия; 4 - вертикальную перегородку;
5 – патрубки; 6 – фланец
Рисунок 3 - Делитель в виде тройника зернопровода (Патент РФ 2714713 [3])

Данный делитель обладал существенным недостатком – использование принципа разделения потока зерна щелевыми отверстиями снижало его пропускную способность, что приводило к забиванию зернопровода при увеличении подачи зерна в него. Эту проблему решило каскадное размещение щелевых отверстий – рисунок 4.



1 – тройник; 2 - отводящие каналы; 3 - щелевые отверстия; 4 -вертикальную перегородку; 5 - выходные каналы

Рисунок 4 – Каскадный делитель в виде тройника зернопровода

Выводы. В данной статье показан весь цикл развития делителей потока зерна с изначальным выходом из системы зернопровода, и последующем его возвратом с сохранением всех принципов (наличие стабилизирующей емкости, авторегулирования) деления для точной его работы.

Список источников

1. Пат. 2341954 Российская Федерация, МПК C1, A 01 F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов/ А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов. – 2006146774; Заявлено 26.12.2006; Опубл. 27.12.2008. Бюл. №36.

2. Пат. 2459405 Российская Федерация, МПК C1, A01F12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н. - 2011110258/13; Заявлено 17.03.2011; Опубл. 27.08.2012. Бюл. №24.

3. Пат. 2714713 Российская Федерация, МПК C1, A01F12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов К.Н., Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. - 2019116402; Заявлено 28.05.2019; Опубл. 19.02.2020. Бюл. №5.

4. Альтшуллер Г.С. Найти идею / Введение в ТРИЗ – теорию решения инженерных задач. Москва, 2011.

5. Петров В. ТРИЗ от А до Я / Уровень 1 // Солон-Пресс, 2019.

6. Петров В. ТРИЗ от А до Я / Уровень 2 // Солон-Пресс, 2019.

References

1. Pat. 2341954 Russian Federation, IPC C1, A 01 F 12/46. Device for separating the flow of bulk materials / A.I. Zavrazhnov, K.N. Tishaninov. – 2006146774; Announced on 26.12.2006; Publ. 27.12.2008. Byul. No.36.

2. Pat. 2459405 Russian Federation, IPC C1, A01F12/46. Device for separating the flow of bulk materials // Tishaninov N.P., Tishaninov K.N. - 2011110258/13; Announced 17.03.2011; Publ. 27.08.2012. Byul. No.

24.3. Pat. 2714713 Russian Federation, IPC C1, A01F12/46. A device for separating the flow of bulk materials // Tishaninov K.N., Tishaninov N.P., Anashkin A.V. - 2019116402; Announced 28.05.2019; Publ. 19.02.2020. Byul. No.5.

4. Altshuller G.S. Find an idea / Introduction to the TRIZ theory of solving engineering problems. Moscow, 2011.

5. Petrov V. TRIZ from A to Z / Level 1 // Solon-Press, 2019.

6. Petrov V. TRIZ from A to Z / Level 2 // Solon-Press, 2019.

Информация об авторах

К.Н. Тишанинов – кандидат технических наук.

Information about the authors

K. Tishaninov – Candidate of technical Sciences.

Поступила в редакцию (Received): 22.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.793
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-96-108

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Алексей Валерьвеич Миранович [1], Владимир Григорьевич Мисько [2]
[1,2]Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь
[1]miron23@tut.by
[2]kalochch@mail.ru

Реферат. *Одним из методов восстановления и упрочнения изношенных поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин является нанесение покрытий и(или) упрочняющей термической обработки. Проанализированы магнитно-электрические упрочнения (МЭУ) и лазерные методы упрочнения. Последующую обработку непрерывным лазером покрытий, сформированных после МЭУ, исследовали для устранения таких дефектов как высокая шероховатость поверхности и вероятность образования микротрещин.Эксперименты проводили на цилиндрических образцах из стали 45. Поверхность, подлежащую упрочнению, обрабатывали до параметра шероховатости 12,5 мкм, затем наносили покрытия из двухкомпонентных легированных порошков на основе железа Fe-5%V и Fe-Ti , сплава ФБХ-6-2 на специальной установке. Последующую лазерную обработку покрытий производили на СО2-лазере мощностью 1 кВт. Изменение интенсивности процесса магнитно-электрического упрочнения и переноса материала порошка было экспериментально установлено. Механизмы тепловых явлений, обеспечивающих при магнитно-электрическом упрочнении плавление частиц ферромагнитного порошка, формирование покрытия и структурные превращения в поверхностном слое рассмотрены. Установлено, что при моделировании тепловых процессов от быстродвижущегося источника целесообразно использовать соотношение, описывающее процесс распространения тепла от точечного источника, быстродвижущегося по полупространству с адиабатической границей. Установлено с помощью экспериментальных исследований, что лазерная обработка покрытий, сформированных после МЭУ, значительно уменьшает градиент структурной неоднородности, приводит к полному исчезновению микротрещин, уменьшает среднюю разнотолщиность покрытий до 1,2 раза и объемную пористость покрытий до 3-х раз., а также наблюдается снижение микронапряжений с 0,74 % до 0,1%.*

Ключевые слова: *лазерная обработка, электрическая дуга, ферромагнитный порошок, толщина покрытий, разнотолщинность.*

PROPERTIES OF COATINGS AFTER MAGNETIC-ELECTRIC HARDENING AND LASER PROCESSING

Alexey Mironovich [1], Vladimir Misko [2]
[1,2]Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus
[1]miron23@tut.by
[2]kalochch@mail.ru

Abstract. *One of the methods of restoration and hardening of worn surfaces of the working bodies of agricultural machines is the application of coatings and (or) hardening heat treatment. Magnetic-electric hardening (MEH) and laser methods of hardening are analyzed. Subsequent processing by a continuous laser of coatings formed after MEA was studied to eliminate such defects as high surface roughness and the likelihood of microcracks. from two-component alloyed powders based on Fe-5% V and Fe-Ti iron, FBKh-6-2 alloy on a special installation. The subsequent laser treatment of the coatings was carried out on a CO2 laser with a power of 1 kW. The change in the intensity of the process of magnetic-electric hardening and the transfer of powder material was experimentally established. The mechanisms of*

thermal phenomena that ensure the melting of particles of a ferromagnetic powder during magnetic-electric hardening, the formation of a coating and structural transformations in the surface layer are considered. It has been established that when modeling thermal processes from a fast-moving source, it is advisable to use a relation that describes the process of heat propagation from a point source moving fast along a half-space with an adiabatic boundary. It has been established using experimental studies that laser treatment of coatings formed after MEA significantly reduces the gradient of structural inhomogeneity, leads to the complete disappearance of microcracks, reduces the average thickness variation of coatings up to 1.2 times and the volumetric porosity of coatings up to 3 times. reduction of microstresses from 0.74% to 0.1%..

Keywords: *laser treatment, magnetic-electric hardening, coating thickness, coating thickness, bulk porosity, microhardness.*

Для цитирования: Миско В.Г. Свойства покрытий после магнитно-электрического упрочнения и лазерной обработки // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 60, № 6. С. 96-108. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-96-108.

For citation: Misko V. Properties of coatings after magnetic-electric hardening and laser processing. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 60(6): 96-108. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-96-108.

Введение. Актуальной проблемой в машиностроительном и ремонтном производствах является улучшение качества, повышение надежности и долговечности быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов. Сельскохозяйственные машины содержат множество деталей, работающих в условиях трения как с открытым грунтом, когда превалирует абразивный и коррозионный виды изнашивания, так и в парах сопряжений [1]. Восстановление и упрочнение изношенных поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин осуществляют путем нанесения покрытий и(или) упрочняющей термической обработки [2-4].

Для нанесения покрытий используют современные электрофизические методы, которые обеспечивают высокую прочность сцепления наносимых материалов с основой, минимальную зону термического влияния и высокую производительность. К их числу относятся электроискровое легирование, лазерное упрочнение (ЛУ), магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) и др.

По физической сущности механизма формирования покрытия электроискровое легирование и МЭУ являются наиболее близкими способами. Их отличие состоит в том, что при МЭУ нанесение покрытий происходит путем многоэлектродного воздействия электрических разрядов [5], что повышает производительность обработки. К тому же при МЭУ импульсное магнитное поле оказывает модифицирующее воздействие на материал поверхностного слоя.

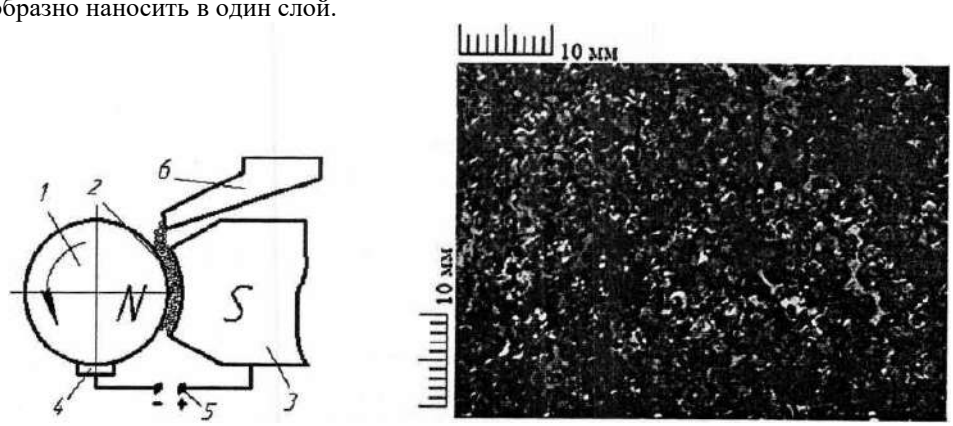
Лазерные методы упрочнения основаны на использовании тепла, генерируемого световым лучом с высокой концентрацией передаваемой энергии (не менее 10^6 Вт/см^2). При взаимодействии с материалом детали лазерный луч за короткое время ($10^{'2}$-10^{-3} с) оказывает интенсивное тепловое воздействие на материал поверхностного слоя, что обуславливает его модифицирование [6-9]. Воздействие лучом непрерывного CO_2 лазера мощностью более 1 кВт обеспечивает термическое упрочнение поверхностного слоя и может применяться при восстановлении рабочих органов сельскохозяйственных машин. Для нанесения многослойных покрытий используют технологические системы, которые обеспечивают послойный лазерный синтез и позволяют получать качественные и недорогие изделия в условиях единичного производства [4]. Одной из разновидностей технологии послойного лазерного синтеза является селективное лазерное спекание (СЛС) порошковых материалов (в англоязычной литературе - Selective Laser Sintering - SLS) [10]. В основе СЛС лежит избирательный нагрев лучом лазера порошковой смеси различных материалов, в результате которого происходит их синтез путем соединения частиц порошка между собой образующейся жидкой фазой. СЛС-метод применяется как для быстрого создания трехмерных прототипов деталей, так и при изготовлении самих деталей практически из любых материалов.

Концентрированное энергетическое воздействие на материал поверхностного слоя как при

МЭУ, так и при лазерном упрочнении, проявляется в модифицирующем эффекте. Плотность мощности потоков источников энергии находится в диапазонах: в локализованных зонах воздействия множества электроискровых разрядов при МЭУ - ($5 \cdot 10^6...10^8$) Вт/см^2; в сфокусированной зоне непрерывного лазера - (10^6... 10^9) Вт/см^2 [9].

При МЭУ упрочняемую поверхность располагают с определенным зазором относительно поверхности полюсного наконечника электромагнита и подключают их к источнику импульсного технологического тока (рис. 1, а). Затем упрочняемой поверхности сообщают кинематическое движение относительно полюсного наконечника магнита 3, и в зазор из бункера- дозатора 6 непрерывно подают ферромагнитный порошок (ФМП), частицы которого выстраиваются в токопроводящие «цепочки» 2 и замыкают контакты источника импульсного тока. Под действием электрического разряда происходит плавление частиц ФМП в местах их контакта с поверхностью заготовки, что приводит к формированию на упрочняемой поверхности покрытия в виде множества точечных вкраплений (рис. 1, б).

Энергическое воздействие множеством электрических разрядов осуществляет перенос материала ФМП и распределение его по оплавленной поверхности заготовки. Экспериментально установлено, что на начальной стадии процесса МЭУ перенос материала порошка происходит наиболее интенсивно, затем замедляется, и начинает частично сниматься упрочненный слой. В результате многократного воздействия разрядов первоначальные вкрапления частично разрушаются. Это вызвано эрозией (разрушением) тех, уже нанесенных точечных вкраплений, на которых повторно выстраиваются токопроводящие «цепочки» из частиц ФМП. То есть, процесс формирования упрочненного слоя сопровождается нанесением покрытия и эрозией его отдельных участков. В результате этого рельеф упрочненной поверхности состоит из хаотически расположенных выступов и мелких лунок. Знак изменения массы покрытия за рассматриваемый промежуток времени зависит от того, какой процесс превалировал в течение этого времени. Если процесс переноса материала порошка на поверхность детали превалирует над эрозией, то масса покрытия увеличивается. Если же превалирует эрозия - масса покрытия уменьшается. Увеличение длительности МЭУ не приводит к адекватному увеличению массы покрытия, поэтому удельная длительность упрочнения не должна превышать 4 с/см^2. Следовательно, покрытия при МЭУ целесообразно наносить в один слой.



а *б*

1 - заготовка, 2 - токопроводящие «цепочки» из ФМП, 3 - полюсный наконечник магнита, 4 - скользящий контакт, 5 - источник технологического тока, 6 — бункер-дозатор ФМП

Рисунок 1 - Схема реализации МЭУ и фотография нанесенного покрытия

Рассмотрим механизмы тепловых явлений, обеспечивающие при МЭУ плавление частиц ФМП, формирование покрытия и структурные превращения в поверхностном слое. Источником теплового воздействия является энергия электрического разряда, проходящего по цепочкам из частиц ФМП. Мощность $q_э$, необходимая для нагрева и плавления токопроводящих «цепочек» включает мощность от проходящего по ней тока и эффективную мощность электрической дуги:

$$q_э = J^2 R_{эц} + \eta_э JU ,$$

где J - сила тока дуги, А;

$R_{эц}$ - электрическое сопротивление токопроводящих «цепочек», Ом;

$\eta_э$ - эффективный к.п.д. нагрева электрической дугой;

U - напряжение дуги, В.

Каждая токопроводящая «цепочка» состоит из п частиц ФМП с контактными сопротивлениями R_{12}, ..., $R_{i(i+1)}$, ..., $R_{(n-1)n}$, величины которых можно определить, используя зависимости [11]:

$$R_{i(i+1)} = \frac{R_к}{p_к^{0,75}} , \quad (1)$$

и

$$R_к = \frac{p_f t_f}{\pi r^2} , \; R_{i(i+1)} = \frac{p_f t_f}{\pi r^2 f_ц^{0,75}}$$

где $R_К$ - сопротивление в контакте;

$p_к$ - давление в контакте;

p_f —удельное сопротивление оксидной пленки;

t_f - суммарная толщина оксидной пленки;

r - радиус зоны контакта.

Для этого необходимо определить величину силы f_u, с которой вся «цепочка» прижимается к упрочняемой поверхности. На граничащую с обрабатываемой поверхностью частицу будет действовать суммарная сила магнитного поля со стороны всех частиц, выстраиваемых в «цепочку».

В частице ФМП, находящейся в магнитное поле рабочего зазора, происходит ориентация молекулярных токов, направление которых таково, что созданные ими магнитные поля совпадают с направлением внешнего магнитного поля и усиливают его. Прохождение молекулярного тока по поверхности частиц ФМП можно уподобить поведению контура проводника с током в неоднородном магнитном поле.

Радиальная сила, действующая на частицу ФМП в неоднородном магнитном поле, равна:

$$f_p = P_м \frac{\Delta B}{\Delta x} , \quad (2)$$

где $P_м$ - магнитный момент частицы, А · м^2;

ΔВ - величина градиента напряженности магнитного поля, А/м;

Δx - расстояние между рассматриваемыми сечениями, м.

Величина градиента напряженности магнитного поля по определению равна:

$$\Delta B = \frac{\Phi}{S_1} - \frac{\Phi}{S_2} ,$$

где Φ - магнитный поток, Т · м^2;

S_1 и S_2 - площади перпендикулярных сечений, м^2.

Определим величину градиента напряженности магнитного поля в масштабе одной частицы, приняв ее геометрическую форму в виде эллипсоида вращения с наибольшей осью Δ (рис. 2).

Тогда:

$$S_1 = R_д \beta b ,$$

$$S_2 = (R_д + \Delta)\beta b ,$$

$$\Delta B = \frac{\Phi \Delta}{\beta b R_д (R_д + \Delta)}$$

где $R_д$ - радиус упрочняемой поверхности;

b - малая ось эллипсоида;

β - угол между радиусами деталей, касательными к наибольшему сечению частицы в плоскости, перпендикулярной оси детали.

При этом соотношение $\frac{\Delta B}{\Delta x}$ в (1) примет вид:

$$\frac{\Delta B}{\Delta x} = \frac{\Phi}{\beta b R_д (R_д + \Delta)}, \quad (3)$$

а магнитный момент частицы порошка в форме эллипсоида вращения –

$$P_м = \frac{4}{3} K H_1 \Delta^2 b, \quad (4)$$

где К - магнитная восприимчивость материала ферропорошка;

H_1- напряженность магнитного поля на нижней границе частицы, А/м.

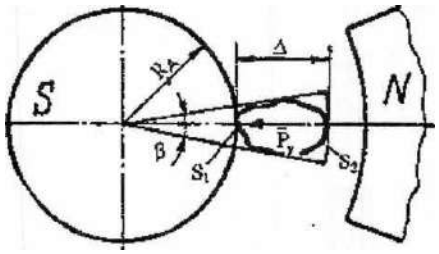


Рисунок 2 - Схема действия на зерно ФМП силы неоднородного магнитного поля в направлении нормали к поверхности детали

Подставив формулы (3) и (4) в выражение (2) и учитывая, что

$$\Phi = B_1 S_1 \mu H_1 R_д b \beta,$$

для единичной частицы получим:

$$f_p = \frac{4 \mu \Delta^2 b K H_1^2}{3(R_д + \Delta)}, \quad (5)$$

где μ - магнитная проницаемость материала порошка.

На частицу ФМП, контактирующую с упрочняемой поверхностью, будет действовать суммарная сила $f_ц$ магнитного поля, учитывающая все частицы «цепочки», величина которой определяется:

$$f_ц = \frac{4}{3} \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu \Delta^2 b K H_1^2}{(R_д + \Delta)}, \quad (6)$$

где *n*- число частиц в цепочке;

R_i - расстояние от начала i-й частицы до оси упрочняемой поверхности;

H_i — напряженность магнитного поля на границе i-й частицы;

Δ_i, b_i - размеры большой и малой осей эллипсоида, описывающего i-ю частицу.

При дуговом разряде переменное электрическое сопротивление «цепочки», согласно (1), обуславливает градиент температуры в зонах контакта частиц ФМП, что определяет точечный характер вкраплений их материала на упрочненной поверхности (рис. 1*а*).

При МЭУ максимальные температуры возникают в поверхностном слое детали, от которого исходят тепловые потоки. Поэтому математическая модель тепловых процессов должна содержать уравнения теплопроводности с учетом теплофизических свойств покрытия и основы.

Для условий, когда покрытие наносится за один проход и сопровождается объемной зоной тепловыделения, закон распределения интенсивности теплового потока примем равномерным. Количество тепла, идущего в деталь от быстродвижущегося источника, определяется его скоростью, теплофизическими свойствами материала детали и от закона распределения зависит незначительно. Поэтому при моделировании тепловых процессов такого источника целесообразно

использовать соотношение, описывающее процесс распространения тепла от точечного источника, быстродвижущегося по полупространству с адиабатической границей:

$$\theta_i = \frac{q_i}{2\pi\lambda(z - z_u)} \exp\left[-\frac{V_u\left((x - x_u)^2 + y^2\right)}{4\omega(z - z_u)} \right], \quad (7)$$

где x_u, θ, $z_и$ - координаты точечного источника;

q_i - интенсивность точечного источника;

λ - коэффициент теплопроводности материала;

ω - коэффициент температуропроводности;

$V_и$ - скорость движения точечного источника тепла;

x, y, z - координаты рассматриваемой точки.

Рассмотренный температурно-временной фактор процесса МЭУ влияет на образование новых фаз в системе покрытие-основа и определяет основные свойства упрочненного поверхностного слоя. Достоинствами МЭУ являются отсутствие специальной предварительной подготовки поверхности детали, незначительная зона термического влияния и высокая прочность сцепления покрытия с основным материалом, что дает основание относить МЭУ к эффективным способам упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственных машин. Вместе с тем, упрочненный поверхностный слой обладает рядом существенных недостатков. К ним относятся:

- неравномерность распределения по упрочняемой поверхности отдельных точечных вкраплений материала ФМП, вызванная спонтанным формированием токопроводящих цепочек из зерен ФМП, что приводит к снижению сплошности наносимого покрытия и его разнотолщинности;

- высокая шероховатость поверхности (Ra ≥ 12,5 мкм);

- вероятность образования микротрещин (рис. 3) в поверхностном слое, вызванная высоким градиентом температуры при действии дугового разряда.

Перечисленные дефекты покрытий ограничивают область применения МЭУ. Для устранения дефектов некоторых показателей качества покрытий, сформированных после МЭУ, были проведены исследования их последующей обработки непрерывным лазером.

Материалы и методы.

При расчете температурного поля при движении непрерывного лазера применяют принцип суперпозиции, согласно которому весь период действия источника энергии разбивают на бесконечно малые элементы и рассматривают отдельные элементарные тепловые воздействия источника на теплопроводящее тело в последовательные моменты времени в точках, расположенных по оси перемещения источника. Процессы распространения тепла от элементарных воздействий источника можно рассматривать как точечные вне зависимости друг от друга, каждое из которых описывается уравнением (7). Суммированием таких элементарных воздействий можно получить уравнение процесса распространения тепла при непрерывном действии подвижного источника, приемлемое для практических расчетов. По принципу наложения можно определить изменение температуры в какой- либо точке теплопроводящего тела, представив ее как сумму изменений температуры при распространении тепла от отдельных элементарных воздействий источника с учетом времени и места их приложения.

Эксперименты проводили на цилиндрических образцах из стали 45 (ГОСТ 1050-88) представляющих собой кольца с наружным диаметром 40 мм, внутренним — 16 мм и высотой 12 мм. Исходные образцы подвергали нормализации и поверхность, подлежащую упрочнению, обрабатывали до параметра шероховатости Ra = 12,5 мкм.

На поверхность образцов наносили покрытия из двухкомпонентных легированных порошков на основе железа Fe-5%V и Fe-Ti (ГОСТ 9849-86), а также сплава ФБХ-6-2 (ГОСТ 11546-75) на установке модели УМЭУ-1. Последующую лазерную обработку покрытий производили на CO_2-лазере модели «Комета-2» мощностью 1 кВт.

Микроструктуру покрытий изучали методом оптической металлографии поперечных шлифов с использованием светового микроскопа Mef-3 фирмы «Reichert-Jung» (Австрия) и цифрового фотоаппарата «HP photosmart 715 digital camera». Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3М

при величине статической нагрузки на индентор Р ~ 0,49 Н (50 г). Толщину покрытий определяли по распределению микротвердости в поперечном сечении образцов при помощи окулярной вставки с увеличением в 200 раз. Разнотолщинность покрытий определяли по разности максимальной и минимальной местных толщин покрытий образца. Объемную пористость покрытий определяли методом гидростатического взвешивания.

Результаты исследований.

Экспериментально установлено, что толщина упрочненного слоя увеличивается с уменьшением скорости передвижения лазерного луча. При увеличении интенсивности теплового воздействия лазерным лучом, превышающем определенное значение, материал детали начинает испаряться, в результате чего на нем образуется кратер (каверна), а толщина упрочненного слоя увеличивается.

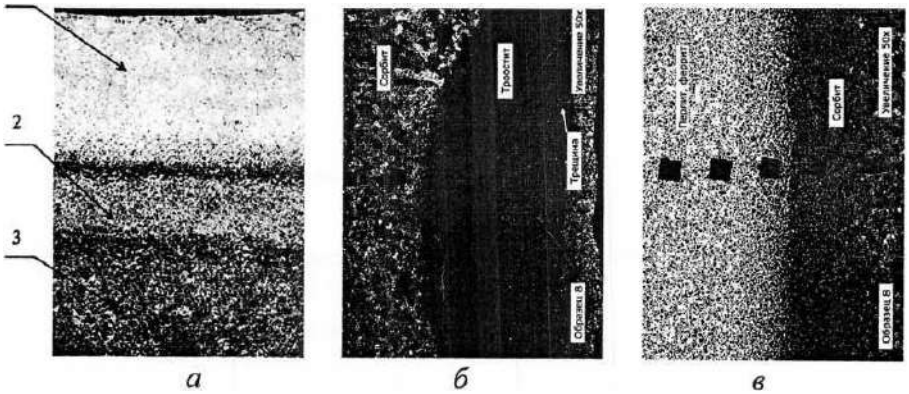
Упрочненный поверхностный слой формируется в результате взаимодействия материалов ФМП и детали с образованием твердых растворов и взаимным диффузионным проникновением.

Микроструктура упрочненного слоя, обеспечивающая его физикомеханические параметры, определяется химическим составом ФМП и материала основы. По структурному строению в упрочненном слое после МЭУ можно выделить три зоны: наплавленную, диффузионную и зону термического влияния (рис. 3, а).

Воздействие непрерывным лазером на поверхностный слой с покрытием после МЭУ уменьшает градиент структурной неоднородности, приводит к исчезновению микротрещин, повышает сплошность покрытия и уменьшает разнотолщинность (рис. 3,6 и в).

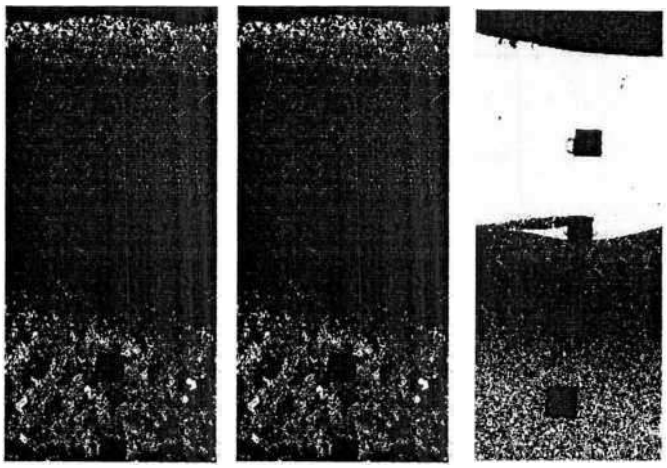
Микроструктурный анализ показал, что покрытия из ФМП Fe-Ti характеризуется мелкодендритным строением (рис. 4, а), основу которого составляет твердый раствор титана в а-железе, а также незначительного количества остаточного аустенита, интерметаллидов (FeTi, Fe2Ti), карбидов титана (TiC) и железа (FeC). Граница раздела имеет плавный переход, в котором на глубине до 50-90 мкм происходит полная фазовая перекристаллизация материала основы с последовательным образованием структур - однофазной (дислокационного мартенсита) и двухфазной (дислокационного мартенсит и рекристаллизованного феррита).

Покрытие из порошка Fe-5%V также характеризуется мелкодендритным строением (рис. 4, б), основу которого составляет твердый раствор ванадия в а-железе. Структура наплавленного металла состоит из основы - твердого раствора ванадия в а-железе, остаточного аустенита, карбидов ванадия (V2C, $V_4C_{2>}67$) и железа (FeC, FeCs). Диффузионная зона имеет структуру дислокационного мартенсита. Зона термического влияния представляет собой область неполной закалки, структура которой представляет феррит и отдельные участки перлита, превратившегося в троостомартенсит. Под зоной термического влияния находится область неполной закалки, структура которой представляет феррит и отдельные участки перлита, превратившегося в троостомартенсит.



а - структурное строение покрытия после МЭУ; б - после МЭУ между зонами структурного строения (×50); в - после МЭУ и лазерной обработки между зонами структурного строения (×50);
1 - покрытие; 2 - зона термического влияния; 3 - основной материал

Рисунок 3 - Фотографии микроструктур покрытий из композиционного ферромагнитного порошка Fe-Ti



а б в

а - Fe-Ti (x50); *б* - Fe-5%V (×50); *в* - ФБХ-6-2 (×50)

Рисунок 4 - Фотографии микроструктуры различных покрытий после МЭУ и лазерной обработки

В покрытии из ФБХ-6-2 наплавленный слой имеет микроструктуру мелкодисперсного строения (рис. 4, в). Поверхностные слои состоят из частиц очень тонкого игольчатого строения, которые вытянуты в сторону основного металла. Основу покрытия составляет твердый раствор хрома в а- железе, остаточный аустенит, а также карбиды железа (Fe_2C), бориды (FeB, CrB_2, $CГ_5B_3$) и ферроборидыы ($Cr_{1,65}Fe_{0,35}B_{0,96}$). Структура покрытия состоят из основы - твердого раствора хрома в а-железе, а также остаточного аустенита, карбидов железа (Fe_2C), боридов (FeB, CrB_2, Cr_5B_3) и ферроборида ($Cr_{1,65}Fe_{0,35}B_{0,96}$).

Результаты исследований показывают (таблица 1), что глубина упрочненного слоя по параметру средней микротвердости составляет до 3 мм. Наблюдается также снижение микротвердости у покрытий, что возможно по причине перераспределения внутренних напряжений на границе раздела «покрытие-основа детали».

Таблица 1 - Микротвердость поверхностного слоя покрытий из композиционного ферромагнитного порошка Fe-Ti после МЭУ и лазерной обработки

Расстояние от поверхности, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Микротвёрдость, HV	437	467	438	346	376	371	242	209	201	204

Результаты экспериментальных исследований (таблица 2) показывают, что лазерная обработка покрытий, полученных МЭУ, при уменьшении средней их толщины в 1,12 раза, позволяет повысить качество поверхностного слоя за счет снижения их объемной пористости в 2,7-3,3 раза и средней разнотолщинности в 1,16-1,21 раза

Таблица 2 - Пористость, толщина и разнотолщинность покрытий, полученных МЭУ и лазерной обработки

Материал ФМП	Обработка поверхности					
	МЭУ			МЭУ + лазерная обработка		
	Характеристика покрытий					
	Объемная пористость, %	Средняя толщина, мкм	Средняя разнотолщинность, мкм	Объемная пористость, %	Средняя толщина, мкм	Средняя разнотолщинность, мкм
Fe-Ti	6,8	257	63	2,3	229	54

Fe-5%V	4,6	263	57	1,4	235	49
ФБХ-6-2	5,1	274	51	1,9	244	42

Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре Ultima IV (Rigaky) в Cuka-излучении с вращением образца в собственной плоскости. Результаты анализа приведены ниже.

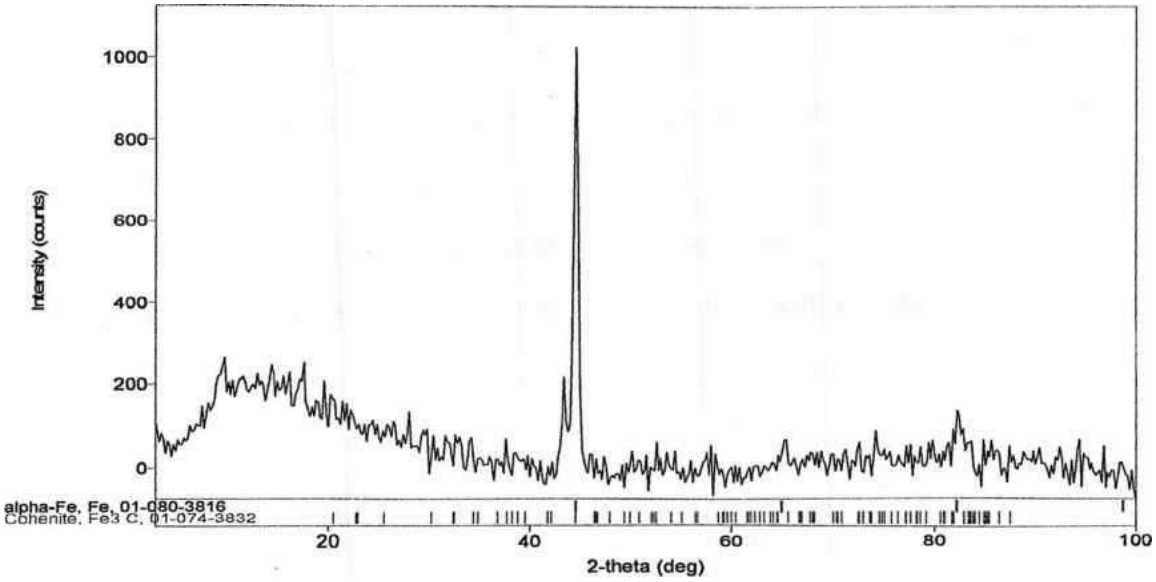


Рисунок 5 - Диаграмма напряжений в образец № 2

Результаты рентгеноструктурного анализа приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 - Результаты рентгеноструктурного анализа после обработки

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(counts)	FWHM(deg) уширение	Int. I(counts deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	10	9	8	28	367	44	1
2	11.4	7.8	126	11	1810	14	0.50
3	19	5	38	10	742	19	1
4	26.8	3.3	85	22	2453	29	1
5 Fe	44.578	2.0309	725	0.47	489	0.67	1.2
6	50	1.83	51	21	1355	27	1
7	65.1	1.43	46	14	944	21	0.6
8	74	1.28	21	14	411	19	1
9	82.0	1.174	55	8	828	15	1
10	95	1.05	41	13	683	17	1

Phase name	a(A)	b(A)	c(A)	alpha(deg)	beta(deg)	gamma(deg)
Fe (aipha-Fe)	2.870	2.870	2.870	90.000000	90.000000	90.000000

Phase name	Crystallite size(A)	Strain(%)
Fe ('abha-Fe')	142.3	0.1
Fe3C	4.195	8.8

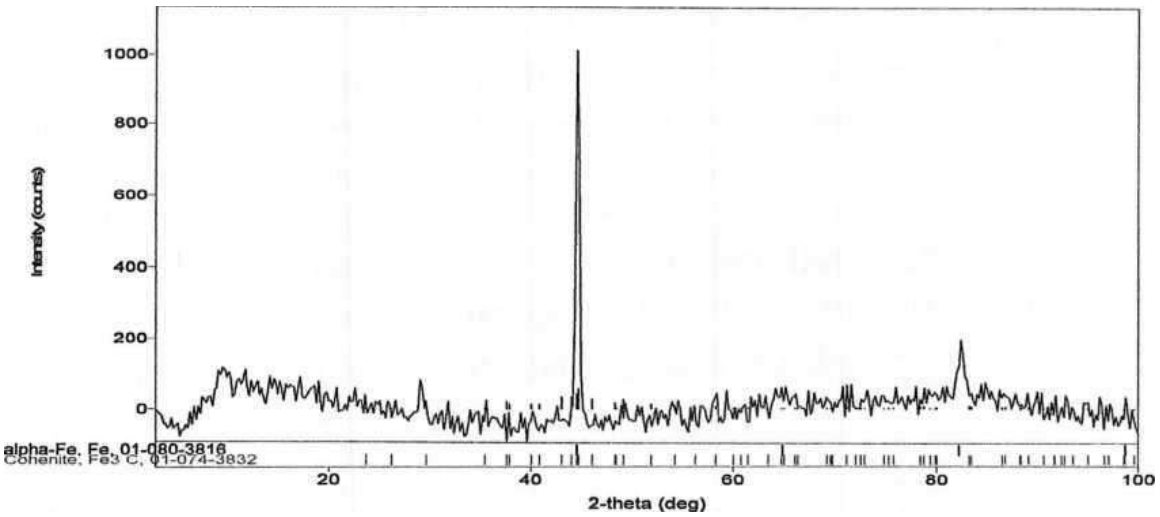


Рисунок 6 - Диаграмма напряжений в образец № 3

Таблица 4 - Результаты рентгеноструктурного анализа до обработки

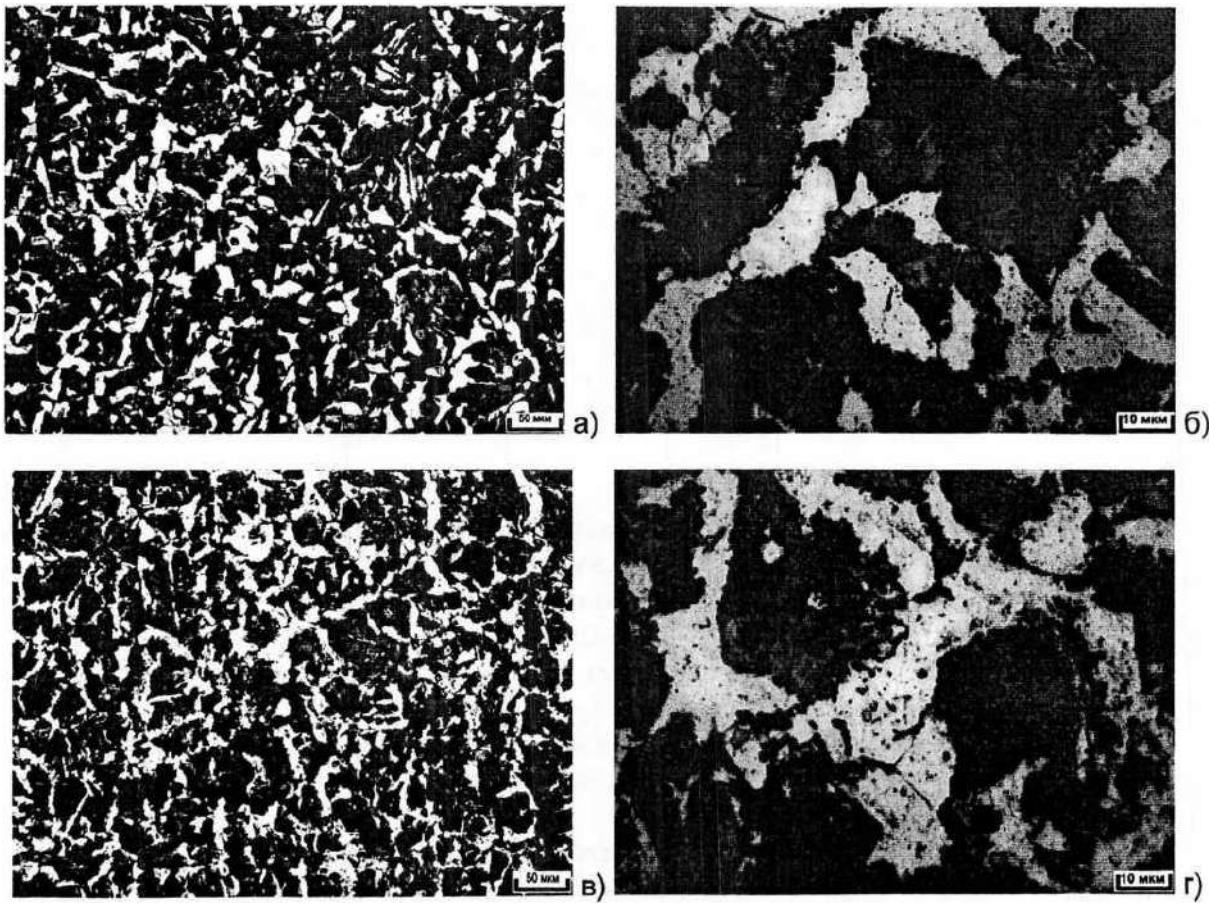
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(counts)	FWHM(deg) уширение	Int. I(counts deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	9.5	9.3	109	3.6	519	4.8	2
2	12.0	7.4	109	7	1182	11	0.5
3	16.5	5.4	73	7	713	10	1
4	24.0	3.71	132	12	1814	14	2
5	29.4	3.03	101	7	1075	11	0.5
6	36	2.53	9	5	63	7	1
7	36	2.5	38	4	200	5	1
8	42	2.1	116	14	1872	16	1
9 Fe	44.63	2.0287	819	0.34	325	0.40	1.1
10	51	1.78	43	7	329	8	0.9
11	58.0	1.59	14	7	155	11	5
12	59	1.6	29	10	339	12	2
13	65.0	1.433	44	4	306	7	2
14	68.3	1.37	21	5	146	7	1
15	82.43	1.1690	111	0.59	85	0.8	2
16	91	1.1	24	21	547	23	2
17	99.5	1.0093	70	4.5	364	5	5

Phase name	a(A)	b(A)	c(A)	alpha(deg)	beta(deg)	gamma(deg)
Fe (abha-Fe)	2.872	2.872	2.872	90.000000	90.000000	90.000000
Fe3C	4	6	4	90.000000	90.000000	90.000000

Phase name	Crystallite size(A)	Strain (%)
Fe f alpha-Fe')	433	0.74
Fe3C	14.88	8.1

Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что при обработке происходит измельчение размеров кристаллитов. Так, до обработки размер кристаллитов основной фазы a- Fe (alpha-Fe) составляет 433 А, после обработки 142 А, размер цементитных включений Fe3C в исходном состоянии 15 А, после обработки — 4 А. После обработки наблюдается снижение микронапряжений с 0,74 % до 0,1%.

Исследование микроструктуры проводилось на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении ×100, ×500 (рисунок 7).



а), в) ×100; б), г) ×5000
Микроструктура образцов феррито-перлитная: перлит (феррит + Fe3C) с сеткой феррита.
Фазовый состав: α- Fe - феррит, цементит - Fe3C
Рисунок 7 - Микроструктура образца до (а, б) и после (в, г) обработки

Выводы. Показаны основные полученные результаты применения совершенно новой технологии обработки непрерывным лазером покрытий поверхности деталей сельскохозяйственных машин, выполненных МЭУ. Проведены экспериментальные исследования. Научно обоснована новизна и возможность целесообразности широкого применения обработки непрерывным лазером покрытий, полученных после МЭУ. Экспериментальными исследованиями установлено, что лазерная обработка таких покрытий значительно уменьшает градиент структурной неоднородности, приводит к полному исчезновению микротрещин, уменьшает среднюю разнотолщиность покрытий до 1,2 раза и объемную пористость покрытий до трех раз., а также наблюдается снижение микронапряжений с 0,74 % до 0,1%.

Список источников

1. Черноиванов, В. И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В. И. Черноиванов, И. Г. Голубев. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. - 376 с.

2. Казаровец, Н. В. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники / Н.В. Казаровец, Г.Ф. Бетеня, Г.И. Анискович // Сборник докладов 12 МНТК (10 - 12 сентября 2012 г., г. Углич). М., ФГУП «Изд-во «Известия», 2012. - С. 219— 228.

3. Бетеня, Г.Ф. Упрочнение деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин в условиях импульсного закалочного охлаждения / Г.Ф. Бетеня, А.В. Кривцов // Агропанорама. 2015. - №3. - С. 15-19.

4. Анискович, Г.И. Экономическая эффективность импортозамещающего производства запасных частей для тракторных плугов / Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2018. - №4. - С. 10-17.

5. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. - Минск: БГАТУ, 2016. - 236 с.

6. Перспективные методы модификации поверхности металлов лазерной обработкой / В. Е. Архипов [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2008. - № 12. -С. 26-31.

7. Шатульский, А.А. Применение методов прототипирования для изготовления изделий машиностроения / А.А. Шатульский, М.А. Шаповалова // Наукоемкие технологии в машиностроении. - 2011. - № 1. - С. 24-29.

8. Девойно, О.Г. Поверхностное упрочнение серого чугуна совмещенной лазерной и ультразвуковой обработкой / Наука и техника. - 2013. - №2. - С. 3-6.

9. Григорьянц, А.Г. Создание композиционных покрытий из металлических порошков лазерной объемной наплавкой / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, Р.С. Третьяков // Сварочное производство. - 2018. - №5. - С.21-28.

10. Deckard, C.R. Recent advances in selective laser sintering / C.R. Deckard, J.J. Beaman // Proceedings of the 14th Conference on Production Research and Tech-nology. Michigan, 1987. - P. 447-451.

11. Хейфец, М.Л. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : учеб. пособие / М. Л. Хейфец [и др.]. - Новополоцк: ПГУ, 2012. - 304 с.

References

1. Chernoivanov, V. I. Restoration of machine parts (State and prospects) / V. I. Chernoivanov, I. G. Golubev. - M. : FGNU "Rosinformagrotech", 2010. - 376 p.

2. Kazarovets, N. V. Innovative technologies for strengthening parts of agricultural machinery / N.V. Kazarovets, G.F. Betenya, G.I. Aniskovich // Collection of reports 12 ISTC (September 10 - 12, 2012, Uglich). M., FSUE Izvestia Publishing House, 2012. - S. 219— 228.

3. Betenya, G.F. Hardening of parts of working bodies of agricultural machines in conditions of pulsed quenching cooling / G.F. Betenya, A.V. Krivtsov // Agropanorama. 2015. - No.3. - pp. 15-19.

4. Aniskovich, G.I. Economic efficiency of import–substituting production of spare parts for tractor plows / Agricultural machinery: maintenance and repair. - 2018. - No. 4. - pp. 10-17.

5. Akulovich, L.M. Magnetic-electric hardening of surfaces of agricultural machinery parts / L.M. Akulovich, A.V. Miranovich. - Minsk: BGATU, 2016. - 236 p.

6. Promising methods of modification of metal surfaces by laser treatment / V. E. Arkhipov [et al.] // Hardening technologies and coatings. - 2008. - No. 12. - pp. 26-31.

7. Shatulsky, A.A. Application of prototyping methods for the manufacture of machine-building products / A.A. Shatulsky, M.A. Shapovalova // High-tech technologies in mechanical engineering. - 2011. - No. 1. - pp. 24-29.

8. Devoino, O.G. Surface hardening of gray cast iron by combined laser and ultrasonic treatment / Science and Technology. - 2013. - No. 2. - pp. 3-6.

9. Grigoryants, A.G. Creation of composite coatings from metal powders by laser bulk surfacing / A.G. Grigoryants, I.N. Shiganov, R.S. Tretyakov // Welding production. - 2018. - No.5. - pp.21-28.

10. Deckard, C.R. Recent advances in selective laser sintering / C.R. Deckard, J.J. Beaman // Proceedings of the 14th Conference on Production Research and Technology. Michigan, 1987. - P. 447-451.

11. Heifetz, M.L. Electrophysical and electrochemical methods of materials processing: textbook. manual / M. L. Heifets [et al.]. - Novopolotsk: PSU, 2012. - 304 p.

Информация об авторах

А.В. Миранович – кандидат технических наук, доцент; В.Г. Мисько – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. Mironovich - Candidate of technical Sciences, Associate Professor; V. Misko – 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): 29.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-109-119

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВЕДЕНИЯ РЯДА ДОБАВОК В ОТРАБОТАННОЕ МОТОРОНОЕ МАСЛО ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПЕРИОД МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ

Александр Алексеевич Урядников[1], Виктория Александровна Брыксина[2], Марина Николаевна Урядникова[3], Галина Геннадьевна Бердникова[4], Ольга Владимировна Алехина[5], Дарья Владимировна Королева[6]

[1,2,3,4,5,6] Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

[1] chemisttambov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8491-6387,
[2] bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310
[3] mn_uryadnikova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0292-9027
[4] berdnikova.gg@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2949-6156
[5] o.alehina@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7796-1246
[6] koroleva.daria0603@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Александр Алексеевич Урядников, chemisttambov@mail.ru
Corresponding author: Alexender Uryadnikov, chemisttambov@mail.ru

Реферат. *Поиск эффективных консервационных материалов для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии в период межсезонного хранения продолжает оставаться актуальной задачей. Для ее решения исследованы композиции на основе отработанного синтетического моторного масла с добавками эмульгина и парафина в концентрации 1 – 10 масс. %. Консервационные составы готовили растворением полифункциональной присадки в отработанном масле при нагревании. Проводили коррозионные и электрохимические испытания на образцах стали Ст3, защитную пленку исследуемого состава формировали в течение 15 минут. Эффективность антикоррозионной защиты стали данными композициями изучена гравиметрическим (испытания в 0,5 М NaCl и климатической камере) и электрохимическими методами. Показано, что в 0,5 М NaCl состав с парафином при максимальной концентрации присадки 10% обеспечивает защитный эффект более 70%. Добавка эмульгина в той же концентрации менее эффективна. В отсутствие агрессивных хлорид-ионов в условиях климатической камеры составы, содержащие парафин, обеспечивают значения защитного эффекта свыше 90%. Торможение коррозионного процесса под пленками изученных композиций происходит за счет смещения потенциала коррозии в анодную область. Наличие консервационного состава не меняет механизм коррозионного процесса стали в 0,5М NaCl, поскольку не наблюдается резкого изменения тафелевских коэффициентов наклона катодных и анодных участков поляризационных кривых. По данным импедансной спектроскопии установлено, что наличие парафина в пленке отработанного моторного масла в концентрации 5, 10 масс. % вызывает уменьшение емкости двойного электрического слоя, а также увеличение сопротивления переноса заряда как в катодной, так и в анодной реакции. Кроме того, происходит увеличение сопротивления диффузии окислителя деполяризатора, что может свидетельствовать об эффективности экранирования металлической поверхности. Полученные результаты показали перспективы использования композиций с парафином для дальнейших исследований в качестве консервационного материала для защиты сельскохозяйственной техники.*

Ключевые слова: *атмосферная коррозия, отработанное моторное масло, парафин, эмульгин, защитный эффект.*

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INTRODUCING A SERIES OF ADDITIVES INTO USED ENGINE OIL TO PROTECT AGRICULTURAL MACHINERY DURING OFF-SEASON STORAGE

Alexender Uryadnikov[1], Viktoria Bryksina[2], Marina Uryadnikova[3], Galina Berdnikova[4], Olga Alehina[5], Daria Koroveva[6]

[1,2,3.4,5,6] Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

[1] chemisttambov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8491-6387

[2] bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310

[3] mn_uryadnikova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0292-9027

[4] berdnikova.gg@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2949-6156

[5] o.alehina@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7796-1246

[6] koroleva.daria0603@gmail.com

Abstract. *The search for effective conservation materials to protect agricultural machinery from atmospheric corrosion during off-season storage continues to be an urgent task. Compositions based on used engine synthetic oil with emulgin and paraffin additives at a concentration of 1–10 wt. % investigated for its solution. Preservative compositions were prepared by dissolving a multifunctional additive in used oil when heated. Corrosion and electrochemical tests were carried out on samples of steel St3, a protective film of the studied composition was formed within 15 minutes. The effectiveness of anti-corrosion protection of steel with these compositions was studied by gravimetric (tests in 0.5 M NaCl and a climatic chamber) and electrochemical methods. It is shown that in 0.5 M NaCl, the composition with paraffin at a maximum additive concentration of 10% provides a protective effect of more than 70%. The addition of emulgin at the same concentration is less effective. Paraffin-containing formulations provide protective effect values of over 90% in the absence of aggressive chloride ions under climate chamber conditions. The inhibition of the corrosion process under the films of the studied compositions occurs due to the shift of the corrosion potential to the anode region. The presence of the conservation composition does not change the mechanism of the corrosion process of steel in 0.5 M NaCl, since there is no sharp change in the Tafel slope coefficients of the cathode and anode sections of the polarization curves. According to impedance spectroscopy, it was found that the presence of paraffin in the film of used motor oil at a concentration of 5, 10 wt. % causes a decrease in the capacitance of the electrical double layer, as well as an increase in the charge transfer resistance in both the cathodic and anodic reactions. In addition, there is an increase in the diffusion resistance of the depolarizer oxidizer, which may indicate the effectiveness of shielding the metal surface. The results obtained showed the prospects for the use of compositions with paraffin for further research as a conservation material for the protection of agricultural machinery.*

Keywords: *atmospheric corrosion, used motor oil, paraffin, emulgin, protective effect*.

Для цитирования: Урядников А.А., Брыксина В.А., Урядникова М.Н., Бердникова Г.Г., Алехина О.В., Королева Д.В. Оценка эффективности введения ряда добавок в отработанное моторное масло для зашиты сельскохозяйственной техники в период межсезонного хранения// Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 109-118. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-109-118.

For citation: Uryadnikov A., Bryksina V., Uryadnikova M., Berdnikova G., Alekhina O., Korolev D. Evaluation of the effectiveness of introducing a number of additives into used motor oil for the protection of agricultural machinery during off-season storage. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 109-118. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-109-118.

Введение. Проблема защиты сельскохозяйственной техники от коррозии в период межсезонного хранения продолжает оставаться актуальной несмотря на большой ассортимент существующих консервационных материалов. При изготовлении таких антикоррозионных продуктов производителем учитываются не только обеспечиваемый ими защитный эффект, но и

легкость нанесения, адгезионная способность, экологическая чистота предлагаемого состава, возможность использования переработанных материалов.

Учитывая природу растворителя основы, консервационные материалы делят на несколько групп. В первую группу входят консервационные составы на основе нефтяных масел. Сюда можно отнести как свежие, так и отработанные масла. Так в работах [1, 2] авторами показана возможность применения отработанных масел для защиты металлов от атмосферной коррозии.

Ко второй группе относят антикоррозионные композиции, содержащие в качестве растворителя-основы синтетические масла. Изучение подобных консервационных материалов проводилось в работе [3]. Использование свежих синтетических масел может обеспечить лучший контроль состава исходного продукта по сравнению с отработанным маслом, где состав образовавшихся окисленных продуктов в определенной мере зависит от условий эксплуатации. Однако синтетические масла отличает более высокая себестоимость, что приводит к удорожанию консервационного материала на их основе. Поэтому консервационные составы на свежих маслах используются достаточно редко.

Использование в качестве растворителя-основы отработанного машинного масла позволяет хотя бы частично решить проблему его утилизации. При этом в работе [4] показано, что нет оснований беспокоиться о нанесении серьезного ущерба почвенному покрову при использовании таких составов, поскольку количество отработанного моторного масла, попадающего в верхние слои почвы при расконсервации невелико.

Растительные масла в качестве растворителя-основы наиболее перспективны с точки зрения их экологической чистоты, поскольку могут легко перерабатываться почвенными микроорганизмами и получаются из возобновляемого сырья. Изучению консервационных материалов на их основе посвящен целый ряд работ [5]. Несмотря на очевидные плюсы, указанные выше, остается открытым вопрос о целесообразности применения растительного масла именно для консервации с учетом возможных продовольственных кризисов.

Помимо растворителя основы консервационные материалы для межсезонного хранения содержат присадку-загуститель, повышающий вязкость и обеспечивающий удержание состава на поверхности защищаемой конструкции. Наиболее перспективны присадки, которые обладают полифункциональными свойствами, т.е. проявляют, например, достаточно хорошо выраженный ингибирующий или гидрофобизирующий эффект.

В качестве таких присадок активно используют как отходы различных химических производств, например КОСЖК (кубовые остатки синтетических жирных кислот), так и специальным образом синтезированные составы (эмульгин [6], ИФХАН-29А). В патенте [7] авторами изучена возможность создания антикоррозионного покрытия на стали марки Ст20, состоящего из 7-% керосина и 30% парафина, которое наносили на поверхность днища автомобиля. Полученные данные свидетельствуют о высоком защитной эффекте полученной композиции, которая сохраняла металл от коррозии на протяжении 4 лет и выдержала действие атмосферных осадков и перепады температур.

Принципиально важно оценивать класс опасности вводимых в состав присадок, поскольку использование загустителей высокого класса опасности может нивелировать исходную экологическую чистоту растворителя-основы, если говорить, например, о растительных маслах. С этой целью в качестве подобных присадок выбираются либо химически инертные продукты (парафин, воск), либо отходы пищевых производств, в частности отходы и отстои, образующиеся при получении растительных масел. Данной категории присадок посвящена, например, работа [8], где показана достаточна высокая эффективность фосфолипидов, продуктов рафинации рапсового масла, для торможения коррозионного процесса.

Стоит отметить, что среди всех перечисленных групп антикоррозионных консервационных материалов имеются составы, обладающие достаточным защитным эффектом для использования в период межсезонного хранения. Поэтому при производстве консервационных материалов целесообразно ориентироваться прежде всего на сырьевую базу региона, чтобы сократить возможные транспортные расходы.

Таким образом, данная работа направлена на решение актуальной задачи - изучения возможности использования новых консервационных материалов, состоящего из отработанного

моторного масла с добавкой парафина или эмульгина в концентрации 1-10 масс. % для временной защиты металлов от атмосферной коррозии на период межсезонного хранения.

Материалы и методы.

Коррозионные испытания, электрохимические и емкостные измерения проводились на образцах стали Ст3 с составом, масс. %: C – 0,2; Mn – 0,5; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,30; Ni – 0,20; Cu – 0,20; Fe – 98,36.

Консервационные составы готовили растворением полифункциональной присадки в отработанном масле при нагревании.

В исследованиях был использован парафин марки «Т».

Методика коррозионных испытаний не отличалась от общепринятой [3]. Продолжительность экспозиции электродов в солевом растворе составляла 14 суток.

Гравиметрические испытания в климатической камере проведены при температуре 40 ^{o}C и относительной влажности 100%. Климатическая камера работала в заданном режиме 8 часов, остальные 16 часов выключенной с закрытой дверью.

Скорость коррозии оценивали по потерям массы образцов по данным параллельных опытов. Защитный эффект ингибитора (Z) рассчитывался по формуле:

$$Z,\% = \frac{(K_0 - K_{инг})}{K_0} \cdot 100,$$

где K_0 и $K_{инг}$ – скорость коррозии в неингибированном и ингибированном растворах соответственно.

Потенциодинамические поляризационные измерения в 0,5 М растворе NaCl проводили при комнатной температуре со скоростью развертки 1 мВ/с в трехэлектродной ячейке из стекла «Пирекс» с разделенными анодным и катодным пространствами, контактирующими через шлиф (потенциостат IPC-Pro MF (рисунок 1)).

Рисунок 1 - Потенциостат IPC-Pro.

Защитную пленку исследуемого состава формировали в течение 15 минут, как и в коррозионных испытаниях. Защитную эффективность покрытия Z определяли по формуле:

$$Z,\% = \frac{(i_0 - i_1)}{i_0} \cdot 100,$$

где i_0 и i_1 – токи коррозии, полученные путем экстраполяции линейных участков анодных поляризационных кривых на линию потенциала коррозии соответственно в отсутствие защитного покрытия и при его наличии.

Спектры импеданса изучали в диапазоне частот (ω/2π) 10 кГц - 0,05 Гц с амплитудой переменного напряжения 10 мВ, используя электрохимический измерительный комплекс фирмы Solartron (Великобритания), состоящий из анализатора импеданса SI 1255 и потенциостата SI 1287 [43]. Рабочий (Ст3, S = 0,42 см^2) и вспомогательный платиновый электроды располагали в трехэлектродной ячейке. В качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный. Измерения частотных спектров импеданса проводили через 15 минут после погружения электрода в рабочий раствор.

Обработку результатов измерения импеданса проводили по программе ZView 3.0, позволяющей проводить расчеты по любым эквивалентным схемам с числом элементов до 20. Во

избежание ситуации нахождения локального минимума функции расчет повторяли несколько раз с различными начальными значениями элементов схемы. Критерием оценки схем является среднее квадратичное отклонение s; эквивалентная схема считается удовлетворительной при $s \leq 5$ %.

Анализ годографов импеданса на стальном электроде проводили с помощью эквивалентных схем, представленных на рисунке 2.

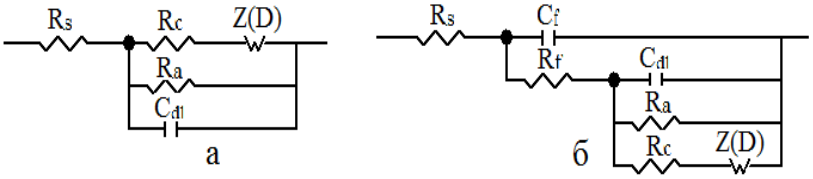


Рисунок 2 – Эквивалентные схемы стального электрода без покрытия (а) и с покрытием (б) пленкой масляной композиции

В них R_S – сопротивление раствора, C_{dl} – емкость двойного электрического слоя, R_1 – сопротивление переноса заряда в анодном процессе, C_a, R_a – емкость и сопротивление адсорбции промежуточных соединений анодной реакции. Катодному процессу отвечает последовательное соединение сопротивления переноса заряда R_c и диффузионного импеданса Z_D, C_f – емкость пленки, R_f – сопротивление раствора в порах пленки.

Результаты и их обсуждение.

Были проведены сравнительные коррозионные испытания составов с двумя разными добавками. В таблице 1 приведены данные по оценке защитной эффективности отработанного масла с добавкой эмульгина в концентрации 1 и 10 масс.%.

Таблица 1 – Защитный эффект композиций на основе отработанного моторного масла с эмульгином в 0,5 М NaCl.

Состав покрытия	Z, %
ММО	21
ММО + 1% эмульгина	27
ММО+5% эмульгина	32
ММО+10% эмульгина	47

Как видно из таблицы 1, без эмульгина отработанное моторное масло проявляет низкий защитный эффект, равный 21%. Наличие в составе ММО эмульгина в концентрации 1 масс.% не вызывает значительного увеличения защитной эффективности. При увеличении концентрации эмульгина в консервационном составе до 5% антикоррозионная способность композиции становится равна 32 %. Максимальная эффективность композиции достигает 47% при содержании эмульгина в концентрации 10 масс. %.

Помимо эмульгина в качестве многофункциональной добавки, способной повысить защитную эффективность композиции на основе отработанного моторного масла, был изучен парафин, который представляет собой смесь предельных углеводородов C_{18}-C_{35}.

Данные по определению защитного эффекта отработанного моторного масла с добавлением парафина, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – защитный эффект композиций на основе отработанного моторного масла с парафином в 0,5 М NaCl.

Состав покрытия	$Z_{ср,}$ %
ММО	21
ММО + 1% парафина	29
ММО +3% парафина	35
ММО +5% парафина	57
ММО +10% парафина	76

Введение парафина в малых концентрациях (1, 3 масс. %) в отработанное моторное масло приводит к незначительному увеличению защитного эффекта по сравнению с чистым маслом. При сравнении композиций ММО с эмульгином и парафином можно сделать вывод об отсутствии зависимости защитного эффекта антикоррозионной композиции от природы присадки. Лишь при увеличении концентрации парафина в ММО до 5 и 10 масс. %, защитный эффект увеличивается до 57 и 76 % соответственно.

Помимо испытаний в солевом растворе NaCl были проведены коррозионные исследования в климатической камере, моделирующей атмосферные процессы при отсутствии активных стимуляторов коррозии (таблица 3). При отсутствии в агрессивной среде активных стимуляторов коррозии в виде хлорид-ионов, защитный эффект консервационных составов с парафином превышает 90 %. Рост содержания парафина в составе антикоррозионной композиции с 3 до 10 % приводит к некоторому увеличению Z с 91 до 95%.

В целом, следует отметить, при отсутствии хлорид-ионов в растворе, возможно использование отработанного моторного масла для защиты металлоизделий от атмосферной коррозии без различных присадок, поскольку увеличение защитного эффекта от наличия в составе полифункциональной присадки составляет всего 7%. Однако наличие присадки может сказаться положительным образом при более длительном, чем в условиях эксперимента, времени выдержки, что необходимо установить дополнительно в ходе натурно-стендовых испытаний.

Таблица 3 - Защитный эффект композиций на основе отработанного моторного масла с парафином в климатической камере.

Состав покрытия	$Z_{ср}$, %
ММО	88
ММО + 1% парафина	85
ММО +3% парафина	91
ММО +5% парафина	92
ММО +10% парафина	95

Помимо гравиметрических испытаний, для оценки кинетики протекания коррозионного процесса и определения его лимитирующей стадии, были проведены электрохимические исследования в 0,5 М NaCl.

На рисунке 3 приведены поляризационные кривые на стали Ст3 в 0,5 М растворе NaCl под пленками отработанного моторного масла с добавкой эмульгина.

Анализ поляризационных кривых показывает, что нанесение покрытий вызывает смещение равновесного потенциала в анодную область. Увеличение концентрации эмульгина приводит к усилению облагораживания электродного потенциала.

В таблице 4 приведены параметры, характеризующие процесс электрохимической коррозии, стали Ст3 под пленками композиций с эмульгином.

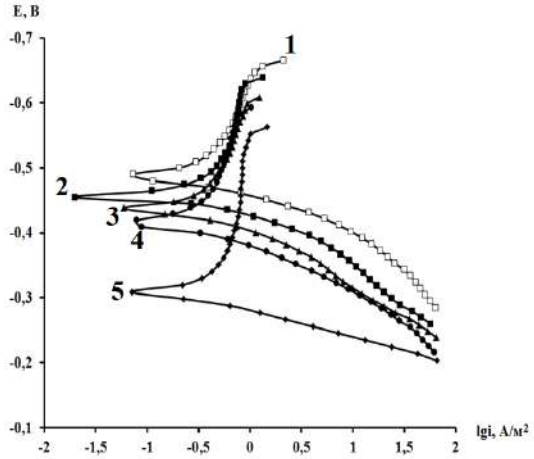


Рисунок 3 - Поляризационные кривые под пленками отработанного синтетического масла в 0,5 М NaCl с эмульгином. 1 – Без покрытия, 2 – ММО, 3 – ММО+1% эмульгина, 4 - ММО+5% эмульгина, 5 - ММО+10% эмульгина

Таблица 4 - Параметры электрохимической коррозии стали Ст3 под пленками отработанного моторного масла с добавкой эмульгина в 0,5 М растворе NaCl.

	E, B	b_k, B	b_a, B	i, А/м^2	Z, %
фон	-0,48	0,104	0,040	0,31	-
ММО	-0,45	0,108	0,038	0,29	4
ММО + 1% эмульгина	-0,42	0,119	0,046	0,30	36
ММО + 5% эмульгина	-0,41	0,117	0,062	0,20	39
ММО + 10% эмульгина	-0,3	0,121	0,044	0,14	53

Нанесение антикоррозионной композиции ММО с эмульгином не оказывает влияния на механизм катодной и анодной реакций. Защитная способность покрытий обусловлена смещением коррозионного потенциала в положительную область. Следует отметить, что на поляризационной кривой на стали Ст3 под масляной композиции ММО с эмульгином в концентрации 10 масс. % наблюдается предельный катодный ток.

Далее были проведены исследования по изучению кинетики парциальных электродных реакций на Ст3 под пленками отработанного моторного масла с содержанием парафина в концентрации 1 – 10 масс % (рис. 4).

Как и в случае композиций ММО с эмульгином, добавление парафина к отработанному моторному маслу приводит к смещению потенциала коррозии в положительную область.

Кинетические параметры парциальных электродных реакций под пленками отработанного моторного масла с парафином приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Параметры электрохимической коррозии стали под пленками ММО с добавкой парафина в 0,5 М растворе NaCl.

Состав	$E_{кор}$, В	$b_к$ В	b_a, В	$i_{кор}$, А/м^2	$Z_{кор}$, %
Без покрытия	-0,49	0,086	0,056	0,056	-
ММО	-0,27	0,108	0,037	0,042	14
ММО + 1 % парафина	-0,21	0,108	0,037	0,038	39
ММО + 3-5% парафина	-0,20	0,108	0,037	0,031	51
ММО + 10 % парафина	-0,18	0,119	0,037	0,015	73

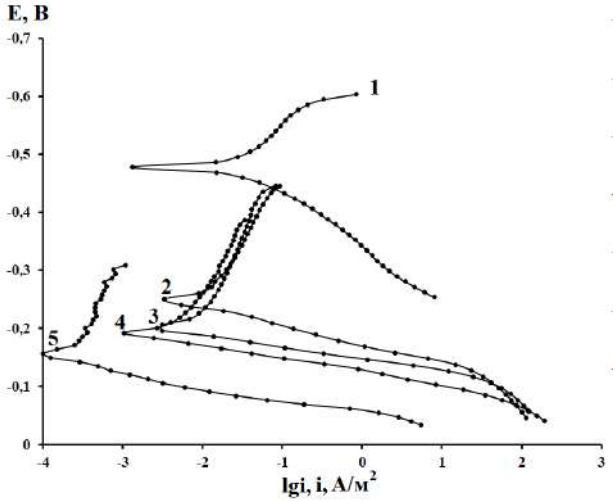


Рисунок 4 - Поляризационные кривые под пленками отработанного синтетического масла в 0,5 М NaCl с парафином. 1 – Без покрытия, 2 – ММО, 3 – ММО+1% парафина, 4 - ММО+(3-5%) парафина, 5 - ММО+10% парафина

Нанесение антикоррозионной композиции ММО с парафином приводит к незначительному облегчению анодного и торможению катодного процесса. Существенного влияния увеличения концентрации парафина на характер протекания парциальных электродных процессов не отмечается.

Величины защитного эффекта, рассчитанные по результатам экстраполяции тафелевских участков поляризационных кривых, удовлетворительно коррелируют с данными, полученными посредством гравиметрических испытаний в 0,5 М NaCl.

Также были проведены исследования по оценке электрохимического импеданса на электродах Ст3 под пленками ММО с добавкой парафина. Годографы импеданса приведены на рисунке 5. Используемые эквивалентные схемы удовлетворительно описывают экспериментальные спектры импеданса стального электрода, покрытого пленками изученных составов. Рассчитанные параметры эквивалентных схем представлены в таблице 6.

Нанесение масляной пленки отработанного моторного масла на стальной электрод вызывает увеличение сопротивления переноса заряда как в катодной, так и в анодной реакции. Емкость двойного слоя при этом уменьшается с 32 мкФ до 16 мкФ. Емкость ДЭС в порах пленки равна 6 мкФ. Добавление парафина в ММО в концентрации 10% приводит к дальнейшему увеличению R_c и R_a до величин 249,7 и 10494 Ом/см^2 соответственно. Емкость двойного электрического слоя при наличии парафина уменьшается как в порах пленки, так и на всей поверхности стального электрода. Величина C_{dl}, достигает величины 0,82 мФ/см^2.

Увеличение радиуса годографов при наличии на Ст3 пленок ММО, содержащих парафин, свидетельствует о повышении общего сопротивления системы и, следовательно, торможении коррозионного процесса.

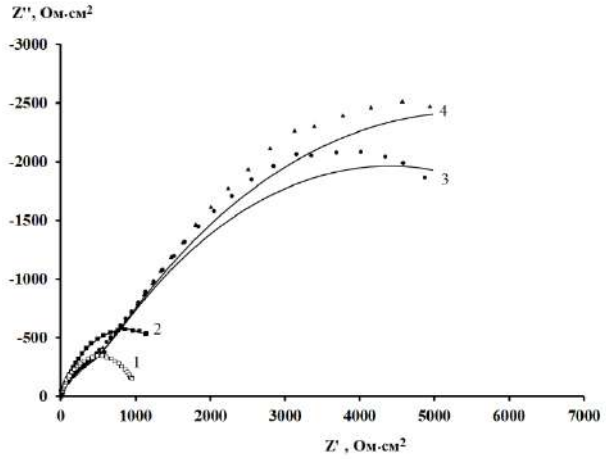


Рисунок 5 - Диаграммы Найквиста для стали Ст3, покрытой пленками отработанного синтетического масла в 0,5 М NaCl с добавлением парафина. 1 – Без покрытия, 2 – ММО, 3 – ММО+5% парафина, 4 - ММО+10% парафина

Таблица 6 - Численные значения параметров эквивалентных схем стали Ст3, покрытой пленками отработанного синтетического масла в 0,5 М NaCl с добавлением парафина.

Параметры	Покрытие			
	Без покрытия	ММО	ММО + 5% парафина	ММО + 10% парафина
R_s, Ом/см^2	3,4	6,3	5	5
R_f, Ом/см^2	-	6	195	180
C_f, мФ	-	13,78	0,35	0,25
C_{dl}, мФ/см^2	32	16	1	0,82
R_a, Ом/см^2	1820	2771	8352	10494
R_c, Ом/см^2	23	22,09	253	249,7
Z(D)-R	11036	20510	54919	66187
Z(D)-T	10,48	10,55	13,37	17,47
Z(D)-P	0,67	0,69	0,56	0,55

В целом, данные, полученные по результатам измерения электрохимического импеданса качественно согласуются с поляризационными потенциодинамическими измерениями.

Заключение.

В результате проведенных исследований показана принципиальная возможность использования антикоррозионных композиций на основе отработанного моторного масла с эмульгином и парафином в качестве средств для защиты металлоконструкций на небольшой период времени или на время межсезонного хранения сельскохозяйственной техники.

Данные, полученные в результате гравиметрических и электрохимических испытаний в 0,5 М NaCl, удовлетворительно коррелируют друг с другом. При этом максимальные защитные эффекты, превышающие 70%, наблюдаются при использования консервационного состава на основе ММО с добавкой 10% парафина.

В отсутствие агрессивных хлорид-ионов, составы, содержащие парафин проявляют более высокую эффективность. Наблюдаемые значения защитного эффекта в условиях климатической камере превышают 90%, что делает данную композицию перспективным продуктом для дальнейших исследований, прежде всего в натурно-стендовых испытаниях.

Торможение коррозионного процесса под пленками изученных композиций происходит за счет смещения потенциала коррозии в анодную область. При этом в присутствии консервационных составов не наблюдается резкого изменения тафелевских коэффициентов наклона катодных и анодных участков поляризационных кривых, что говорит о совпадении механизма коррозии стали под масляной пленкой и без нее.

По данным импедансной спектроскопии установлено, что наличие парафина в пленке отработанного моторного масла в концентрации 5, 10 масс. % взывает уменьшение емкости двойного электрического слоя, а также увеличение сопротивления переноса заряда как в катодной, так и в анодной реакции. Кроме того, происходит увеличение сопротивления диффузии окислителя деполяризатора, что может свидетельствовать об эффективности экранирования металлической поверхности.

Полученные результаты позволяют считать исследованные композиции на основе ММО и парафина перспективным продуктом для дальнейших исследований, прежде всего в натурно-стендовых испытаниях.

Список источников

1. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Таныгин А.Ю. Антикоррозионные составы на базе ингибированных товарных и отработанных нефтяных и рапсовых масел. Научные основы и практика разработки // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2008. Т14. №3. С. 517-529. - URL https://elibrary.ru/item.asp?id=12959004

2. Князева Л.Г. Научные основы создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработавших нефтяных масел и растительного сырья: дис. д-ра хим. наук: 05.17.03 / Князева Лариса Геннадьевна. - Т., 2008. - 367 с.

3. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Кузнецова Е.Г., Прохоренков В.Д. Антикоррозионная эффективность поверхностных защитных пленок товарных и отработанных синтетических масел на примере продукта МОБИЛ-1 // Практика противокоррозионной защиты. 2014. № 2(72). С. 58-65. - URL https://elibrary.ru/item.asp?id=23650859

4. Способ получения антикоррозионной композиции: пат. 2227176 Рос. Федерация. № 99117870/02; заявл. 12.08.99 ; опубл. 20.04.04, Бюл. № C23F 11/14.

5. Урядников А.А, Беленова С.В., Есина М.Н. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии консервационными материалами на основе растительного сырья // Наука в центральной России. 2014. № 5 (11). С. 55-65. – URL https://elibrary.ru/item.asp?id=22600331

6. Шель Н.В., Синютина С.Е., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Чивилева Л.В., Крылова А.Г. Эмульгин - полифункциональный ингибитор коррозии углеродистой стали // Практика противокоррозионной защиты. 2000. №1 (15). С. 21-31. – URL https://elibrary.ru/item.asp?id=9141811

7. Композиция для антикоррозионного и гидроизоляционного покрытия: пат. 2281985 Рос. Федерация. № 2005120192/02; заявл. 29.06.2005; опубл. 20.08.2006, Бюл. № C23. – URL https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=6206be6c0003c91a6f364105eeb86848

8. Таныгина Е.Д., Прусаков А.В., Урядников А.А. Перспективы использования отходов рапсового масла // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2010. Т. 15. № 1. С. 122-125. URL - https://elibrary.ru/item.asp?id=14805072.

References

1. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Tanygin A.Yu. Anticorrosion compositions based on inhibited commercial and waste oil and rapeseed oils. Scientific foundations and practice of development // Bulletin of the Tambov State Technical University. 2008. T14. Number 3. pp. 517-529. - URL https://elibrary.ru/item.asp?id=12959004

2. Knyazeva L.G. Scientific basis for the creation of anti-corrosion conservation materials based on spent petroleum oils and vegetable raw materials: dis. dr. chem. Sciences: 05.17.03 / Knyazeva Larisa Gennadievna. - T., 2008. - 367 p.

3. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Kuznetsova E.G., Prokhorenkov V.D. Anticorrosion efficiency of surface protective films of commercial and used synthetic oils on the example of the product MOBIL-1 // Practice of anti-corrosion protection. 2014. No. 2(72). pp. 58-65. - URL https://elibrary.ru/item.asp?id=23650859

4. Method for obtaining an anticorrosive composition: Pat. 2227176 Ros. Federation. No. 99117870/02; dec. 08/12/99; publ. 20.04.04, Bull. No. C23F 11/14.

5. Uryadnikov A.A., Belenova S.V., Esina M.N. Protection of agricultural machinery from corrosion with conservation materials based on vegetable raw materials // Science in Central Russia. 2014. No. 5 (11). pp. 55-65. – URL https://elibrary.ru/item.asp?id=22600331

6. Shel N.V., Sinyutina C.E., Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Chivileva L.V., Krylova A.G. Emulgin - a polyfunctional carbon steel corrosion inhibitor // Practice of anti-corrosion protection. 2000. No. 1 (15). 21-31. – URL https://elibrary.ru/item.asp?id=9141811

7. Composition for anticorrosive and waterproofing coating: Pat. 2281985 Ros. Federation. No. 2005120192/02; dec. 06/29/2005; publ. 20.08.2006, Bull. No. C23. – URL https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=6206be6c0003c91a6f364105eeb86848

8. Tanygina E.D., Prusakov A.V., Uryadnikov A.A. Prospects for the use of rapeseed oil waste // Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences. 2010. V. 15. No. 1. S. 122-125. URL - https://elibrary.ru/item.asp?id=14805072.

Информация об авторах

А.А. Урядников — кандидат химических наук; В.А. Брыксина – аспирант; М.Н. Урядникова - кандидат химических наук; Г.Г. Бердникова - кандидат химических наук, доцент; О.В. Алехина - кандидат химических наук; Д.В. Королева – студент.

Author credentials

Affiliations

A. Uryadnikov - candidate of chemical sciences; V. Bryksina - postgraduate student; M. Uryadnikova - candidate of chemical sciences; G. Berdnikova - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor; O. Alekhina - candidate of chemical sciences; D. Koroleva - a student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 15.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-120-128

ЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАСЛЯНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПАРАФИНОМ

Николай Алексеевич Курьято [1], ***Виктория Александровна Брыксина*** [2], ***Людмила Дмитриевна Родионова*** [3], ***Лариса Геннадьевна Князева*** [4]
[1, 4] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве*
[2, 3] *Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина*
[1]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370
[2]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310
[3]rld1349@gmail.com,
[4]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210

Автор ответственный за переписку: Николай Алексеевич Курьято, cska-sparta@yandex.ru
Corresponding author: Nikolay Kur`yato, cska-sparta@yandex.ru.

Реферат. *В данной работе исследовали эффективность композиций на основе свежего М10Г$_2$к и отработанного моторного масла (ММО) с добавлением парафина 1-10 масс. % для защиты углеродистой стали. Консервационные составы готовили растворением парафина в маслах при нагревании. Защитное покрытие на металле формировали в течение суток. Кинематическую вязкость измеряли по методу Брукфильда на ротационном вискозиметре. Исследования показали, что парафин обладает загущающим эффектом. Были получены эмпирические уравнения, представляющие собой частный случай уравнения Рейнольдса – Филонова, описывающие вязкостно-температурные зависимости для композиций на основе моторного свежего и отработанного масла и парафина с высокой достоверностью линейной аппроксимации в диапазоне температур 20 - 60 ^{0}С. Полученные уравнения позволяют в данном диапазоне температур определить кинематическую вязкость составов при различных концентрациях парафина. Электрохимические исследования показали, что введение парафина повышает защитную эффективность моторного масла как свежего, так и отработанного Защитная эффективность составов на основе отработанного моторного масла выше. С ростом концентрации парафина защитная эффективность составов возрастает. Наилучшие результаты получены для композиций 10 масс. % парафина в ММО. Гравиметрические исследования подтвердили полученные результаты. Некоторые расхождения в значениях, полученных гравиметрическим и электрохимическим методами, объясняются разной продолжительностью экспериментов.*

Ключевые слова: *коррозия, масляные композиции, вязкостно-температурные зависимости, поляризационные, гравиметрические исследования, парафин, сталь.*

PROTECTIVE EFFECTIVENESS OF OIL COMPOSITIONS WITH PARAFFIN WAX

Nikolay Kur`yato [1], ***Viktoriya Bryksina*** [2], ***Liudmila Rodionova*** [3], ***Larisa Knyazeva*** [4]
[1, 4] *All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture*
[2, 3] *Tambov State University named after G.R. Derzhavin*
[2]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310
[1]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370
[3]rld1349@gmail.com,
[4]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210

Abstract. *The effectiveness of compositions based on fresh M10G2k and used motor oil (MMO) with the addition of paraffin 1-10 wt. % for the protection of carbon steel was investigated in this work.*

Preservative compositions were prepared by dissolving paraffin in oils with heating. The protective coating on the metal was formed during the day. Kinematic viscosity was measured by the Brookfield method on a rotational viscometer. Studies have shown that paraffin has a thickening effect. Empirical equations were obtained, which are a special case of the Reynolds-Filonov equation, describing the viscosity-temperature dependences for compositions based on fresh and used engine oil and paraffin with a high reliability of linear approximation in the temperature range of 20 - 60 ^{0}C. The resulting equations make it possible to determine the kinematic viscosity of the compositions at various paraffin concentrations in a given temperature range. Electrochemical studies have shown that the introduction of paraffin increases the protective effectiveness of both fresh and used engine oil. The protective effectiveness of compositions based on used engine oil is higher. With an increase in the concentration of paraffin, the protective effectiveness of the compositions increases. The best results were obtained for compositions of 10 wt. % paraffin in MMO. Gravimetric studies confirmed the obtained results. Some discrepancies in the values obtained by gravimetric and electrochemical methods are explained by the different duration of the experiments.

Keywords: *corrosion, oil compositions, viscosity-temperature dependences, polarization, gravimetric studies, paraffin, steel.*

Для цитирования: Курьято Н.А., Брыксина В.А., Родионова Л.Д., Князева Л.Г. Защитная эффективность масляных композиций с парафином // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 119-127. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-119-127.

For citation: Kur`yato N., Bryksina V., Rodionova L., Knyazeva L. Protective effectiveness of oil compositions with paraffin wax. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 119-127. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-119-127.

Введение. Сталь широко применяют при производстве техники и оборудования для промышленности и сельского хозяйства. Но там, где есть металл, происходят и коррозионные разрушения, нарушающие его целостность и структуру. По мнению экспертов [1], экономические потери от коррозии во всём мире составляют 2,5 триллиона долларов (2013 г), что «эквивалентно 3,4% глобального валового внутреннего продукта (ВВП), причем экономические потери не включают экологические. По этой причине, атмосферная коррозия является серьезной проблемой. Более 80 % металлических материалов, подвергающихся агрессивному воздействию атмосферы, подвержены коррозии. Изучение данного вида коррозии актуально для сельского хозяйства, так как техника и оборудование эксплуатируются и хранятся в период неиспользования в естественной атмосфере. Относительная влажность воздуха, температура, время увлажнения металлической поверхности (TOW) и загрязняющие компоненты в воздухе (Cl^-, SO_x, и др.) являются факторами, которые в большей мере оказывают влияние на скорость атмосферной коррозии [2].

Из-за последствий атмосферной коррозии возникает необходимость использования веществ для ее ингибирования. В настоящее время довольно разнообразен рынок ингибиторов для противокоррозионной защиты металлоконструкций. Имеются консервационные материалы (КМ) как отечественного производителя, так и импортного. Широкий охват применения имеют контактные КМ на масляной основе, поэтому исследование масляных композиций достаточно актуально. В работах [3-14] изучена эффективность масляных пленок. Хотя отработанные моторные масла (ММО) имеют неплохую защитную эффективность, но даже их недостаточно для противокоррозионной защиты техники и оборудования на открытых площадках [9-11]. Исходя из этого возникает необходимость добавления противокоррозионных добавок, что в свою очередь должно привести к увеличению защитной эффективности полученных композиций.

Целью настоящей работы является изучение защитного действия композиций на основе масла М10Г$_2$к и ММО с добавлением парафина. Парафин входит в состав многих известных консервационных материалов, представляет собой воскоподобную смесь предельных углеводородов преимущественно нормального строения с 18-35 атомами углерода в молекуле, температурой плавления 45-65^{0}С, плотностью 0,880-0,915 г/см^3.

Материалы и методы. Для исследования были получены композиции, где в роли растворителя-основы использовали масло: моторное М10$Г_2$к и отработанное, а добавка парафина варьировалась от 1 до 10 масс. %.

Для нанесения покрытия образцы опускали в ванну консервации на 10 сек., после чего оставляли на воздухе в подвешенном вертикальном положении на 1 сутки для стекания избытка масляной композиции и формирования защитной пленки [12.13].

Коррозионные испытания проводили в 0,5 М растворе NaCl (ГОСТ 9.042-75). Скорость коррозии рассчитывали по потере массы образцов в процессе эксперимента по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где Δm - потеря массы образца, г; S – площадь поверхности, м^2; τ – длительность испытаний, часы.

Защитное действие определяли по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100\ \%,$$

где K_o, K_1 – скорости коррозии в отсутствие и при наличии пленки исследуемых составов.

Поляризационные измерения проводили с использованием потенциостата IPC-Pro MF в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 0,66 мВ/с в электрохимической ячейке. В качестве исследуемого раствора использовали 0,5 М NaCl. После погружения в раствор рабочие электроды из стали, армированные в оправку из эпоксидной смолы, выдерживали 10-15 мин для установления квазистационарного потенциала.

Кинематическую вязкость (в мм^2/с) измеряли по методу Брукфильда на ротационном вискозиметре «Smart L», производства фирмы Fungilab (рисунок 1).

Рисунок 1 – Вискозиметр «Fungilab Smart L» для измерения вязкости композиций

Результаты и их обсуждение.

Первоначально были исследовали загущающие свойства парафина по отношению к минеральным маслам. С этой целью были получены вязкостно-температурные кривые с помощью ротационного вискозиметра в интервале от 20 °С до 60 °С для составов на основе масла М10$Г_2$к и ММО с добавлением парафина 1-10 масс. %. Вязкостно - температурные зависимости моторного масла М10$Г_2$(к), свежего и отработанного (ММО) в координатах lnν–Т близки (рисунок 2), как близки коэффициенты в эмпирических уравнениях (1,2) для М-10 $Г_2$ (к) и ММО, соответственно, полученные их линейной аппроксимацией (таблица 1):

$$\ln \nu = 13{,}522 - 0{,}0293T \quad (1)$$

$$\ln \nu = 13{,}755 - 0{,}0301T \quad (2)$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости; Т – температура жидкости

Эти эмпирические уравнения представляет собой частный случай уравнения Рейнольдса – Филонова, широко применяемого для расчета вязкости нефти [14], которую в общем виде можно записать следующим образом:

$$\ln \nu = a + bT, \quad (1)$$

На рисунках 3 и 4 показаны вязкостно-температурные зависимости для составов на основе масла М10$Г_2$к и ММО с добавлением парафина 1-10 масс. %, а в таблице 1 приведены, эмпирические уравнения их описывающие.

Для композиций на основе М10$Г_2$к на вязкостно-температурных кривых в диапазоне 20-40 ^{0}С имеются перегибы

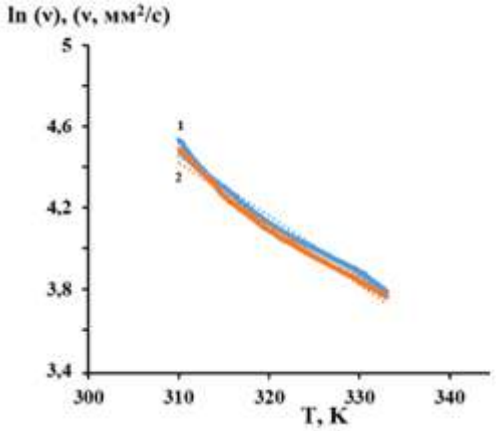
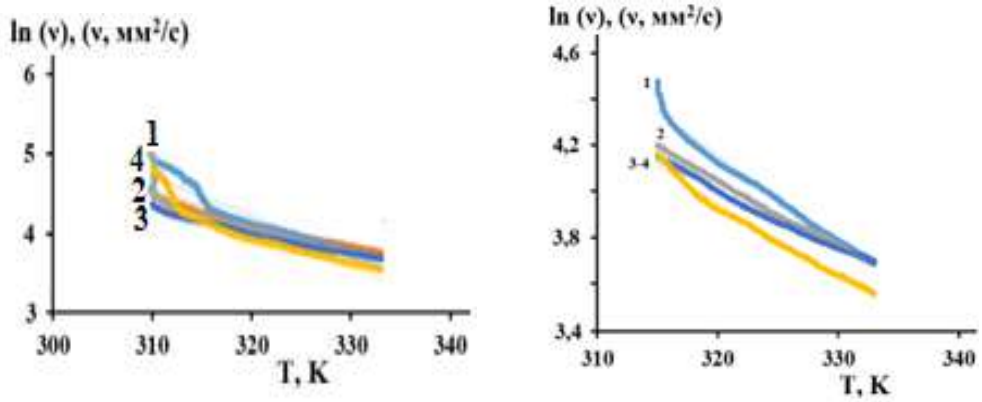


Рисунок 2 - Вязкостно-температурные кривые масел М10$Г_2$к и ММО

Таблица 1- Эмпирические уравнения для вязкостно-температурных зависимостей исследуемых композиций

№ п/п	Композиция		Диапазон температур, ^{0}С	Эмпирическое уравнение	Достоверность аппроксимации R^2
	масло	парафин, масс. %			
1	М10$Г_2$(к)	0	20-60	ln ν = 13,522 – 0,0293T	0,9862
		1		ln ν = 19,786 – 0,0486T	0,9242
		3		ln ν = 18,452 - 0,0447T	0,8309
		5		ln ν = 12,791 - 0,0270T	0,9891
		10		ln ν = 18,716 – 0,0459T	0,8950
2	М10$Г_2$(к)	1	40-60	ln ν = 14,169 – 0,0355T	0,9833
		3		ln ν = 13,081 – 0,0285T	0,9976
		5		ln ν = 12,110 – 0,0253T	0,9915
		10		ln ν = 14,104 – 0,0317T	0,9878
3	ММО	0	20-60	ln ν = 13,755 – 0,0301T	0,9839
		1		ln ν = 23,239 – 0,0595T	0,9946
		3		ln ν = 17,353 – 0,0404T	0,9804
		5		ln ν = 16,968 – 0,0391T	0,9796
		10		ln ν = 17,862 – 0,0417T	0,9851



а) б)

Рисунок 3 - Вязкостно-температурные зависимости составов на основе М10Г$_2$к и парафина, масс. %: 1 – 1, 2 – 3, 3 – 5, 4 – 10, в диапазоне 20-60 ^{0}С (а), 40-60^{0}С (б)

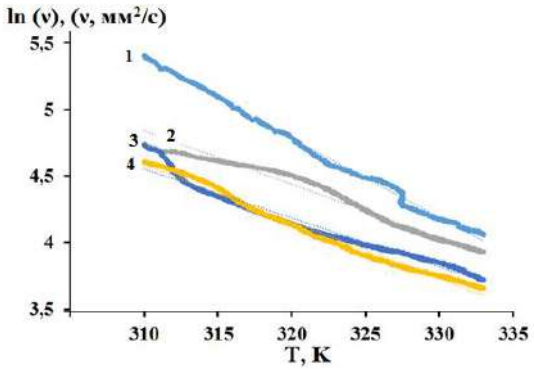


Рисунок 4 - Вязкостно-температурные зависимости составов на основе ММО и парафина, масс. %: 1 – 1, 2 – 3, 3 – 5, 4 –10

Если взять эмпирические уравнения для составов на основе М10Г$_2$к и ММО с 10 масс.% парафина с близкой достоверностью аппроксимации, то при 40^{0}С получим следующее. В первом случае ln ν = 14,104 – 0,0317Т = 4,1819, ν = 65,5 (мм^2/с); во втором - ln ν = 17,862 – 0,0428Т= 4,4656, а ν = 87,0 (мм^2/с). Таким образом кинематическая вязкость в одних и тех же условиях ожидаемо выше для композиций на основе ММО, по сравнению с М10Г$_2$(к), на основании полученных эмпирических уравнений. С ростом концентрации парафина в исследуемых маслах кинематическая вязкость возрастает.

С ростом концентрации парафина возрастает и защитная эффективность исследуемых составов, как показывают электрохимические исследования. Поляризационные кривые с покрытиями на основе свежего масла М10Г$_2$к приведены на рисунке 5. Ток коррозии образца без покрытия составляет ≈ 0,0631 А/м^2 (таблица 1). С нанесением пленки из масла М10Г$_2$к, ток коррозии снижается до 0,0282 А/м^2. На анодной поляризационной кривой значение наклона тафелевского участка сохраняется близким к 67 мВ, защитное действие (Z) составляет 55%. Покрытие состава, содержащей 10 масс. % парафина, снижает ток коррозии до 0,0151 А/м^2, а защитная эффективность такого состава составляет ≈76 %. Также можно отметить снижение потенциала коррозии у защитных покрытий, содержащих 3-10 масс. % парафина.

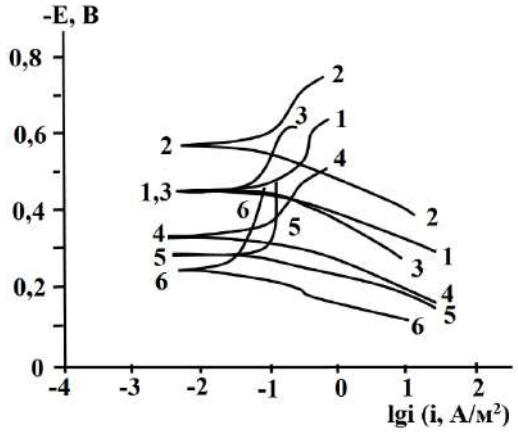


Рисунок 5 – Поляризационные кривые стали, покрытой составами в 0,5 М NaCl: 1 – без покрытия, 2 – М10Г$_2$к, 3 – 1 % парафина в М10Г$_2$к, 4 – 3 % парафина в М10Г$_2$к, 5 – 5 % парафина в М10Г$_2$к, 6 – 10 % парафина в М10Г$_2$к.

Таблица 1 - Результаты электрохимических измерений на стали с покрытием на основе масла М10Г$_2$к с добавлением парафина.

Покрытие		-$E_{кор}$, В	$i_{кор}$, А/м^2	b_a, В	b_k, В	Z, %
масло	парафин, масс. %					
Без покрытия		0,470	0,0631	0,067	0,050	-
М10Г$_2$к	0	0,565	0,0282	0,062	0,040	55,3
	1	0,470	0,0311	0,060	0,055	50,7
	3	0,320	0,0251	0,061	0,055	60,2
	5	0,280	0,0224	0,060	0,048	64,5
	10	0,250	0,0151	0,055	0,045	76,0

На рисунке 6 представлены поляризационные кривые покрытий на основе ММО с добавлением парафина. Как видно из результатов таблицы 2, пленка из отработанного моторного масла снижает ток коррозии до 0,0100 А/м^2. При добавлении в него 10 масс. % парафина, наблюдается значительное снижение $i_{кор}$ до 0,0013 А/м^2, а защитная эффективность равна ≈ 98 %. Также можно отметить, что нанесение композиций приводит к снижению значений наклона тафелефского участка анодных кривых.

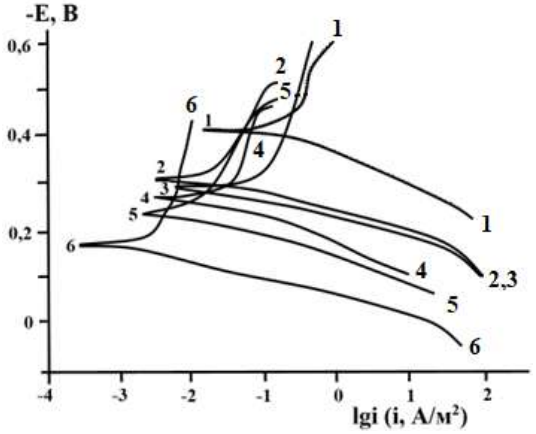


Рисунок 6 - Поляризационные кривые стали, покрытой составами в 0,5 М NaCl: 1 – без покрытия, 2 – ММО, 3 – 1 % парафина в ММО, 4 – 3 % парафина в ММО, 5 – 5 % парафина в ММО, 6 – 10 % парафина в ММО.

Как видно из результатов таблицы 2, пленка из отработанного моторного масла снижает ток коррозии до 0,0175 А/м^2. С возрастанием концентрации парафина скорость коррозии составов падает. При добавлении в ММО 10 масс. % парафина, наблюдается значительное снижение $i_{кор}$ до 0,0018 А/м^2, а защитная эффективность равна ≈ 99 %. Также можно отметить, что нанесение композиций приводит к снижению значений наклона тафелефского участка анодных кривых.

Таблица 2 - Результаты поляризационных измерений на стали с покрытием на основе масла ММО с добавлением парафина.

Покрытие		$-E_{кор}$, В	$i_{кор}$, А/м^2	b_a, В	b_k, В	Z, %
масло	парафин, масс. %					
Без покрытия		0,420	0,0631	0,067	0,050	-
ММО	0	0,306	0,0100	0,065	0,034	84,2
	1	0,288	0,0178	0,042	0,020	71,7
	3	0,278	0,0063	0,040	0,040	90,1
	5	0,246	0,0035	0,052	0,040	94,5
	10	0,168	0,0013	0,065	0,050	98,0

Результаты гравиметрических испытаний в 0,5 М NaCl для составов на основе М10Г$_2$к и ММО приведены в таблице 3

Таблица 3 – Коррозионные испытания образцов стали с покрытиями на основе масла М10Г$_2$к в 0,5 М NaCl.

Покрытие		К, (г/м^2·ч)	Z, %
масло	парафин, масс. %		
Без покрытия		0,0812	-
М10Г$_2$к	0	0,0477	41,2
	1	0,0425	47,6
	3	0,0406	49,9
	5	0,0369	54,5
	10	0,0247	69,5
ММО	0	0,0399	50,8
	1	0,0414	49,0
	3	0,0393	51,6
	5	0,0315	61,1
	10	0,0052	93,5

Время экспозиции 14 суток. С ростом концентрации парафина защитная эффективность составов возрастает, как и при электрохимических исследованиях. Некоторые расхождения в значениях, полученных гравиметрическим и электрохимическим методами, объясняются разной продолжительностью испытаний: в первом случае время экспозиции составило 14 суток, во втором – 15 минут. Защитная эффективность составов на основе ММО выше, чем составов на основе М10Г$_2$к. Что касаемо композиций с содержанием парафина, то добавление 1-3 масс. % недостаточно, а защитное действие (Z) данных покрытий близкое к значениям пленок из масел не содержащих добавок. Высокая эффективность наблюдается у составов, содержащих 10 масс. % парафина 69,5 % (в М10Г$_2$к) и 93,5 % (в ММО).

Заключение. Таким образом, были получены эмпирические уравнения, представляющие собой частный случай уравнения Рейнольдса – Филонова, описывающие вязкостно-температурные зависимости для композиций на основе моторного свежего и отработанного масла и парафина с высокой достоверностью линейной аппроксимации в диапазоне температур 20 -60 ^{0}С. Показано, что парафин обладает загущающим эффектом. Введение парафина повышает защитную эффективность моторного масла как свежего, так и отработанного, как по электрохимическим, так и по гравиметрическим исследованиям в 0,5 М NaCl. Наилучшие результаты получены для композиций 10 масс. % парафина в ММО. Эти составы перспективны для дальнейших исследований, натурно-стендовых и производственных, чтобы их можно было бы

рекомендовать в качестве консервационных материалов для защиты сельскохозяйственной техники.

Список источников

1. Koch G. et al. International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study // NACE International. 2016. С. 216.
2. Krivy V., Kubzova M., Kreislova K., Urban V. Characterization of Corrosion Products on Weathering Steel Bridges Influenced by Chloride Deposition // Metals. 2017. Vol. 336, no. 7. https://doi.org/10.3390/met7090336
3. Князева Л.Г., Вигдорович В.И. Использование масляных пленок для защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии // Вестник воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2011. № 2. С. 17-26.
4. Vigdorovich V.I., Shel N.V. Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials // Protection of Metals. 2005. Т. 41. № 4. С. 394-401.
5. Vigdorovich V.I., Shel' N.V., Tsygankova L.E., Bernatskii P.N., Zarapina I.V. Features of Electrochemical and Physicochemical Processes on Metals Coated with Oil Films//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2008. Т. 44. № 5. С. 344-351
6. Vigdorovich V.I., Tanygin A.Yu., Tanygina E.D., Selemenev V.F., Nazarova A.A. Rapeseed-Oil Mixtures for Protecting Metals from Atmospheric Corrosion// Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2009. Т. 45. № 2. С. 103-114.
7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. Т. 55. № 4. С. 412-423.
8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V. Protective Effectiveness of Oil Compositions in the Presence of Sulfur-Containing Corrosion Stimulators//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2020. Т. 56. № 4. С. 570-579.
9. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д. Ингибирование коррозии отработавшими моторными маслами // Коррозия: материалы, защита. 2010. №10. С. 25-30.
10. Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Епифанцев С.С. Защита от атмосферной коррозии отработанными маслами, ингибированными продуктами их очистки. Сообщение 4. Защитная эффективность ингибированных ПООМ отработанных масел в условиях влагонасыщения // Практика противокоррозионной защиты. 2006. № 2. С. 41-47.
11. Prokhorenkov V.D., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I. Carriers of the Protective Effectiveness of Used Motor Oils//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2006. Т. 42. № 1. С. 35-38.
12. Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А., Прохоренков В.Д. Исследование эффективности составов на основе CORTEC VpCl-368 и CORTEC VpCl-369 для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники // Наука в центральной России. 2019. № 5. С. 69-80.
13. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.
14. Аралов О.В., Буянов И.В., Саванин А.С., Иорданский Е.И. Исследование методов расчета кинематической вязкости нефти в магистральном нефтепроводе// //Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов 2017 7(5):97–105 DOI: 10.28999/2221-2701-7-5-97-105.

References

1. Koch G. et al. International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study // NACE International. 2016. S. 216.
2. Krivy V., Kubzova M., Kreislova K., Urban V. Characterization of Corrosion Products on Weathering Steel Bridges Influenced by Chloride Deposition // Metals. 2017. Vol. 336, no. 7. https://doi.org/10.3390/met7090336

3. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I. The use of oil films to protect carbon steel from atmospheric corrosion // Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2011. № 2. S. 17-26.

4. Vigdorovich V.I., Shel N.V. Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials // Protection of Metals. 2005. T. 41. № 4. S. 394-401.

5. Vigdorovich V.I., Shel' N.V., Tsygankova L.E., Bernatskii P.N., Zarapina I.V. Features of Electrochemical and Physicochemical Processes on Metals Coated with Oil Films//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2008. T. 44. № 5. S. 344-351

6. Vigdorovich V.I., Tanygin A.Yu., Tanygina E.D., Selemenev V.F., Nazarova A.A.

Rapeseed-Oil Mixtures for Protecting Metals from Atmospheric Corrosion// Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2009. T. 45. № 2. S. 103-114.

7. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. T. 55. № 4. S. 412-423.

8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V. Protective Effectiveness of Oil Compositions in the Presence of Sulfur-Containing Corrosion Stimulators//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2020. T. 56. № 4. S. 570-579.

9. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Prokhorenkov V.D. Corrosion inhibition by used motor oils // Corrosion: materials, protection. 2010. №10. S. 25-30.

10. Vigdorovich V.I., Prokhorenkov V.D., Knyazeva L.G., Epifantsev S.S. Protection against atmospheric corrosion by used oils inhibited by their purification products. Message 4. Protective efficiency of waste oils inhibited by POOM in conditions of moisture saturation // Practice of anticorrosion protection. 2006. № 2. S. 41-47.

11. Prokhorenkov V.D., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I. Carriers of the Protective Effectiveness of Used Motor Oils//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2006. T. 42. № 1. S. 35-38.

12. Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Kuryato N.A., Prokhorenkov V.D. Study of the effectiveness of compositions based on CORTEC VpCl-368 and CORTEC VpCl-369 for anti-corrosion protection of agricultural machinery // Science in Central Russia. 2019. № 5. S. 69-80.

13. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

14. Aralov O.V., Buyanov I.V., Savanin A.S., Jordansky E.I. Study of methods for calculating the kinematic viscosity of oil in the main oil pipeline // Science and technology of pipeline transport of oil and oil products 2017 7(5):97–105 DOI: 10.28999/2221-2701-7-5-97-105.

Информация об авторах

Н.А. Курьято – младший научный сотрудник; В. А. Брыксина – аспирант; Л.Д. Родионова – аспирант; Л. Г. Князева – доктор химический наук, доцент.

Information about the authors

N. Kur`yato – junior researcher; V. Bryksina – graduate student; L. Rodionova – graduate student; L. Knyazeva – doctor of science (chemistry), 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): 29.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 15.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 667.6: 631.333.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-129-140

СТОЙКОСТЬ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРАХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Александр Иванович Петрашев[1], Лариса Геннадьевна Князева[2], Виктор Валерьевич Клепиков[3], Николай Алексеевич Курьято [4], Андрей Валерьевич Дорохов [5]
[1, 2, 3, 4, 5] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия
[1] vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883,
[2] fgbnuvniitin@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-3232-2210,
[3] viktrikt@mail.ru, [4] cska-sparta@yandex.ru, [5] dorokhov.andryusha@mail

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Петрашев, vitin-10.pet@mail.ru
Corresponding author: Alexandr Petrashev, vitin-10.pet@mail.ru

Реферат. *Определен электрохимической ряд коррозионной активности концентрированных растворов минеральных удобрений в отношении стали Ст3: аммиачная селитра > суперфосфат > диаммофоска > нитрофоска > борофоска > хлористый калий > карбамид. В этих растворах в течение 14 мес. испытывались покрытия из полиуретановой грунт-эмали Полиуретол. Покрытия Полиуретол, содержащие отвердитель, сохранили хорошую адгезию к стали Ст3. Покрытия Полиуретол без отвердителя лишились адгезии в растворах хлористого калия, борофоски, диаммофоски и нитрофоски. С помощью измерительного комплекта ИКС-1 изучено действие раствора борофоски на электропроводность (от 1 нА) и сопротивление (до 10 ГОм) покрытий Полиуретол и Raptor. Покрытия наносили распылением и кистью, в один и несколько слоев, с отвердителем и без отвердителя. После годовых атмосферных испытаний электрическое сопротивление двухслойного покрытия Полиуретол составило 130 МОм, однослойного покрытия – 17 МОм. За 200 суток испытаний в растворе борофоски электрическое сопротивление покрытия Raptor в три слоя толщиной 300 мкм снизилось со 130 до 22 МОм. Изолирующая способность 1 слоя покрытия Полиуретол при нанесении распылителем, равна изолирующей способности 2 слоев покрытия Raptor при нанесении кистью. Установлено, что полиуретановые покрытия Полиуретол и Raptor пригодны для противокоррозионной защиты низкоуглеродистых сталей от действия растворов минеральных удобрений.*

Ключевые слова: *защита от коррозии, раствор минерального удобрения, полиуретановое покрытие, электрическое сопротивление, слаботочные измерения.*

DURABILITY OF POLYURETHANE COATINGS IN CONCENTRATED SOLUTIONS OF MINERAL FERTILIZERS

Alexandr Petrashev [1], Larisa Knyazeva [2], Viktor Klepikov [3], Nicolay Kur'yato [4], Andrey Dorokhov [5]
[1, 2, 3, 4, 5] All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1] vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883,
[2] fgbnuvniitin@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-3232-2210,
[3] viktrikt@mail.ru, [4] cska-sparta@yandex.ru, [5] dorokhov.andryusha@mail

Abstract. *Polyurethane Primer Coatings Polyurethol tested in these solutions for 14 months. Coatings Polyurethol containing a hardener retained good adhesion to St3 steel. Coatings Polyurethol without hardener lost adhesion in solutions of potassium chloride, borofoska, diammofoska and nitrophoska. The effect of a borofoska solution on the electrical conductivity (from 1 nA) and resistance (up to 10 GΩ) of Polyurethol and Raptor coatings was studied using the IKS-1 measuring kit. Coatings*

were applied by spraying and brushing, in one and several coats, with and without hardener. The electrical resistance of a two-layer coating of Polyurethol was 130 MΩ, a single-layer coating was 17 MΩ after a year of atmospheric testing. The electrical resistance of the Raptor coating in three layers with a thickness of 300 microns decreased from 130 to 22 MΩ after 200 days of testing in a solution of borofoska. The insulating power of 1 coat of Polyurethol when applied by spray is equal to the insulating power of 2 coats of Raptor when applied by brush. It has been established that polyurethane coatings Polyurethol and Raptor are suitable for anticorrosion protection of low-carbon steels from the action of mineral fertilizer solutions. The insulating power of 1 coat of Polyurethol when applied by spray is equal to the insulating power of 2 coats of Raptor when applied by brush. It was established that polyurethane coatings Polyurethol and Raptor are suitable for anticorrosion protection of low-carbon steels from the action of mineral fertilizer solutions.

***Keywords**: corrosion protection, mineral fertilizer solution, polyurethane coating, electrical resistance, low-current measurements.*

Для цитирования: Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В., Курьято Н.А, Дорохов А.В. Стойкость полиуретановых покрытий в концентрированных растворах минеральных удобрений // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 128-139. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-128-139.

For citation: Petrashev A., Knyazeva L., Klepikov V., Kur`yato N., Dorokhov A. Results of the study of pneumatic ejector guns for use in the protection of agricultural machines. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 128-139. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-128-139.

Введение. В период эксплуатации сельскохозяйственной техники антикоррозионную защиту рабочих механизмов и узлов выполняют путем нанесения консервационных и лакокрасочных покрытий. Положительный эффект от регулярного проведения мероприятий антикоррозионной защиты проявляется спустя несколько лет после начала эксплуатации машины в виде повышения ее безотказности, технического ресурса и снижения затрат на ремонты [1, 2]. В полной мере это относится к разбрасывателям минеральных удобрений, испытывающим широкий спектр коррозионно-активных воздействий [3, 4]. По данным Росстата [5] годовой объем внесения минеральных удобрений с 2018 по 2020 г. повысился с 2,5 до 3,0 млн. тонн. За этот же период производство разбрасывателей твердых минеральных удобрений увеличилось с 808 до 1500 шт./год, а парк разбрасывателей в сельхозпредприятиях вырос с 15,7 до 16,1 тыс. шт. Увеличилось также количество тракторных разбрасывателей и опрыскивателей с 23,5 до 24,8 тыс. шт.

Стремление производителей техники повысить долговечность тукоразбрасывающих машин, особенно самоходных, реализуется путем расширения номенклатуры узлов, изготавливаемых из нержавеющей стали. При этом бункеры из углеродистой стали защищаются высококачественными лакокрасочными покрытиями. На польском разбрасывателе Sipma RN-1000 рассеивающие диски с лопатками выполнены из нержавеющей стали [6], бункер окрашен двухкомпонентной полиуретановой эмалью.

Компания Amazone [7] сообщает, что все выпускаемые разбрасыватели оснащены бункерами глубокой вытяжки, которые не имеют углов и сварных швов, что обеспечивает постоянное соскальзывание удобрений. В разбрасывателях широко применяются коррозионностойкие материалы, так как удобрения воздействуют на них крайне агрессивно. Компания использует особый метод покраски, который предусматривает цинковое фосфатирование углеродистой стали, нанесение слоя грунтовки, а затем слоя порошковой краски электростатическим напылением с последующей сушкой в печи. Такая технология обеспечивает стойкое к удобрениям лакокрасочное покрытие даже на острых гранях и кромках деталей.

Липецкий завод «Авион» [8] устанавливает разбрасыватели ZA-M900 фирмы Amazone на вездеход УАЗ-35514. Осмотр, проведенный после двух сезонов использования разбрасывателя, подтверждает хорошее состояние лакокрасочных покрытий на бункере и на внешней облицовке автомобиля, а также неокрашенных разбрасывающих дисков, отражателей и других узлов из нержавеющей стали. В отличии от них, поверхности шасси, нижних панелей кузова, рамы,

ходовой части автомобиля УАЗ-35514 практически лишены защиты и имеют множественные очаги коррозионных разрушений. Это говорит о том, что при монтаже разбрасывателя ZA-M900 на автомобиль, завод не усиливает антикоррозионную защиту базовых узлов автомобиля. Подобными недостатками характеризуется антикоррозионная защита самоходного опрыскивателя-разбрасывателя Туман-3, изготовленного ООО «Пегас-Агро» Самарской обл. В течение гарантийного периода эксплуатации обнаружены очаги коррозии на подвеске, платформе и вблизи сварных швов, наложенных при ремонте шасси разбрасывателя (рисунок 1).

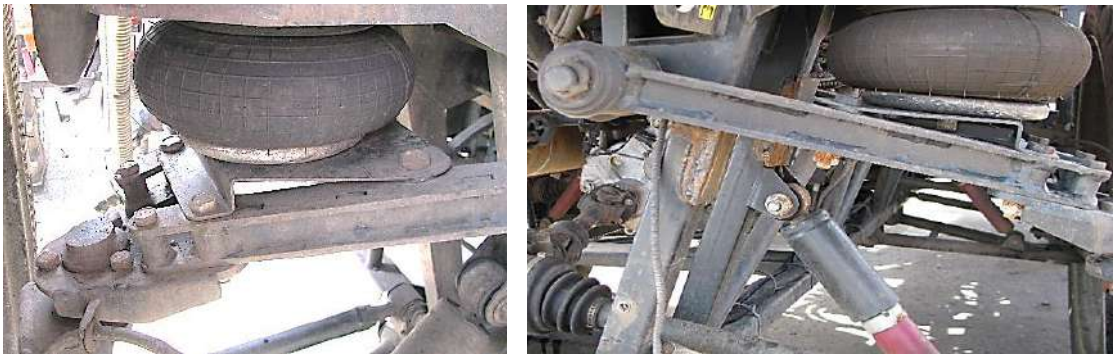


Рисунок 1 – Коррозия поверхности шасси опрыскивателя-разбрасывателя Туман-3

Результаты проведенных осмотров состояния противокоррозионной защиты самоходных разбрасывателей минеральных удобрений Туман-3 и ZA-M900 на автомобиле УАЗ-35514 указывают на несоответствие условиям эксплуатации заводских систем лакокрасочных покрытий (ЛКП), нанесенных на поверхность шасси. Для ремонтного восстановления разрушенных ЛКП на шасси разбрасывателей требуются качественные лакокрасочные материалы, стойкие в среде минеральных удобрений. К таким материалам относятся двухкомпонентные полиуретановые краски, которые, по информации производителей, обладают высокой защитной способностью.

Для ускоренных коррозионных испытаний защитной способности полиуретановых ЛКП рекомендованы методики электрофизической (электрохимической) оценки, изложенные в ГОСТ 9.509-89 «Средства временной противокоррозионной защиты. Методы определения защитой способности» [9] и ГОСТ 9.083-78 «Покрытия лакокрасочные. Методы ускоренных испытаний на долговечность в жидких агрессивных средах» [10].

Методика, изложенная в ГОСТ 9.509-89 [9], предлагает на металлическую пластину с нанесенным покрытием установить полый стеклянный цилиндр, загерметизировать место стыка и залить в цилиндр 3 % раствор хлористого натрия. Затем ввести в раствор вспомогательный электрод из платины, подключить к электроду и металлической пластине измерительный мост Р-5021. Измерить сопротивление и емкость на частотах от 0,5 до 20 кГц при переменном напряжении от 30 до 50 мВ. Если емкость покрытия не зависит от частоты тока, а сопротивление обратно пропорционально ей, то испытуемое покрытие обладает защитной способностью. Если емкость обратно пропорциональна частоте тока, а сопротивление не зависит от нее, то покрытие не обладает защитной способностью. Этот метод испытаний дает только качественную оценку защитной способности исследуемого ЛКП. Он не может быть применен в случае испытаний покрытий из одного материала, но с разным числом нанесенных слоев. К тому же для питания моста требуется подключение к генератору ГЗ-36 [11]. Как видим, данный метод испытаний недешев, но малоинформативен.

Сущность метода по ГОСТ 9.083-78 [10] заключается в определении ресурса ЛКП путем его испытания до отказа в агрессивной среде. Критерием отказа является снижение электрического сопротивления покрытия до величины сопротивления разрушения. Этот метод рекомендован для испытания алкидно-уретановых покрытий, электрическое сопротивление которых изменяется в процессе испытаний (начальное сопротивление покрытий должно быть не менее 100 МОм). Для измерения толщины покрытия предлагается применять ферромагнитные толщиномеры, для

измерения сопротивления – мегаомметры.

На окрашенную поверхность металлической пластины при помощи замазки приклеивают стеклянную воронку и выдерживают 2-3 суток. Затем в воронку наливают агрессивный электролит, в который на глубину 10-20 мм погружают платиновый наконечник. Металлическую пластинку и платиновый наконечник посредством изолированных проводов присоединяют к мегаомметру. Через определенные интервалы времени измеряют электрическое сопротивление ЛКП. Величину сопротивления после резкого его уменьшения принимают за сопротивление разрушения данного покрытия. Метод позволяет по характеру изменения приведенного электрического сопротивления покрытия получить количественную оценку динамики изменения его защитной способности под воздействием раствора минерального удобрения.

Напряжение, при котором измеряют сопротивление ЛКП цифровым мегаоммметром, составляет, порядка 100 В [12], что выше уровня безопасности. При импульсных измерениях мегаометром практически невозможно оценить силу тока, проходящего через поры ЛКП с электролитом. Импульсы тока способны оказать деструктивное действие на тестируемое покрытие из-за электрогидравлического эффекта в его порах. К тому же при измерениях мегаомметром сопротивления ЛКП под электролитом низка воспроизводимость получаемых результатов, так как мегаомметр предназначен для измерения сопротивления сухой изоляции.

Цель исследования – оценка динамики изменения электропроводности, электрического сопротивления и защитных свойств полиуретановых ЛКП в растворах минеральных удобрений.

Материалы и методы.

Изучали коррозионную агрессивность концентрированных растворов суперфосфата, нитрофоски, борофоски, диаммофоски, хлористого калия, аммиачной селитры и карбамида в отношении пластин из стали Ст3 площадью 3600 мм^2. Концентрированные растворы получали путем смешивания 1,0 л дистиллированной воды с 0,25 кг минерального удобрения. Агрессивность растворов удобрений оценивали по удельным потерям массы металла (гравиметрически) и по току коррозии (электрохимически) на электроде площадью 13 мм^2 с использованием трехэлектродной ячейки и потенциостата IPC-Pro MF.

Исследовали защитные и изолирующие свойства нанесенных на пластины из стали Ст3 покрытий из полиуретановой грунт-эмали Полиуретол УФ оранжевого цвета (НПО Краско) [13] и полиуретановой краски Raptor черного цвета (U-Pol. Ltd) [14]. Двухкомпонентную грунт-эмаль Полиуретол готовили смешиванием основы Полиуретол (компонент А) с изоцианатным отвердителем (компонент Б) в отношении – А : Б = 1 : 0,15 и разбавляли растворителем Р-универсал до вязкости 35-50 с ВЗ-4. Двухкомпонентную краску Raptor готовили смешиванием полиуретановой основы Raptor (А) с отвердителем (Б) в отношении А : Б = 3 : 1, разбавляли универсальным растворителем Holex. Покрытия Полиуретол наносили на пластины из стали Ст3 от 1 до 4-х слоев краскораспылителем Matrix 57316. Покрытия Раптор наносили на пластины от 1 до 4-х слоев кистью. Промежуточную сушку наносимых слоев выполняли подогретым воздухом от тепловентилятора. Толщину сухого покрытия измеряли толщиномером Horstek TC315.

Испытания на стойкость к воздействию концентрированных растворов минеральных удобрений проводили по ГОСТ 9.403-80 (метод А) на стальных пластинах, покрытых Полиуретолом. Пластины с одной стороны покрывали 2-мя слоями двухкомпонентной грунт-эмали Полиуретол (с отвердителем), а с другой стороны компонентом А грунт-эмали (без отвердителя). Покрытия испытывали в стаканах с растворами удобрений при температуре 18-28 °С в течение 430 суток.

Исследовали влияние концентрированного раствора борофоски на электропроводность и сопротивление полиуретановых ЛКП на основе Полиуретола (с отвердителем и без отвердителя) и на основе Raptor (с отвердителем). К исследуемым ЛКП, нанесенным на пластины из стали Ст3, приклеивали электрохимические ячейки, заливали в них концентрированный раствор борофоски и вводили электроды из нержавеющей стали. Электроды и пластины периодически подключали к слаботочному измерительному комплекту ИКС-1 (рисунок 2) для измерения силы тока в ЛКП.

Рисунок 2 – Измерительный комплект ИКС-1 для испытаний ЛКП в растворе электролита

Комплект ИКС-1 позволяет измерять слабые токи от 0,001 мкА (1 нА) до 15 мкА в порах ЛКП, заполненных раствором электролита, например, минерального удобрения. Комплект используется при измерениях электрического потенциала и тока коррозии между двумя разнородными металлами в растворе электролита. Комплект обеспечивает определение электрического сопротивления ЛКП под раствором электролита в диапазоне от 10 кОм до 10 ГОм.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования коррозионной активности растворов минеральных удобрений

Изучено влияние концентрированных растворов удобрений на коррозию пластин из стали Ст3. Скорость коррозии пластин, рассчитанная по результатам испытаний в течение 78 суток, приведена в таблице 1. В этих же растворах выполнены электрохимические исследования на стальном электроде площадью 13 мм^2, определены стационарный потенциал коррозии $E_{кор}$ и плотность тока $i_{кор}$ коррозии (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты гравиметрической и электрохимической оценки коррозии стали Ст3 в концентрированных растворах минеральных удобрений

Концентрированный раствор удобрения	Сухой остаток, г/л	Водородный показатель, pH	Скорость коррозии, K, г/(м^2·сут)	Потенциал коррозии, $E_{кор}$, В	Плотность тока коррозии $i_{кор}$, А/м^2
Аммиачная селитра	220	6,88	6,46	-0,37	0,339
Борофоска	180	7,64	1,36	-0,55	0,130
Диаммофоска	200	6,77	0,35	-0,49	0,251
Калий хлористый	210	9,09	1,28	-0,55	0,079
Карбамид	220	8,96	0,69	-0,44	0,044
Нитрофоска	200	7,49	1,60	-0,53	0,159
Суперфосфат	100	3,84	0,78	-0,40	0,316

Ток коррозии определяет скорость коррозии металла. Минимум тока зафиксирован в растворе карбамида, максимум – в растворе аммиачной селитры. Агрессивность (скорость коррозии) концентрированных растворов минеральных удобрений по результатам электрохимических исследований представлена рядом: аммиачная селитра > *суперфосфат* > *диаммофоска* > нитрофоска > борофоска > хлористый калий > карбамид.

Полученные данные, в основном, согласуются с результатами гравиметрической оценки коррозии стальных пластин площадью 3600 мм^2 в концентрированных растворах минеральных удобрений: аммиачная селитра > нитрофоска > борофоска > хлористый калий > *суперфосфат* > карбамид > *диаммофоска*.

Данные гравиметрических исследований коррозии стали Ст3 в диаммофоске и суперфосфате несколько отличаются от данных электрохимических измерений, но их ранговый порядок относительно друг друга остается одинаковым: коррозионная агрессивность суперфосфата выше диаммофоски. Эти отличия обусловлены масштабными факторами, влияющими на скорость коррозии стальных пластин в процессе их длительного контакта с концентрированными растворами минеральных удобрений.

Результаты исследования действия растворов удобрений на покрытия из Полиуретола.

На рисунке 3 показано состояние двухкомпонентного покрытия Полиуретол и металла под ними после испытаний в концентрированных растворах удобрений в течение 14 мес.

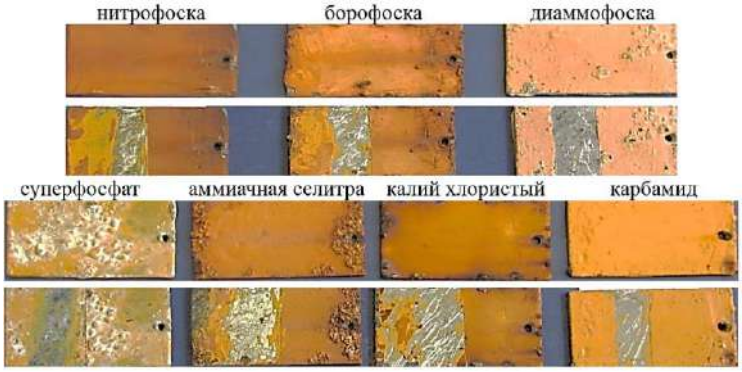


Рисунок 3 – Состояние двухкомпонентного покрытия Полиуретол в растворах удобрений

Отмечена хорошая адгезия двухкомпонентного покрытия со сталью Ст3 после испытаний в растворах суперфосфата, диаммофоски, нитрофоски и карбамида. Растворы аммиачной селитры, хлористого калия и борофоски несколько ослабили адгезию покрытия к металлу. За время испытаний в растворе суперфосфата на покрытии появились вздутия. В большей степени торцевая коррозия проявилась на стальных образцах после воздействия раствора аммиачной селитры.

Покрытия из Полиуретола без отвердителя после испытаний характеризовались большей эластичностью, но некоторые потеряли сцепление со сталью (рисунок 4).

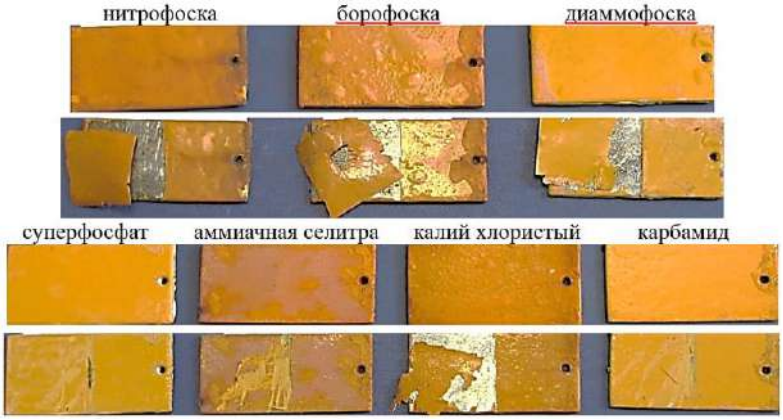


Рисунок 4 – Состояние покрытий из Полиуретола (без отвердителя) в растворах удобрений

Покрытия отслаивались кусками от пластин после экспозиции в растворах хлористого калия, борофоски, диаммофоски и нитрофоски. Возможно, ионы калия, присутствующие в растворах этих удобрений, проникнув через поры покрытия к стальной пластине, существенно ослабили адгезию между ними. Отмечена хорошая адгезия покрытий из Полиуретола без отвердителя к стальной поверхности после их длительной экспозиции в растворах суперфосфата, аммиачной селитры и карбамида. Следы коррозии на пластинах наблюдали под обеими видами покрытий после действия раствора борофоски. Коррозия металла имела место под двухкомпонентными покрытиями в растворах аммиачной селитры, хлористого калия, а также под покрытиями без отвердителя в нитрофоске и диаммофоске.

Результаты исследования электропроводности покрытий из грунт-эмали Полиуретол.

После годовых атмосферных испытаний двухкомпонентные покрытия из грунт-эмали Полиуретол, нанесенные краскораспылителем в 1 и 2 слоя, были испытаны на электропроводность в растворе борофоски. Толщина однослойного покрытия в зоне измерения электропроводности составила 85-110 мкм, двухслойного 190-240. Со 2-го по 10-й день испытаний электропроводность однослойного двухкомпонентного покрытия увеличилась от 0,3 до 0,7 мкА, а двухслойного – от 0,013 до 0,1 мкА. За период испытаний электрическое сопротивление однослойного покрытия снизилось от 40 до 17 МОм, а двухслойного – от 950 до 130 МОм (рисунок 5).

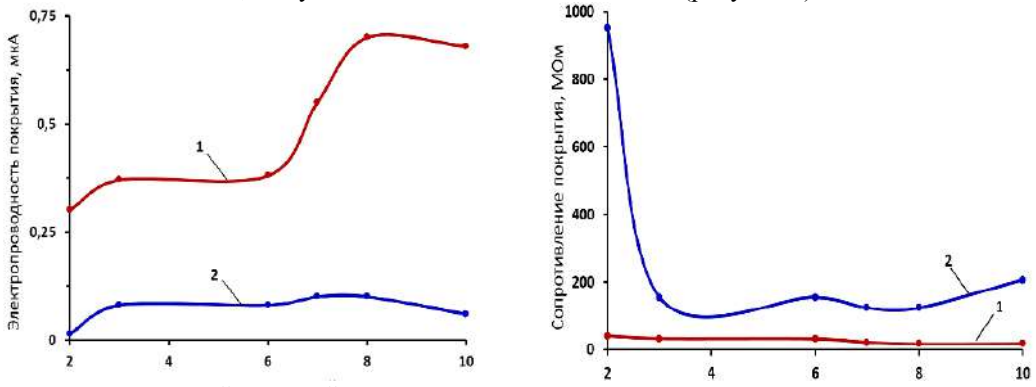


Рисунок 5 – Динамика изменения электропроводности и электрического сопротивления двухкомпонентного покрытия Полиуретол в растворе борофоски;
количество слоев покрытия: 1 – один слой, 2 – два слоя

Результаты данного исследования указывают на сохранение защитных свойств двухкомпонентных покрытий Полиуретол после годовых атмосферных испытаний. При этом остаточный ресурс двухслойного покрытия, косвенно характеризуемый его сопротивлением, существенно выше, чем однослойного покрытия.

Так как срок годности изоцианатного отвердителя ограничен 6 месяцами с даты изготовления, а после вскрытия емкости 14 днями, то в процессе хранения компонентов грунт-эмали Полиуретол высока вероятность перехода отвердителя в состояние, непригодное для использования. Поэтому исследован вопрос о возможности дальнейшего применения оставшейся грунт-эмалевой основы.

С использование слаботочного измерительного комплекта ИКС-1 проведены исследования по оценке стойкости ЛКП из Полиуретола без отвердителя к воздействию концентрированного раствора борофоски. Покрытия нанесены краскораспылителем Matrix 57316 в 1, 2, 3 и 4 слоя на стальные пластины с промежуточной сушкой слоев в течение 60 мин. На испытания покрытия были поставлены по истечении 1,5 месяца после нанесения. На каждое покрытие крепили электрохимическую ячейку с концентрированным раствором борофоски. Ячейку периодически подключали к слаботочному измерительному комплекту ИКС-1 для определения силы тока, протекающего через покрытие. Длительность испытаний – 10 суток

Минимальная толщина однослойного покрытия в зоне измерения электропроводности составила 70 мкм, двухслойного – 150 мкм, трехслойного– 230 мкм, а четырехслойного – 260 мкм. Как видим, минимальная толщина одно и двухслойного отвержденного покрытия (85 и 190 мкм) превышала минимальную толщину неотвержденного покрытия (70 и 150 мкм).

По истечении двух дней испытаний электропроводность однослойного покрытия достигла значения – 11,8 мкА и оставалась на уровне 11,8-12 мкА до окончания эксперимента на 10-ые сутки. Данному уровню электропроводности покрытия соответствовало низкое сопротивление 40 кОм. Однослойное ЛКП имело практически сквозные поры, позволившие электролиту достигнуть металла и начать его разрушение на вторые сутки эксперимента. Электропроводность двухслойного ЛКП со 2-ых по 10-ые сутки возросла с 0,54 до 1,6 мкА, электропроводность трехслойного ЛКП за это время увеличилась с 0,05 до 0,72 мкА, а четырехслойного ЛКП – с 0,025

до 0,46 мкА. Наблюдалась обратно пропорциональная зависимость электропроводности ЛКП от его толщины и количества нанесенных слоев (рисунок 6).

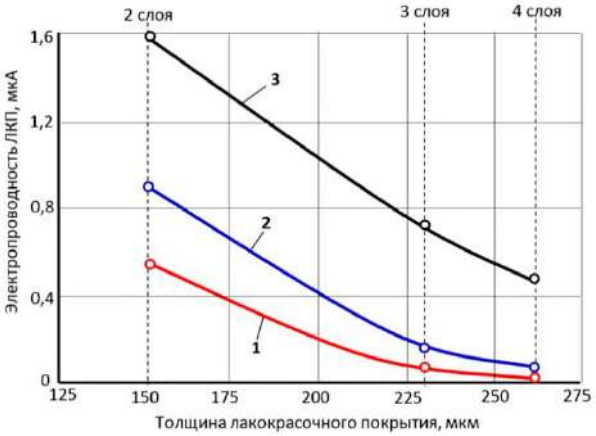


Рисунок 6 – Зависимость электропроводности покрытия Полиуретол без отвердителя от толщины и длительности действия раствора борофоски: 1 – 2 сут, 2 – 6 сут; 3 – 10 сут

Высокая электропроводность ЛКП указывала на его проницаемость растворами минеральных удобрений и низкие защитные свойства. По электропроводности с однослойным двухкомпонентным покрытием сравнимо трехслойное покрытие без отвердителя, минимальная толщина которого 230 мкм (в 2,7 раз толще). Вероятно, покрытия Полиуретол без отвердителя имели большую пористость из-за каверн, образованных растворителем в процессе испарения.

Результаты исследования сопротивления полиуретановых покрытий Raptor.

В процессе обследования состояния защитных покрытий разбрасывателей минеральных удобрений, изучения параметров применения двухкомпонентных полиуретановых эмалей, а также проведения исследований с грунт-эмалью Полиуретол выявлен ряд требований к полиуретановым покрытиям для ремонтного окрашивания элементов шасси и подвески тукоразбрасывателей: цвет – черный, соответствующий цвету шасси; объем фасовки – мелкий, для однократного применения; способ нанесения – окраска кистью и распылителем.

Этим требованиям соответствует двухкомпонентная полиуретановая краска Raptor, черного цвета, поставляемая в коробке с отвердителем общим объемом – 0,95 л (рисунок 7). Ставилась задача исследовать влияние на электрическое сопротивление покрытия Raptor длительного действия раствора борофоски, способа окраски кистью и наличия ржавчины под покрытием.

Рисунок 7 – Компоненты для получения двухкомпонентного полиуретанового покрытия Raptor:
1 – отвердитель; 2 – краска Raptor; 3 – разбавитель; 4 – обезжириватель поверхности

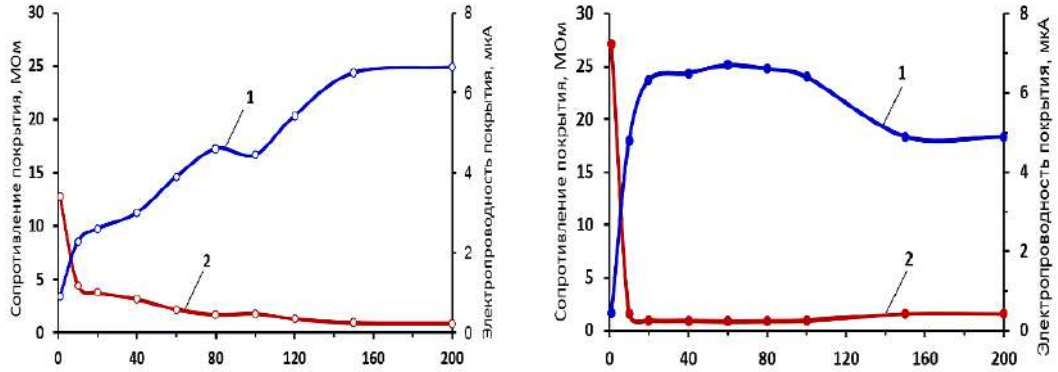
Для получения двухкомпонентной краски, полуфабрикат Raptor смешали с отвердителем в соотношении 3 : 1 (60 : 20 мл) в герметичном аптечном контейнере. Приготовленную краску нанесли кистью на обезжиренные чистые пластины 60 х 120 мм из стали Ст3 в 1, 2, 3, 4 слоя с промежуточной сушкой каждого слоя электрокалорифером. Краской в 4 слоя покрыли ржавую

пластину, имевшую плотный слой коррозии толщиной до 100 мкм. Время сушки – 7 дней.

С помощью толщиномера Horstek TC315 измерили толщины покрытий: 1 слой – минимальная 27 мкм, средняя 42 мкм; 2 слоя – минимальная 180 мкм, средняя 228 мкм; 3 слоя – минимальная 251 мкм, средняя 299 мкм; 4 слоя – минимальная 253 мкм, средняя 305 мкм.

На каждое покрытие наклеили стакан электрохимической ячейки и залили раствор борофоски. С помощью измерительного комплекта ИКС-1 периодически в течение 200 суток регистрировали электропроводность и определяли электрическое сопротивление покрытий.

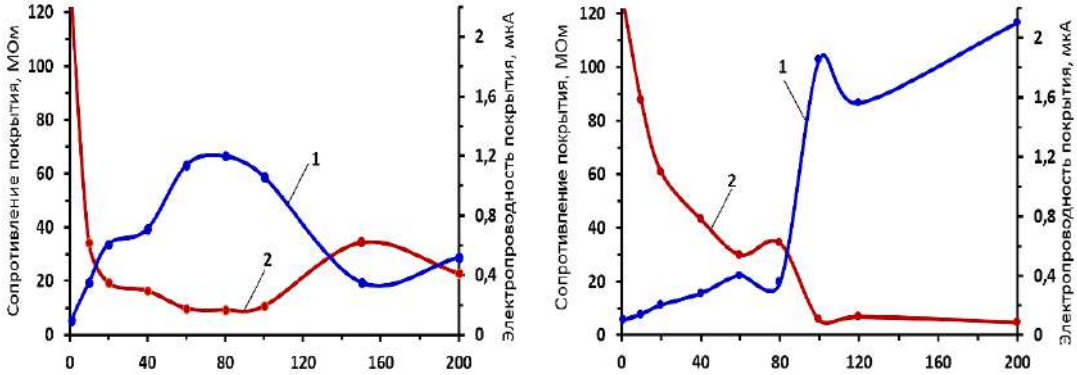
Однослойное покрытие в первые сутки исследования продемонстрировало 100 % электроводность (12,7 мкА), вероятно, из-за наличия сквозных пор. Это покрытие из дальнейших измерений было исключено. Данные по остальным двухкомпонентным покрытиям Raptor графически изображены на рисунке 8 (покрытия в 2 слоя по металлу и 4 слоя по ржавчине) и рисунке 9 (покрытия в 3 и 4 слоя по металлу). Графики обозначены: 1 – электропроводность покрытия (сила тока), мкА; 2 – электрическое сопротивление покрытия, МОм.



(2 слоя по металлу) (4 слоя по ржавчине)

Рисунок 8 – Динамика изменения электропроводности и сопротивления покрытий Raptor в растворе борофоски, нанесенных в 2 слоя по металлу и 4 слоя по ржавчине

Результаты измерений, выполненных в конце исследования, показали, что электрическое сопротивление (1,5-0,9 МОм) двухкомпонентного полиуретанового покрытия Raptor, нанесенного по ржавой поверхности в 4 слоя толщиной около 300 мкм, соответствовало сопротивлению покрытия (1,2-0,9 МОм), нанесенного на чистую поверхность металла в 2 слоя толщиной 230 мкм. В конце испытаний достаточно высокий уровень электрического сопротивления имели трехслойное (22 МОм) и четырехслойное (5 МОм) покрытия, нанесенные по металлу практически одинаковой толщины – 300 мкм.



(3 слоя по металлу) (4 слоя по металлу)

Рисунок 9 – Динамика изменения электропроводности и сопротивления покрытий Raptor в растворе борофоски, нанесенных в 3 и 4 слоя по металлу

Из сравнения результатов исследования следует, что двухкомпонентное покрытие Raptor, нанесенное кистью в 2 слоя, по своей изолирующей способности соответствовало двухкомпонентному покрытию Полиуретол, нанесенному краскораспылителем в 1 слой,

Заключение

Изучением состояния ЛКП самоходных разбрасывателей минеральных удобрений выявлен низкий уровень заводской противокоррозионной защиты элементов шасси. Для ремонтного восстановления разрушенных ЛКП на шасси самоходных разбрасывателей, работающих в условиях повышенной коррозионной нагрузки, применимы двухкомпонентные лакокрасочные материалы на полиуретановой основе. Определен электрохимический ряд коррозионной активности концентрированных растворов минеральных удобрений на стали Ст3: аммиачная селитра > суперфосфат > диаммофоска > нитрофоска > борофоска > хлористый калий > карбамид.

При пневматическом нанесении толщина одно и двухслойного двухкомпонентного покрытия Полиуретол (85 и 190 мкм) выше толщины покрытия без отвердителя (70 и 150 мкм). Покрытия из Полиуретола без отвердителя после 14 месяцев испытаний в растворах удобрений характеризовались большей эластичностью, чем покрытия с отвердителем, но в растворах хлористого калия, борофоски, диаммофоски и нитрофоски имели слабое сцепление со сталью. Отмечена хорошая адгезия двухкомпонентного покрытия со сталью Ст3 после испытаний в растворах суперфосфата, диаммофоски, нитрофоски и карбамида.

С применением слаботочного измерительного комплекта ИКС-1 изучено действие раствора борофоски на электропроводность и сопротивление полиуретановых покрытий, нанесенных распылением и кистью в один и несколько слоев, с отвердителем и без отвердителя. При испытаниях в растворе борофоски покрытий из Полиуретола без отвердителя наблюдалась обратно пропорциональная зависимость их электропроводности от количества нанесенных слоев. По истечении 10 дней испытаний электропроводность двухслойного покрытия составила 1,6 мкА, трехслойного – 0,72 мкА, а четырехслойного – 0,46 мкА. Повышенная электропроводность однослойного покрытия – 12мкА указывала на его высокую проницаемость раствором удобрения и потерю защитных свойств.

После годовых атмосферных испытаний электропроводность однослойного двухкомпонентного покрытия Полиуретол, помещенного в раствор борофоски на 10 суток, составила 0,7 мкА, а двухслойного – 0,1 мкА. Результаты измерений указывают на высокий уровень защитных свойств двухкомпонентных покрытий после годовых атмосферных испытаний. При этом остаточный ресурс двухслойного покрытия, косвенно характеризуемый его сопротивлением в 130 МОм, существенно выше, чем однослойного покрытия – 17 МОм.

Определены требования к полиуретановым покрытиям для ремонтной окраски шасси самоходных тукоразбрасывателей и выбрано двухкомпонентное покрытие Raptor черного цвета, поставляемое в мелкой фасовке. Испытания в растворе борофоски, продолжавшиеся в течение 200 суток, показали, что покрытие Raptor, нанесенное по ржавой поверхности в 4 слоя толщиной около 300 мкм, по электрическому сопротивлению (1,5-0,9 МОм) соответствовало двухслойному покрытию толщиной 230 мкм, нанесенному на чистую поверхность стали Ст3. В конце испытаний достаточно высокий уровень электрического сопротивления сохранен у трехслойного (22 МОм) и четырехслойного (5 МОм) двухкомпонентных покрытий Raptor.

Исследованиями установлено, что двухкомпонентное покрытие Полиуретол, нанесенное краскораспылителем в 1 слой, по своей изолирующей способности соответствует двухкомпонентному полиуретановому покрытию Raptor, нанесенному кистью в 2 слоя. Экспериментальными исследованиями полиуретановых покрытий из грунт-эмалей Полиуретол и Raptor установлена их пригодность для противокоррозионной защиты конструкций из низкоуглеродистых сталей, работающих в контакте с минеральными удобрениями.

Список источников

1. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И. Практика защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в современных условиях // Технология металлов. 2000. № 8. С. 14-20. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (дата обращения 01.12.2022).

2. Петрашев А.И., Клепиков В.В., Попов А.В. Навесной компрессор для консервации техники на площадках хранения // Сельский механизатор. 2021. № 4. С. 30-31. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46398859 (дата обращения 01.12.2022).

3. Исследование противокоррозионной защиты тукоразбрасывающих машин / А.И. Петрашев, Л.Г. Князева, В.В. Клепиков, А.М. Губашева // Техника и оборудование для села. 2018. № 7. С. 38-42. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35303152 (дата обращения 01.12.2022).

4. Лакокрасочные покрытия для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии / Л.Г. Князева, А.И. Петрашев, А.В. Дорохов и др. // Наука в центральной России. 2022. № 1 (55). С. 118-134. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-1-118-134 (дата обращения 01.12.2022).

5. Сельское хозяйство в России. 2021: Статистический сборник / Под ред. К.Э. Лайкам. М.: Росстат, 2021. 100 с. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S-X_2021.pdf (дата обращения 01.12.2022).

6. КронТех. Навесной разбрасыватель минеральных удобрений Борина-500. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.kronteh23.ru/goods/50514351-navesnoy_razbrasyvatel_ mineralnykh_ udobreni_borina_500_ sipma (дата обращения 01.12.2022).

7. Разбрасыватели удобрений Amazone. [Электронный ресурс]. – URL: http://allspectech.com/selhoztehnika/dlya-zemledeliya/dlya-vneseniya-udobrenij/amazone.html (дата обращения 01.12.2022).

8. АВИОН. Разбрасыватели и опрыскиватели на базе УАЗ. [Электронный ресурс – URL: https://avion-agro.ru/ (дата обращения 01.12.2022).

9. ГОСТ 9.509-89 ЕСЗКС. Средства временной противокоррозионной защиты. Методы определения защитой способности. М.: Издательство стандартов, 1990. 20 с.

10. ГОСТ 9.083-78 ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Методы ускоренных испытаний на долговечность в жидких агрессивных средах. М.: Издательство стандартов, 1989. 56 с.

11. Прибор-Стандарт. Измерительное оборудование. Мост Р-5021. [Электронный ресурс]. – URL: https://priborstandart.ru/catalog/elektroizmeritelnye_pribory/mosty_potentsiometry/mosty_r3009_r333_shch402_i_dr/most_r5021/ (дата обращения 01.12.2022).

12. Лиц-Маркет. Измерительное оборудование для лицензирования, аттестации и сертификации. Мегаомметр Мегеон-13126. [Электронный ресурс]. – URL: https://getlic.ru/katalog-oborudovaniya/megaommetry/megaommetr-megeon -13126 (дата обращения 01.12.2022).

13. Краско. Полиуретол УФ. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.krasko.ru/catalog/metal/enamel/50/ (дата обращения 01.12.2022).

14. RAPTOR-Upol черное. Инструкция по применению. [Электронный ресурс]. URL: http://raptor-upol.ru/wp-content/uploads/2015/03/black.pdf (дата обращения 01.12.2022).

References

1. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I. The practice of corrosion protection of agricultural machinery in modern situation. *Tehnologija metallov* = Metal technology. 2000; (8):14-20. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

2. Petrashev A.I., Klepikov V.V., Popov A.V. Mounted compressor for the conservation of equipment on sites. *Sel'skij mehanizator* = Agricultural machine operator. 2021; (4):30-31. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=41245346 (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

3. Knyazeva L.G., Petrashev A.I., Klepikov V.V. et al. Research of anticorrosion protection of fertilizer spreaders. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and equipment for rural area. 2018; (7):38-42. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=35303152 (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

4. Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V. et al. Coatings to protect agricultural machinery from corrosion. *Nauka v central´noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 1(55): 118-134. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-1-118-134 (In Russ.)

5. Agriculture in Russia. 2021: Statistical compendium / Ed. K.E. Likam. M.: Rosstat, 2021. 100 p. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S-X_2021.pdf (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

6. KronTekh. Mounted mineral fertilizer spreader Borina-500. Retrieved from https://www.kronteh23.ru/goods/50514351-navesnoy_razbrasyvatel_mineralnykh_udobreni_borina_500_sipma (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

7. Amazone fertilizer spreaders. Retrieved from http://allspectech.com/ selhoztehnika/dlya-zemledeliya/dlya-vneseniya-udobrenij/amazone.html (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

8. AVION. Spreaders and sprayers based on UAZ. Retrieved from https://avion-agro.ru/ (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

9. GOST 9.509-89 ESZKS. Means of temporary anticorrosive protection. Methods for determining protection ability. M.: Publishing house of standards, 1990. 20 p. (In Russ.)

10. GOST 9.083-78 ESZKS. Paint coatings. Methods of accelerated tests for durability in liquid aggressive media. M.: Publishing house of standards, 1989. 56 p. (In Russ.)

11. Instrument-Standard. Measuring equipment. Bridge R-5021. Retrieved from https://priborstandart.ru/catalog/elektroizmeritelnye_pribory/mosty_potentsiometry/mosty_r3009_r333_sch402_i_dr/most_r5021/ (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

12. Lic-Market. Measuring equipment for licensing, attestation and certification. Megaohmmeter Megaon-13126. Retrieved from https://getlic.ru/katalog-oborudovaniya/megaommetry/megaommetr-megeon-13126 (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

13. Krasko. Polyurethol UV. Retrieved from https://www. krasko.ru/catalog/metal/enamel/50/ (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

14. RAPTOR-Upol black. Instructions for use. Retrieved from http://raptor-upol.ru/wp-content/uploads/2015/03/black.pdf (accessed 01.12.2022). (In Russ.)

Информация об авторах

А.И. Петрашев - доктор технических наук; Л.Г. Князева - доктор химических наук, доцент; В.В. Клепиков - кандидат технических наук; Н.А. Курьято - аспирант; А.В. Дорохов - кандидат химических наук.

Information about the authors

A. Petrashev - Doctor of Technical Sciences; L. Knyazeva - Doctor of Chemical Sciences; V. Klepikov - Candidate of Technical Sciences; N. Kur`yato - Postgraduate Student; A. Dorokhov - Candidate of Chemical Sciences.

Вклад авторов: А.И. Петрашев – обзор литературы, формулировка цели и выводов, анализ результатов исследований; Л.Г. Князева – анализ результатов исследований; В.В. Клепиков – проведение экспериментальных исследований, обработка результатов; Н.А. Курьято – проведение экспериментальных исследований, обработка результатов; А.В. Дорохов – обработка результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: A. Petrashev – literature review, formulation of the goal and conclusions, analysis of research results; L. Knyazeva - analysis of research results; V. Klepikov – conducting experimental studies, processing the results; N. Kur`yato - conducting experimental studies, processing the results; A. Dorokhov - processing the results.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 19.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 637.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-141-147

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ НА ЕЕ ЗАГРЯЗНЯЕМОСТЬ

Сергей Александрович Анохин [1], Дмитрий Вячеславович Никитин [2], Юрий Викторович Родионов [3], Артём Анатольевич Гуськов [4], Григорий Вячеславович Рыбин [5], Святослав Николаевич Аникин [6]

[1,2,3,4,5,6] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*

[1] *fwut@mail.ru*

[2] *vacuum2008@yandex.ru*

[3] *rodionow.u.w@rambler.ru*

[4] *tyoma-1@mail.ru*

[5] *enot1237@gmail.com*

[6] *swatoslaw_anikin@mail.ru*

Автор, ответственный за переписку: Григорий Вячеславович Рыбин, enot1237@gmail.com
Corresponding author: Grigory V. Rybin, enot1237@gmail.com.

Реферат. *Основными источниками загрязнения молочного сырья выступают технологическое оборудование сбора, хранения и транспортировки. Рассмотрены процессы снижения степени загрязнения поверхностей, соприкасающихся с молочным сырьем - мойка и дезинфекция. Согласно применяемому способу воздействия на загрязнение: химическое, физическое, физико-химическое происходит выбор материала поверхностей оборудования, соприкасающихся с сырьем. Исследовали некоторые адгезионные свойства материалов по отношению к загрязнителю (молочное сырье) и к моющему и дезинфицирующему средству (вода, водный раствор моющего средства). Для характеристики материала введено понятие загрязняемости – свойство материала, характеризующееся способностью снижать адгезионные свойства загрязнителя в соприкосновении с поверхностью. В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния параметров материала (полимеры и металлы) и температурных режимов на адгезионные свойства загрязнителя – молока с жирностью 3,2 %. Анализ результатов показал определенные зависимости загрязняемости поверхности от краевого угла смачивания и температурных режимов процесса. По результатам исследования сделаны следующие выводы: материал поверхности и температурный режим одинаково действует на свойства адгезии как загрязнителя, так и моющего реагента; полимерный материал подвержен меньшей загрязняемости, что характеризуется меньшими затратами моющего реагента в процессе мойки; температурный режим непосредственно влияет на адгезионные свойства материал, загрязнителя и моющего реагента, при этом повышение температуры уменьшает краевой угол смачивания, а уменьшение температуры – увеличивает; шероховатость материала оказывает влияние на краевой угол смачивания.*

Ключевые слова: *мойка, дезинфекция, молоко, загрязняемость, шероховатость.*

INFLUENCE OF SURFACE MATERIAL PARAMETERS AND TEMPERATURE REGIMES ON ITS CONTAMINATION

Sergei Anokhin [1], Dmitri Nikitin [2], Yuri Rodionov [3], Artem Guskov [4], Grigory Rybin [5], Svyatoslav Anikin [6]

[1,2,3,4,5,6] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

[1] *fwut@mail.ru*

[2] *vacuum2008@yandex.ru*

[3] *rodionow.u.w@rambler.ru*

[4] *tyoma-1@mail.ru*
[5] *enot1237@gmail.com*
[6] *swatoslaw_anikin@mail.ru*

Abstract. *The main sources of contamination of dairy raw materials are the technological equipment for collection, storage and transportation. The processes of reducing the degree of contamination of surfaces in contact with raw milk - washing and disinfection - are considered. According to the applied method of influencing pollution: chemical, physical, physico-chemical, the material of equipment surfaces in contact with raw materials is selected. Some adhesive properties of materials in relation to a pollutant (raw milk) and to a detergent and disinfectant (water, an aqueous solution of a detergent) were studied. The concept of contamination is a property of a material characterized by the ability to reduce the adhesive properties of a pollutant in contact with the surface, introduced to characterize the material. The results of an experimental study of the influence of material parameters (polymers and metals) and temperature regimes on the adhesion properties of a pollutant - milk with a fat content of 3.2% are presented in the work. An analysis of the results showed certain dependences of the surface contamination on the contact angle of wetting and the temperature regimes of the process. The following conclusions are made based on the results of the study: the surface material and temperature conditions have the same effect on the adhesion properties of both the pollutant and the detergent; the polymeric material is subject to less contamination, which is characterized by lower costs of the detergent during the washing process; the temperature regime directly affects the adhesive properties of the material, pollutant and detergent, while an increase in temperature reduces the wetting angle, and a decrease in temperature increases it; The roughness of the material affects the contact angle*.

Keywords: *washing, disinfection, milk, contamination, roughness.*

Для цитирования: Анохин С.А., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Рыбин Г.В., Аникин С.Н. Влияние параметров материала поверхности и температурных режимов на её загрязняемость // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 140-146. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-140-146.

For citation: Anokhin S., Nikitin D., Rodionov Y., Rybin G., Anikin S. Influence of surface material parameters and temperature conditions on its contamination. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 140-146. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-140-146.

Введение. Выбор материала для конструкций, на зависимо от их назначения, связан не только с технологическими возможностями его обработки, но и с дальнейшими особенностями эксплуатации заданной конструкции. Необходимо учитывать эксплуатационные свойства материала в различных условиях [1 – 3]. Для емкостей хранения и транспортирования молочного сырья, а также для молокопроводов таких агрегатов как доильные аппараты, важно уделять внимание такому свойству материалов как загрязняемость – свойствоматериала, характеризующееся способностью снижать адгезионные свойства загрязнителя в соприкосновении с поверхностью. Низкая загрязняемость материала способствует более эффективным процессам мойки и дезинфекции, что позволяет использовать экономичные режимы данных процессов и снизить их стоимость.

Процесс мойки связан с очисткой поверхности путем воздействия моющего реагента с загрязнением и отмываемой поверхностью [4, 5]. Воздействия могут быть классифицированы на следующие основные группы:

- химическое – как правило, процесс связан с растворением загрязнителя в моющем реагенте на молекулярном уровне. Такой процесс применяется для сложных загрязнений с высокой адгезией (пример загрязнения – молочный камень);
- физическое – такой процесс основывается на явлении трения, может применяться без моющего реагента (механическое) и с ним (гидромеханическое);
- физико-химическое – процесс, основанный на адгезионных свойствах моющего реагента, загрязнения и поверхности. Сам процесс представляет собой сложный комплекс поверхностных явлений, которые образуют моющее действие.

Наибольший интерес в современной науке и технике получило физико-химическое воздействие в процессах мойки. Это связано с повышенной эффективность самого процесса мойки и его экономичности. Однако к недостаткам можно отнести сложность данного процесса.

К основным поверхностным явлениям в процессе мойки относят поверхностную активность и поверхностную прочность. На данных явлениях была сформулирована П.А. Ребиндером теория моющего действия [6]. По состоянию на сегодняшний день, на основе данной теории продолжают развитие технологии мойки на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) [7]. Задачи ПАВ заключаются в снижении поверхностного натяжения моющего реагента, произвести обволакивание загрязнения без расщепления его на молекулы с последующим отделением от поверхности и воспрепятствовать его оседанию обратно на поверхность, рисунок 1. Технологии ПАВ в мойке могут осуществляться с пенообразованием и без таковой [8]. Пенообразующие технологии трудно применимы (или не применимы вовсе) в циркуляционных мойках (связано это с затруднением удаления пены из закрытых пространств), в связи с чем они не подходят для емкостей хранения и транспортирования молочного сырья и молокопроводов доильных аппаратов.

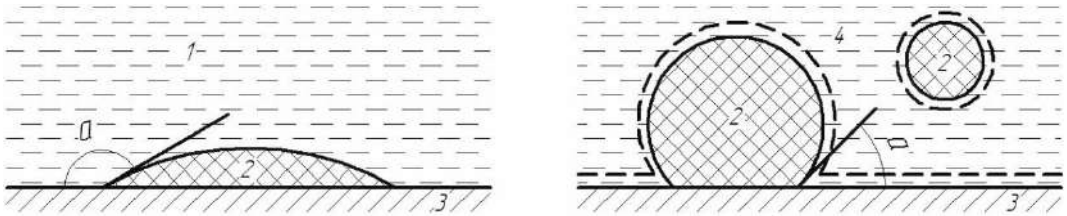


Рисунок 1 – Принцип работы ПАВ: 1 – моющий раствор, 2 – загрязнение, 3 – поверхность

Вода и ПАВ – это дорогостоящие элементы, и снижение их расхода – одна из задач повышения экономичности процессов мойки и дезинфекции. В связи с чем в данной работе была выдвинута гипотеза – материал конструкции, адгезионные свойства загрязнителя и моющего реагента влияют на качество и экономичность процессов мойки и дезинфекции.

Материалы и методы

Для подтверждения данной гипотезы было проведено исследование, целью которого является определение зависимости коэффициента смачиваемости на границе раздела фаз жидкость – поверхность – воздух от температурных режимов жидкости и поверхности и материала поверхности. В качестве жидкости рассматривались загрязнитель (молоко с процентным содержанием жира 3,2 ± 0,2 %) и моющий реагент (питьевая вода, соответствующая [9, 10], и раствор моющего средства марки Fairy [состав: 5-15% анионные ПАВ, <5% неионогенные ПАВ, консерванты, ароматизирующие добавки, гераниол, лимонен] в соотношении 1/10). Основной задачей исследования зависимости было измерение угла смачиваемости на указанной границе раздела.

Общий ход работы представлял собой следующее: образцы материалов поверхностей (пластины) подвергались температурному воздействию до достижения заданной температуры поверхности. Загрязнитель и моющий реагент также подвергались температурному воздействию. Заданное количество загрязнителя и моющего реагента (по 2 мл) помещались на поверхности пластин в различных температурных сочетаниях. Затем производилась фотосъемка в плоскости, ортогональной к пластине таким образом, чтобы была достаточно четко видна исследуемая граница раздела фаз. Далее с помощью компьютерной обработки снимка определялся угол смачивания.

Установление пониженной температуры добивались путем помещения образцов в холодильную камеру, а повышенной температуры – путем равномерного нагрева (для пластин в водной среде, для загрязнителя и моющего реагента – непосредственный подогрев). В данном контексте под пониженной и повышенной температурой следует понимать температуру соответственно ниже и выше температуры окружающей среды.

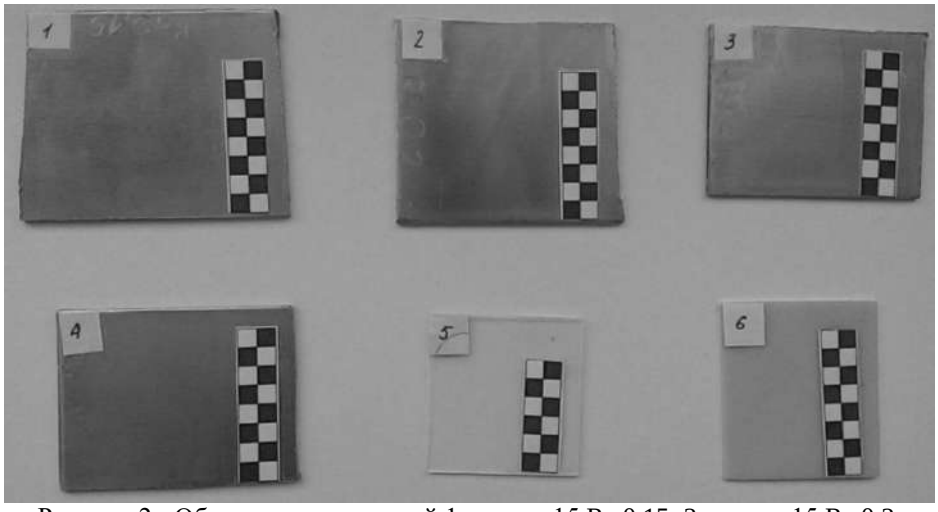


Рисунок 2 - Образцы поверхностей:1 – сталь 15 Ra 0,15; 2 – сталь 15 Ra 0,2; 3 – сталь 15 Ra 0,4;4 – сталь 15 Ra 0,8; 5 – ПВХ; 6 – ПЭВП

Материалами пластин были следующие (также см. рисунок 2):

- сталь 15 с шероховатостями образцов R_a = 0,15; 0,2; 0,4; 0,8 мкм;
- полимер ПВХ;
- полимер ПЭВП.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 приведены результаты угла смачиваемости на границе раздела фаз при температуре материала равной температуре окружающей среды. В таблице 2 результаты при различных температурах материала, на рисунке 3 приведены фотоснимки капель.

В столбце «Обработка» таблицы 2 отмечалось, что пластина после охлаждения подвергалась обработке сухой салфеткой. Такая обработка оказалась необходимой после того, как было замечено на поверхности пластины тонкий слой жидкости (предположительно конденсата, причем образованного в холодильной камере), который резко уменьшал краевой угол смачивания вплоть до 0 (для сравнения в таблице также показаны данные результаты).

Следует отметить, что шероховатость влияет на угол смачивания по-разному для разных жидкостей. Так для относительно однородных жидкостей (вода и, в некоторой степени, молоко) показывали уменьшение угла, а раствор – увеличение. Однако молоко также является раствором и имеет меньший угол смачивания, чем у воды.

Кроме того, образующаяся тонкая пленка на поверхности пластины (причем не важно из какого она материала) способствует резкому уменьшению краевого угла, что, вероятно, связано с переходом из системы твердое тело – газ – жидкости в систему газ – жидкость – жидкость. Однако, образование тонкого жидкостного слоя способствует общей смачиваемости и соответственно может повысить качество процессов мойки и дезинфекции. В связи с чем, перспективным направлением в повышении качества и экономичности данных процессов является применение технологий опрыскивания ультрамалым объемом жидкости (аэрозолями, туман).

На рисунке 3 приведены фотографии эксперимента.

Заключение

По имеющимся результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

- материал поверхности и температурный режим одинаково действует на свойства адгезии как загрязнителя, так и моющего реагента;
- полимерный материал подвержен меньшей загрязняемости, что характеризуется меньшими затратами моющего реагента в процессе мойки;

- температурный режим непосредственно влияет на адгезионные свойства материал, загрязнителя и моющего реагента, при этом повышение температуры уменьшает краевой угол смачивания, а уменьшение температуры – увеличивает;
- шероховатость материала оказывает влияние на краевой угол смачивания.

Таблица 1 - Угол смачиваемости (в град.) при фиксированной температуре материала и окружающей среды, $t_м = t_{окр}$ = 30-31 °С

№ п/п	Материал	Вода $t_{хв}$ = 15 °С	Вода, $t_{гв}$ = 51-59 °С	Молоко, $t_м$ = 30-31 °С	Раствор моющего средства, $t_{мс}$ = 15 °С
1	ПВХ	96,13	67,42	75,32	14,43
2	ПЭВП	82,4	80,2	79,85	7,08
3	Ст. 15 R_a = 0,15	106,13	73,05	68,85	14,03
4	Ст. 15 R_a = 0,2	93,2	70,07	76,32	19
5	Ст. 15 R_a = 0,4	88,8	76,52	50,9	20,88
6	Ст. 15 R_a = 0,8	111,37	69,78	79,83	25,58

Обозначения:
$t_{хв}$ – пониженная температура воды;
$t_{гв}$ – повышенная температура воды;
$t_м$ – температура молока;
$t_{мс}$ – температура моющего средства.

Таблица 2 – Угол смачиваемости (в град.) при различных температурах материала

№ стр.	Материал	$t_в$, °С	$t_{обр}$, °С	$t_{окр}$, °С	θ, °	Обработка да/нет
1	ПВХ	24-25	12-13	30-31	0	нет
2	ПВХ	27-28	15-17		87,05	да
3	ПЭВП	27-28	16-17		106,22	да
4	ПЭВП	24-25	14-15		94,72	да
5	Ст. 15 R_a = 0,15	29-30	8		0	нет
6	Ст. 15 R_a = 0,15	24-25	9-10		0	нет
7	Ст. 15 R_a = 0,15	27-28	7-9		60,18	да
8	Ст. 15 R_a = 0,15	29-30	8-10		57,68	да
9	Ст. 15 R_a = 0,15	17-19	17-18		67,15	да

Обозначения:
$t_в$ – температура воды;
$t_{обр}$ – температура материала (пластины);
$t_{окр}$ – температура окружающей среды;
θ – краевой угол смачивания.

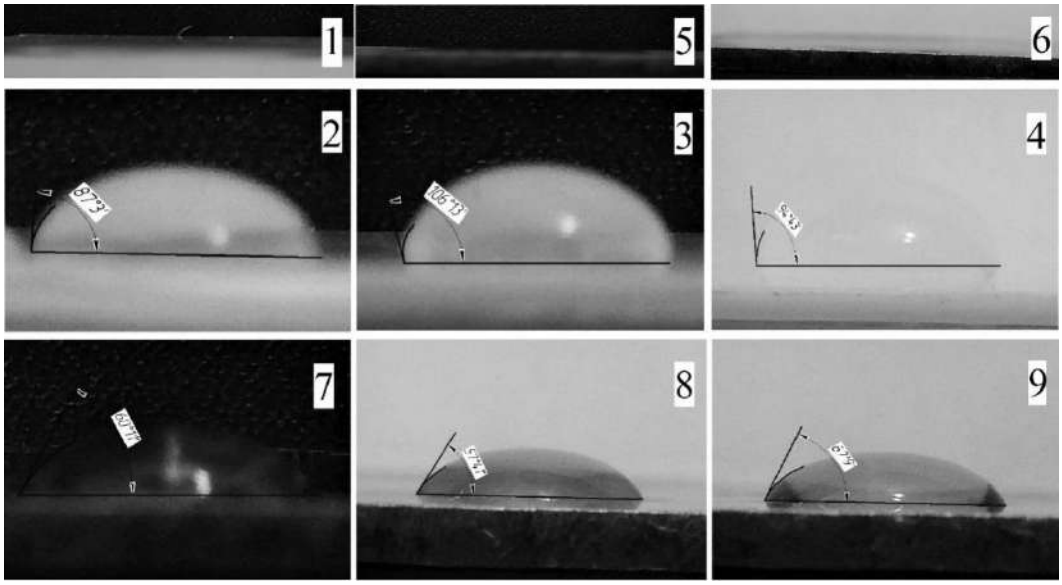


Рисунок 3 – Фотоснимки эксперимента
(номера соответствуют номеру строки в таблице 2).

Список источников

1. Исследования процесса промывки системы смазки отработанным моторным маслом без его слива из Картера двигателя / В. В. Остриков, С. Н. Сазонов, В. С. Вязинкин [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 4(63). С. 79-85. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.79. EDN OEFAQA.

2. Ковалева, О.В. Биотехнологические продукты: возможности и перспективы применения / Журнал АгроЭкоИнфор. – Немчиновка-1: Изд-во Всероссийский научно-исследовательский институт информатизации агрономии и экологии, 2018. № 4 (34). С. 51.

3. Тешев, А. Ш. Результаты экспериментального исследования кинематики потоков жидкости в межпластинных каналах пластинчатых аппаратов / А. Ш. Тешев, Ю. А. Шекихачев, В. Х. Мишхожев // АгроЭкоИнфо. 2018. № 2(32). С. 58. EDN XTAMZN.

4. Матушкин, П. А. Обработка молочного оборудования с помощью пены / П. А. Матушкин, А. И. Завражнов // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всероссийской конференции с международным участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 года. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. С. 222-226. EDN FMJYOC.

5. Краснов, И. Н. Организация молокоприемных пунктов при молочно-товарной ферме / И. Н. Краснов, А. Ю. Краснова, В. В. Мирошникова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1(60). С. 90-99. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.90. EDN RRWSCO.

6. Ребиндер, П.А. Физико -химия моющего действия. Сборник научно-исследовательских работ сектора моющих средств ВНИИЖ / П.А. Ребиндер, Е.К. Венстрем, М.П. Воларович, А.М. Вязникова, Н.Н. Петрова, Н.Н. Серб-Сербина, Н.М. Смирнов, А.Б. Таубман и др. – Л.-М.: Пищепромиздат, 1935

7. Завражнов, А. И. Обоснование технологических параметров процесса мойки молочного оборудования, применяемого в сельскохозяйственном производстве / А. И. Завражнов, П. А. Матушкин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1(60). С. 100-107. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.100. EDN PHXWJE.

8. Завражнов, А. И. Действие поверхностно-активных веществ на поверхностное натяжение жидкости при пенной мойке оборудования молокоперерабатывающих производств / А. И.

Завражнов, П. А. Матушкин // Наука в центральной России. 2019. № 6(42). С. 23-29. DOI 10.35887/2305-2538-2019-6-23-29. EDN PSHBMZ.

9. СанПиН 2.1.4.559-96 Питьевая вода.

10. ГОСТ 2874-82 Питьевая вода. Гигиенические требования и контроль качества.

References

1. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Vyazinkin V.S. [et al.] Research of the process of flushing the lubrication system with used engine oil without draining it from the engine crankcase // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. Vol. 12. No. 4(63). pp. 79-85. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.79. EDN OEFAQA.

2. Kovaleva, O.V. Biotechnological products: possibilities and prospects of application / Journal AgroEcoInfor. - Nemchinovka-1: Publishing House of the All-Russian Research Institute of Informatization of Agronomy and Ecology, 2018. No. 4 (34). S. 51.

3. Teshev, A. Sh., Shekikhachev, Yu. A., and Mishkhozhev, V. Kh., Results of an experimental study of the kinematics of fluid flows in the interplate channels of lamellar apparatuses, AgroEcoInfo. 2018. No. 2(32). P. 58. EDN XTAMZN.

4. Matushkin, P. A. Processing of dairy equipment using foam / P. A. Matushkin, A. I. Zavrazhnov // Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials: materials of the I All-Russian Conference with international participation, Tambov, 24 – May 25, 2019. Tambov: Tambov State Technical University, 2019. P. 222-226. EDN FMJYOC.

5. Krasnov, I. N. Organization of milk collection points at a dairy farm / I. N. Krasnov, A. Yu. Krasnova, V. V. Miroshnikova // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. Vol. 12. No. 1(60). pp. 90-99. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.90. EDN RRWSCO.

6. Rebinder, P.A. Physico-chemistry of washing action. Collection of research papers of the sector of detergents VNIIZh / P.A. Rebinder, E.K. Wenstrem, M.P.Volarovich, A.M. Vyaznikova, N.N. Petrova, N.N. Serb-Serbina, N.M. Smirnov, A.B. Taubman and others - L.-M .: Pishchepromizdat, 1935

7. Zavrazhnov, A. I. Substantiation of the technological parameters of the washing process of dairy equipment used in agricultural production / A. I. Zavrazhnov, P. A. Matushkin // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. Vol. 12. No. 1(60). pp. 100-107. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.100. EDN PHXWJE.

8. Zavrazhnov, A. I., Matushkin, P. A. Effect of surface-active substances on the surface tension of a liquid during foam washing of milk processing equipment. Science in Central Russia. 2019. No. 6(42). pp. 23-29. DOI 10.35887/2305-2538-2019-6-23-29. EDN PSHBMZ.

9. SanPiN 2.1.4.559-96 Drinking water

10. GOST 2874-82 Drinking water. Hygiene requirements and quality control.

Информация об авторах

С.А. Анохин – кандидат технических наук; Д.В. Никитин – кандидат технических наук, доцент; Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор, А.А. Гуськов – кандидат технических наук, доцент; Г.В. Рыбин – магистрант, С.Н. Аникин – магистрант.

Information about the authors

S.A. Anokhin - Candidate of Sciences (Technical); D.V. Nikitin - Candidate of Sciences (Technical), associate professor; Y. V. Rodionov - Doctor of Sciences (Technical), Professor;

A.A. Guskov - Candidate of Sciences (Technical); G.V. Rybin - master's student; S.N. Anikin - master's student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 30.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022

Тип статьи: научная
УДК 621.9.047
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-148-155

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И НАГРЕВА ЧАСТИЦ ПОРОШКА В ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ

Сергей Юрьевич Жачкин [1], Никита Алексеевич Пеньков [2], Денис Викторович Щипцов [3], Павел Владимирович Цысоренко [4]
[1]Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
[1]zhach@list.ru
[2,3]ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Россия
[2]snikishin24@bk.ru, [3]myth7np7nikit@gmail.com
[4]Войсковая часть 44261, г. Новосибирск, Россия

Автор ответственный за переписку: Сергей Юрьевич Жачкин, zhach@list.ru
Corresponding author: Sergey Zhachkin, zhach@list.ru.

Реферат. *При использовании специального навесного оборудования в сельскохозяйственной технике часто приходится сталкиваться с выходом из строя гидравлических систем привода рабочих органов по причине износа контактирующих пар трения. Рассматривается процесс нанесения газотермических композиционных покрытий плазменным нанесением для восстановления таких дефектов. Для определения параметров плазменной струи, обеспечивающих получение осадков заданного качества, изучалась динамика поведения отдельно взятой частицы в потоке без учета взаимодействия соседних частиц. Использовался критерий контролируемого плавления частиц композиционного материала. С одной стороны, это обеспечивает получение требуемой адгезии покрытия с обрабатываемой поверхностью, а с другой – создаёт сжимающие остаточные напряжения в формируемом слое. Задача решается в предположении изотропности пространства. Эффекты упруго-пластического деформирования не принимаются во внимание. Представлен алгоритм численного решения определяющих соотношений, описывающих характер движения плазменной струи в зависимости от определяющих её внешних факторов. Для случая использования в качестве наполнителя частиц оксида алюминия диаметром 45 мкм представлены зависимости скорости частиц от пройденного ими расстояния и их температуры в зависимости от размера фракции твердой части наполнителя. Полученные закономерности позволяют заранее прогнозировать свойства осаждаемых покрытий, добиваясь тех или иных особенностей, определяемых условиями эксплуатации восстанавливаемого узла.*

Ключевые слова: *плазменное струя, композиционное покрытие, уравнение теплопроводности, тензор напряжения, параметры осаждения.*

ABOUT A QUESTION OF DETERMINING KINEMATIC AND THERMODYNAMIC PARAMETERS IN PLASMA JET

Sergey Zhachkin [1], Nikita Penkov[2], Denis Shiptzov [3], Pavel Tsysorenko[4]
[1]Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
[1]zhach@list.ru
[2,3]MERC AF«AFA», Voronezh, Russia
[2]snikishin24@bk.ru, [3]myth7np7nikit@gmail.com
[4]Military unit 44261, Novosibirsk, Russia

Abstract. *When using special attachments in agricultural machinery, one often has to deal with the failure of the hydraulic systems for driving the working bodies due to wear of the contacting friction pairs. The process of applying gas-thermal composite coatings by plasma deposition to restore such defects is considered. The dynamics of the behavior of a single particle in a flow without taking into account the interaction of neighboring particles was studied to determine the parameters of the plasma jet, which provide precipitation of a given quality. The criterion of controlled melting of composite material particles was used. This ensures, on the one hand, obtaining the required adhesion of the coating to the treated surface, and on the other hand, it creates compressive residual stresses in the formed layer. The problem is solved under the assumption that the space is isotropic. The effects of elastic-plastic deformation are not taken into account. An algorithm is presented for the numerical solution of constitutive relations that describe the nature of the motion of a plasma jet depending on the external factors that determine it. The dependences of the particle velocity on the distance traveled by them and their temperature depending on the size of the fraction of the solid part of the filler are presented for the case of using aluminum oxide particles with a diameter of 45 μm as a filler. The regularities obtained make it possible to predict in advance the properties of deposited coatings, achieving certain features determined by the operating conditions of the restored unit*.

Keywords: *chrome plating electrolyte, composite coatings, iron plating, regression analysis, inclusion concentration.*

Для цитирования: Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Щипцов Д.В., Цысоренко П.В. Моделирование движения и нагрева частиц порошка в плазменной струе // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 147-154. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-147-154.

For citation: Zhachkin S., Penkov N., Shiptzov D.., Tsysorenko P. About a question of determining kinematic and thermodynamic parameters in plasma jet. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 147-154. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-147-154.

Введение. При использовании специального навесного оборудования в сельскохозяйственной технике часто приходится сталкиваться с выходом из строя гидравлических систем привода рабочих органов по причине износа контактирующих пар трения. Одним из наиболее распространенных видов дефектов, приводящих к падению рабочего давления гидравлической жидкости в системе, служит нарушение заданной проектом формы детали (конусность, эллипсность). Это приводит к падению рабочего давления в системе, вызванного утечкой рабочей среды. Восстановление такого рода дефектов – нетривиальная задача. С одной стороны, необходимо нанесение размерного покрытия с точностью до нескольких микрон на изношенные поверхности, с другой – получаемые осадки должны обладать определенной микротвердостью и износостойкостью для качественной работы гидравлического узла в течение заданного проектом срока. Для получения возможности управления качеством формируемых осадков, необходимо иметь математическую модель формирования такого покрытия.

При нанесении износостойких композиционных покрытий с заданными эксплуатационными показателями часто используют плазменные методы нанесения, где в качестве базовых материалов используют такие вещества, какметаллы, оксиды и их механические смеси [1, 2]. При получении таких покрытий к ним предъявляется ряд специфических требований:

- во время контакта струи с обрабатываемой поверхностью детали частицы струи должны быть расплавлены, что служит необходимым условием обеспечения высокой адгезии получаемого покрытия;
- величина расплавления частиц должна быть контролируемой, полные переход частиц в жидкое состояние не допустим;
- время реакции частиц порошка с внешней средой должно быть минимизировано за счет регулирования расстояния от сопла до обрабатываемой поверхности;
- процентное содержание композиционных включений должно строго контролироваться, поскольку это значительно влияет на качество получаемых осадков.

Покрытия заданного качества вполне определяются правильно подобранными технологическими параметрами и заданными требованиями к технологии нанесения композиционных осадков[4].

Материалы и методы. Для определения параметров осаждения при рассматриваемом процессе плазменного напыления будем изучать поведение отдельно взятой композиционной частицы, движущейся в плазменной струе. Для упрощения расчетов будем полагать, что частица изотропна и имеет форму сферы и не изменяет своей конфигурации на протяжении всего процесса осаждения. Определяющее соотношение, описывающее динамику поведения частицы определяется вторым законом Ньютона, записанным в дифференциальном виде [3, 5]:

$$m_p \frac{dv_p}{dt} = \sum F_p \tag{1}$$

где $m_p=\rho_p V_p$ – масса композиционного включения; ρ_p – плотность композита; V_p – объем композиционного включения; v_p – скорость включения; F_p – равнодействующая внешних сил, действующих на движущиеся композиционные частицы.

Практика показывает, что наибольшее влияния из всего спектра внешних сил на рассматриваемую частицу оказывают силы сопротивления, определяемые как: $F_a = -0,5\xi_g S_p \rho_g \left|v_p - v_g\right|\left(v_p - v_g\right)$ и силы притяжения к Земле: $F_g = \rho_g g$.

Вычисления. С учетом сделанных оговорок определяющее соотношение (1) запишется в виде:

$$m_p \frac{dv_p}{dt} + 0,5\xi_g S_p \rho_g \left|v_p - v_g\right|\left(v_p - v_g\right) = \rho_p g \tag{2}$$

где ρ_g и $v_g = (u_g, v_g, w_g)$ – параметры плазменной струи; ξ_g– коэффициент аэродинамического сопротивления; $S_p = \pi d_p^2$ – площадь эффективного сечения.

Коэффициент $\xi_g = f\left(\mathrm{Re}\right)$ есть функция числа Рейнольдса и зависит от типа течения струи (ламинарное или турбулентное) и табулирован. Его значения фиксированы и приведены в [1]. Уравнение (2) – векторное соотношение относительно $v_p=(u_p,v_p,w_p)$. Для определения постоянныхинтегрирования, появляющихся при решении дифференциального уравнения воспользуемся начальным условием:

$$v_p\big|_{t=0} = v_{p,0} \tag{3}$$

где $v_{p,0}$ – скорость композиционного включения в начальный момент времени, когда она попадает в струю плазмы.

С учетом преобразований, приведенных в [6, 7], а также принимая быстроту перемещения газа и температуру струи известными величинами вдоль всей траектории движения, преобразуем полученные соотношения. Зная быстроту перемещения композиционного включения v_p и учитывая уравнение (2) можно определить компоненты вектора скорости частицы в произвольной ортогональной системе координат. Зная скорость частицы, проинтегрируем соотношение для нее, как функции координат композиционной частицы в потоке:

$$\frac{dr_p}{dt} = v_p \tag{4}$$

Начальные условия для определения постоянных интегрирования при решении уравнения (4) имеют вид: $x\big|_{t=0} = x_{0,inp}, y\big|_{t=0} = 0, z\big|_{t=0} = z_{0,inp}$,где координаты в левой части равенств обозначают место истечения газовой струи из сопла.

Полученный закон изменения скорости композиционной частицы позволяет определять её значение в произвольный момент времени, а также знать её координаты с точностью до произвольной постоянной.

Для определения теплового равновесия существующего потока частиц можно записать уравнение баланса:

$$\rho_p C_{ep} \frac{\partial T_p}{\partial t} = div\left(\lambda_p grad T_p\right), \quad 0 < t < t_k, \quad (x, y, z) \in \Omega_p \tag{5}$$

где T_p – мгновенное значение температуры композиционного включения в заданной точке пространства.

В дальнейших рассуждениях будем полагать: перенос тепла осуществляется исключительно посредством теплопроводности. Проходящий процесс изотропен.

Результаты и обсуждение. Предполагается, что явно выраженного фронта плавления нет. Определяющее соотношение записывается с использованием эффективной теплоемкости (рис. 1) [2, 8, 10].

Вводится в рассмотрение сферическая система координат, уравнение теплового баланса (5), в которой можно представить в виде:

$$\rho_p C_{ep} \frac{\partial T_p}{\partial t} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 \sin(\theta)}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\lambda_p \sin(\theta)\frac{\partial T_p}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2 \sin^2(\theta)}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial \varphi}\right) \tag{6}$$

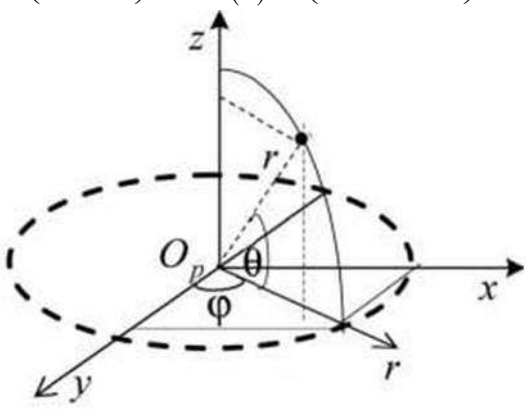


Рисунок 1 - Локальная система координат для описания движения и геометрии частицы

Компоненты тензора напряжений внутри частицы имеют следующий вид:

$$\begin{gathered}
\sigma_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}, \sigma_{r\varphi} = \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} + \frac{1}{r\sin(\theta)}\frac{\partial u_r}{\partial \varphi} - \frac{u_\varphi}{r}, \\
\sigma_{r\varphi} = \frac{1}{r}\frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r}, \\
\sigma_{\varphi\varphi} = \frac{1}{r\sin(\theta)}\frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} + \frac{u_\Theta ctg(\theta)}{r}, \sigma_{\varphi r} = \sigma_{r\varphi}, \\
\sigma_{\varphi\theta} = \frac{1}{r\sin(\theta)}\frac{\partial u_\theta}{\partial \varphi} + \frac{1}{r}\frac{\partial u_\varphi}{\partial \theta} - \frac{u_\varphi ctg(\theta)}{r}, \\
\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{r\sin(\theta)}\frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r}{r}, \sigma_{\theta r} = \sigma_{r\theta}, \sigma_{\theta\varphi} = \sigma_{\varphi\theta}.
\end{gathered} \tag{7}$$

В рамках рассматриваемой модели положим, что поле градиента температуры изотропно относительно вектора скорости движения частиц. В зоне r = R_p теплообмен рассматривается особым образом: при r=0 имеет место симметрия теплового потока струи. В этом случае уравнение (6) для заданного диапазона изменения координаты преобразуется к виду:

$$\rho_p C_{ep} \frac{\partial T_p}{\partial t} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial r}\right), 0 < r < R_p \tag{8}$$

Значение R_p определяется габаритами композиционных включений. Будем полагать, что при достижении критической температуры значение R_p характеризуется фронтом испарения.

Уравнение баланса для значения r=R_p описывается соотношением Стефана-Больцмана, имеющее вид:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha_{t0}\left(T_p - T_g\right) + \beta_b \sigma_b \left(T_p^4 - T_g^4\right), \tag{9}$$

где T_g – значение температуры плазменного потока; α_{t0} – коэффициент теплообмена (таблица значений представлена в [1]).

При r=0 в условиях симметрии относительно оси плазменной струи уравнение баланса запишется:

$$\lim_{r\to 0} r^2 \lambda_r \frac{\partial T_p}{\partial r} = 0 \tag{10}$$

Полученные дифференциальные уравнения не интегрируются в квадратурах. Решение ищется с использованием численных методов [6, 9]. Суть предлагаемого разностного метода описана в [2].

Вводятся для рассмотрения разностные сетки: первая ось – временная ω_tшагом интегрирования Δt_m; вторая ось – координатная $\overline{\omega}_r$ с шагом интегрирования Δt_i (рисунок 2).

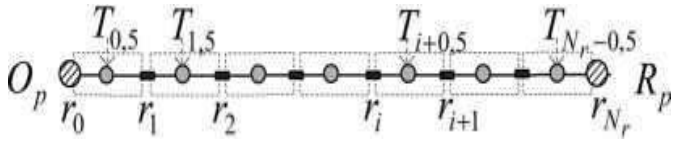


Рисунок 2 - Принципиальная схема численного решения определяющих соотношений (9), (10)

Элементарные объемы $e_{r,i} = \left[r_{i-1}, r_i\right]$ подбираются таким образом, чтобы полностью перекрыть область допустимых значений пространственно-временных координат так, чтобы $\left[0, R_p\right] = \bigcup_{i=1}^{N_R} e_{r,i}$. Варьируемым параметром полагают температуру в произвольной точке выбранного объема$T_{i+0,5} = T_p(r_{i+0,5}, t_m)$, а также её краевые значения.

Интегрируя (8) по внутренним элементарным объемам $e_{r,i}=[r_{i-1},r_i]$, имеем:

$$\rho_{i+0,5} C_{e,i+0,5} \frac{T_{i+0,5} - \breve{T}_{i+0,5}}{\Delta t_m} = \frac{1}{r_i^2 \Delta r_i}\left[r_{i+1}^2 \lambda_{i+1} \frac{T_{i+1,5} - T_{i+0,5}}{\overline{\Delta r_{i+1}}} - r_i^2 \lambda_i \frac{T_{i+0,5} - T_{i+0,5}}{\overline{\Delta r_i}} \right] \tag{11}$$

где $\overline{\Delta r_i} = r_{i+0,5} - r_{i-0,5} = 0,5\left(\Delta r_i + \Delta r_{i-1}\right);\ \Delta r_i = r_{i+1} - r_i;\ \breve{T}_{p,i} = T_p\left(r_i, t_m\right).$

Выражение (11) содержит N_r уравнений относительно $N_0^T = N_r + 2$ неизвестных. При переходе к численному интегрированию соотношения (10), оно трансформируется в:

$$\lambda_0 \frac{T_{0,5} - T_0}{0,5\Delta r_i} - \frac{\Delta r_i}{6} C_{e,0} \rho_0 \frac{T_0 - \breve{T}_0}{\Delta t_m} = 0 \tag{12}$$

Нетрудно заметить, что полученное уравнение допускает погрешность, не превосходящую величины порядка $\Delta r_i^2 + \Delta t_m$ на решении (8).

Уравнение баланса для граничной области интегрируем также с точностью до второго порядка:

$$-\left(\alpha_{t0}\left(T_{Nr} - T_g\right) + \beta\sigma_b\left(T_{Nr}^4 - T_g^4\right)\right) - \lambda_{N-0,25}\frac{T_{Nr} - T_{Nr-0,5}}{\Delta \tilde{r}_{Nr}} - \frac{\Delta \tilde{r}_{Nr}}{2} r_{Nr-0,25}^2 C_{e,Nr}\rho_{Nr}\frac{T_{Nr} - T_{Nr}}{\Delta t_m} = 0 \tag{13}$$

где $\Delta \tilde{r}_{Nr} = 0,5\Delta r_{Nr};\ r_{Nr-0,25} = r_{Nr} - 0,25\Delta r_{Nr}.$

Соотношения (11)–(13) в совокупности представляют собой нелинейную систему алгебраических уравнений относительно $T_{p,i}$. Последовательное решение её будем реализовывать через итерационный процесс во внутренних узлах пространственно-временных координат при i изменяющихся до 1 до N_{r-1}:

$$\rho_{p,i}C_{ep,i}\frac{\overset{s+1}{T_i}-\overset{\sim}{T_i}}{\Delta t_m}=\frac{1}{r_{i+0,5}^2\overline{\Delta r_i}}\cdot\left(r_{i+0,5}^2\tilde{\lambda}_{p,i}\frac{\overset{s+1}{T_{i+1}}-\overset{s+1}{T_i}}{\overline{\Delta r_{i+1}}}-r_{i-0,5}^2\tilde{\lambda}_{p,i-1}\frac{\overset{s+1}{T_i}-\overset{s+1}{T_{i-1}}}{\overline{\Delta r_i}}\right). \quad (14)$$

Полученное линеаризованное уравнение перепишем относительно неизвестных в следующем виде:

$$a_iT_{i-0,5}^{s+1}+b_iT_{i+0,5}^{s+1}-c_iT_{i+0,5}^{s+1}+f_1=0,\quad i=1,...,N_{r-1} \quad (15)$$

Соотношение (11) на границе области определения – в нуле, запишется таким образом:

$$\lambda_0\frac{\overset{s+1}{T_{0,5}}-\overset{s+1}{T_0}}{0,5\Delta r_1}-\frac{\Delta r_1}{6}C_{e,0}\rho_0\frac{\overset{s+1}{T_0}-\overset{\sim}{T_0}}{\Delta t_m}=0 \quad (16)$$

.

Для более удобного анализа полученное выражение перепишем в следующем виде:

$$-c_0T_0^{s+1}+bT_{0,5}^{s+1}+f_0=0 \quad (17)$$

Аналогично для соотношения (13) можем записать:

$$a_{Nr}T_{Nr-1}^{s+1}-c_{Nr}T_{Nr}^{s+1}+f_{Nr}=0 \quad (18)$$

Уравнения (15)–(18) для большей наглядности перепишем теперь в матричном виде:

$$\overset{s+1}{\mathrm{A}}\overset{s+1}{T}=F \quad (19)$$

где $A^{(s)}$- матрица размерности $\left[N_0^T\times N_0^T\right]$.

Из соотношений (13)–(15) отдельные элементы матрицы определяются как:

$$a_i=\frac{\Delta t_m}{\overline{\Delta r_i}\Delta r_{i-1}}\frac{r_{i-0,5}^2}{r_i^2}\lambda_{i-0,5},\quad \mathrm{b}_i=\frac{\Delta t_m}{\overline{\Delta r_i}\Delta r_i}\frac{r_{i+0,5}^2}{r_i^2}\lambda_{i+0,5},\quad \mathrm{c}_i=\rho_iC_{e,i}+a_i+b_i \quad (20)$$

Решаем полученные уравнения методом прогонки. Условия устойчивости для предлагаемого алгоритма выполнены ($a_i>0$, $b_i>0$, $c_i\geq a_i+b_i$). В качестве критерия сходимости полагаем:

$$\left|T_{i+0,5}^{s+1}-T_{i+0,5}^{s}\right|\leq\varepsilon_1T_{i+0,5}^{s}+\varepsilon_2,\quad i=0,...,N_r \quad (21)$$

где ε_1, ε_2 – фиксированные числа.

Все необходимые параметры: температуру струи – T_g , положение композиционного включения – $\overset{s+1}{l}_{m+1}$, его скорость – $\overset{s}{v}_p$ в любой момент времени определяют следующим образом:

$$T_g=f_{A,str}\left(l_{m+1}^{s+1},r_{str}\right),\quad l_{m+1}^{s+1}=l_m+\overset{s}{v}_p\Delta t_m,\quad \overset{s}{v}_p=f_{A,v_p}\left(\overset{s}{l}_{m+1},R_p\right). \quad (22)$$

Предположим, что распыляемые частицы располагаются в зоне максимальной температуры газового потока. В этом случае скорость газа будет максимальной. Такое состояние композиционных включений обеспечивает необходимую степень их сращивания с матрицей формируемого покрытия и обеспечивает высокую адгезию к обрабатываемой поверхности.

В качестве исходных данных рассмотрим нагрев сферической частицы $A1_2O_3$ диаметром 45 мкм. Решая совместно уравнения (19) и (22) для каждого временного слоя, получим значение координат частиц, их скорости и температуры для каждой точки плазменного потока. Средняя скорость частиц вдоль оси струи, в зависимости от пройденного пути, приведена на рисунке 3. Как видно на рисунке 4 в момент времени t=0,00016 с (кривая 1) на расстоянии *l* = 0,0184 м от кромки сопла границы композиционных включений начинают плавиться. В момент времениt=0,00025 с (кривая 2) на расстоянии*l*=0,0403 м происходит дальнейший нагрев армирующих частиц. При t=0,00045 с (кривая 3) и*l* = 0,0935 м налицо переход композиционных частиц в жидкое состояние. Кроме того, как видно на рисунке 3, для таких расстояний значение скорости потока будет максимальным.

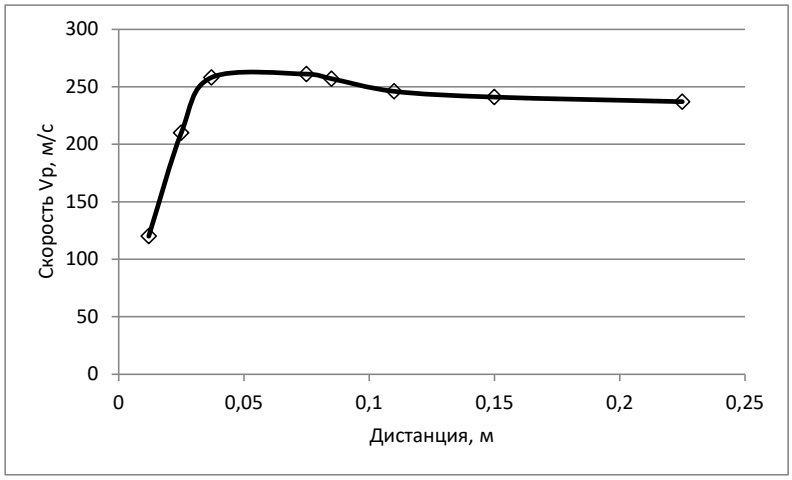


Рисунок 3 - Зависимость скорости частицы как функции пройденного расстояния от сопла распылителя

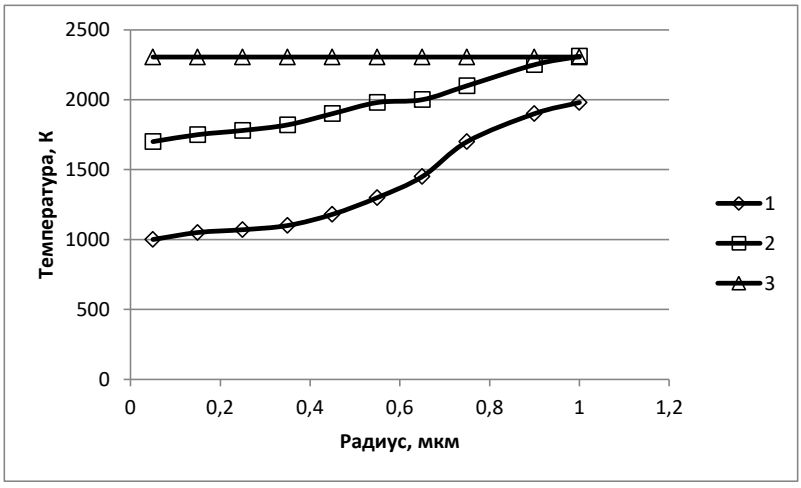


Рисунок 4 - Характер распределения температуры внутри частицы в зависимости от её размера для различных временных интервалов

Выводы. При поиске рациональных режимов нанесения плазменного покрытия использовался критерий контролируемого плавления частиц композиционного материала. С одной стороны, это обеспечивает получение требуемой адгезии покрытия с обрабатываемой поверхностью, а с другой – создаёт сжимающие остаточные напряжения в формируемом слое.

Полученные закономерности скорости частицы как функции пройденного расстояния от сопла распылителя и по характеру распределения температуры внутри частицы в зависимости от её размера для различных временных интервалов позволяют заранее прогнозировать свойства осаждаемых покрытий, добиваясь тех или иных особенностей, определяемых условиями эксплуатации восстанавливаемого узла.

Список источников

1. Кудинов В.В., Пекшев П. Ю., Белащенко В. Е. и др. Нанесение покрытий плазмой. − М., 1990. – 58 с.
2. Костиков В. И., Шестерин Ю. А. Плазменные покрытия. – М., 1978. – 154 с.
3. Жачкин С.Ю. Расчет напряжений в дисперсно-упрочненных композитных гальванических покрытиях / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, О.А. Сидоркин, С.В. Нелысов // Наука в центральной России. – 2016. – № 2. – С. 32–37.
4. Жачкин С.Ю. Антикоррозионная защита металла методом гальваноконтактного

осаждения / С.Ю. Жачкин, А.И. Болдырев, А.А. Болдырев, В.В. Михайлов, Д.В. Гедзенко, Н.А. Пеньков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – № 11. – С. 29–31.

5. Жачкин С.Ю. Нанесение размерных композитных хромовых покрытий методом гальваноконтактного осаждения / С.Ю. Жачкин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 7. – С. 44–48.

6. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М., 1983. – 214 с.

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. Kudinov V.V., Pekshev P.Yu., Belashchenko V.E., et al. Plasma Coating. – M., 1990. – 58 p.

2. Kostikov V.I., Shesterin Yu.A. Plasma coatings. – M., 1978. – 154 p.

3. Zhachkin S.Yu. Calculation of stresses in dispersion-strengthened composite galvanic coatings / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, O.A. Sidorkin, S.V. Nelysov // Science in Central Russia. – 2016. – №.2. – P. 32–37.

4. Zhachkin S.Yu. Anticorrosive protection of metal by the method of galvanic contact deposition / S.Yu. Zhachkin, A.I. Boldyrev, A.A. Boldyrev, V.V. Mikhailov, D.V. Gedzenko, N.A. Penkov // Strengthening technologies and coatings. – 2014. – №.11. – P. 29–31.

5. Zhachkin S.Yu. Application of dimensional composite chromium coatings by galvanic contact deposition / S.Yu. Zhachkin // Strengthening technologies and coatings. – 2006. – № 7. – P. 44–48.

6. Samarsky A.A. Theory of difference schemes. – M., 1983. – 214 p.

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. Application of dimensional composite chromium coatings by galvanic contact deposition / S.Yu.Zhachkin // Strengthening technologies and coatings. – 2006. – №.7. – P. 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; Н. А. Пеньков – доктор технических наук; Д. В. Щипцов – преподаватель; П. В. Цисоренко – старший офицер.

Information about the authors

S. Zhachkin - Doctor of Technical Sciences, Professor; N. Penkov - Doctor of Technical Sciences; D. Shchiptsov - lecturer; P. Tsisorenko – senior officer.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 24.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.12.2022

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 26.12.2022. Заказ № 22.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 16,38 усл. печ. л. Тираж 100 экз.