ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2020 № 1(43)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

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

№ 1 (43), 2020 г.

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

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

Учредитель и издатель журнала:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА

«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакция

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

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

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

№ 1 (43). Дата выхода в свет 28.02.2020. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

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

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

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

© «Наука в центральной России», 2020

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 1 (43), 2020 г.

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

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

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АНАШКИН Александр Витальевич – заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

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

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

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

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

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

ТИШАНИНОВ Николай Петрович – главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

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

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

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – ведущий научный сотрудник лаборатории альтернативных источников энергии взамен жидкого топлив ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

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

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

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – заведующий лабораторией использования альтернативных источников энергии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

© «Наука в центральной России», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Романов В.А., Новиков Э.В.
ТЕСТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ ЛЬНОТРЕСТЫ В ПОТОКЕ 5
Ведищев С.М., Завражнов А.И., Прохоров А.В., Бралиев М.К.
ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗДАЧИ КОРМОВ 11
Тишанинов Н.П.
ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ МНЕНИЯ 21
Тишанинов К.Н.
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА 27
Завражнов А.И., Зазуля А.Н., Балашов А.В., Синельников А.А., Стрыгин С.П., Беляев А.А.
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАРУБЕЖНОГО АГРЕГАТА НА ПОСЕВЕ СОИ ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ ПО РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ 36
Родионов Ю.В., Щегольков А.В., Никитин Д.В., Зорин А.С.
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМАХ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ 43
Ли Р.И., Псарев Д.Н., Быконя А.Н., Пчельников А.В., Мельников А.Ю.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОРАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ 50
Анохин С. А., Воронин Н.В., Гуськов А.А., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Филатов И.С.
ЗАГРЯЗНЯЕМОСТЬ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЕМКОСТЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАЗНАЧЕНИЙ 60
Князева Л. Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А., Прохоренков В.Д.
ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ АТМОСФЕР ЖИВОТНОВОДСТВА НА КОРРОЗИЮ МЕТАЛЛОВ 69
Родионов Ю.В., Филатов И.С., Воронин Н.В., Никитин Д.В., Остриков В.В., Ломовских А.Е.
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОСА И НЕОБХОДИМОСТИ ЗАМЕНЫ ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА В СИЛОВЫХ МЕХАНИЗМАХ 80
Жерновников Д.Н., Забродская А.В., Вязинкин В.С., Остриков В.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА ПРОМЫВОЧНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА 87

CONTENTS

Romanov V, Novikov E.
TESTING FLAX RETTED STRAW LAYER PARAMETERS IN A STREAM 5
Vedishchev S., Zavrazhnov A., Prokhorov A., Braliev M.
RATIONALE FOR AN EFFECTIVE FEED DISTRIBUTION SYSTEM..... 12
Tishaninov N.
PECULIARITIES OF SOLVING TASKS WITH APPLICATION OF OPINION INTEGRATION METHODS 22
Tishaninov K.
PROBLEMS OF MODERN POST-HARVEST GRAIN CLEANING..... 28
Zavrazhnov A., Zazulya A., Balashov A., Sinelnikov A., Strygin S., Belyaev A.
RESULTS OF PRODUCTION STUDIES OF A FOREIGN UNIT FOR SOWING SOYBEANS CULTIVATED USING VARIOUS TECHNOLOGIES..... 36
Rodionov Y., Shchegolkov A., Nikitin D., Zorin A.
APPLICATION OF NANOMODIFIED HEAT-ACCUMULATING MATERIALS IN PLANT DRYING SYSTEMS 43
Li R., Psarev D., Bykonya A., Pchelnikov A., Melnikov A.
TEORETICAL ASPECTS OF THERMAL RADIATION HEATING OF WORN-OUT CASE DETAILS OF EQUIPMENT DURING RESTORATION 51
Anokhin S., Voronin N., Guskov A., Nikitin D., Rodionov Y., Philatov I.
POLLUTION OF INTERNAL SURFACES OF RESERVOIRS OF AGRICULTURAL PURPOSES 60
Knyazeva L., Dorokhov A., Kuryato N., Prokhorenkov V.
INFLUENCE OF ANGRESSIVE ATMOSPHERES OF ANIMAL BREEDING ON CORROSION OF METALS..... 70
Rodionov Y., Filatov I., Voronin N., Nikitin D., Ostrikov V., Lomovsky A.
METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF WEAR AND THE NEED TO REPLACE TRANSMISSION OIL IN POWER MECHANISMS 81
Zhernovnikov D., Zabrodskaya A., Vyazinkin V., Ostrikov V.
RESULTS OF RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF COMPOSITION OF FLUSHING OIL BASED ON WASTE MOTOR OIL 88

УДК 633.521
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-5-11

ТЕСТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ ЛЬНОТРЕСТЫ В ПОТОКЕ

[1]Романов Вячеслав Анатольевич
[1]Новиков Эдуард Валерьевич
[1]ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

Реферат. *Известно, что отсутствие достоверной и своевременной информации о линейной плотности и неровноте по данному показателю слоя льнотресты в потоке не позволяет проведение оптимизации процессов переработки. Предложено определение показателей проводить на основе первичного преобразователя роллерного типа. Для обоснования этого метода проведено экспериментальное изучение взаимосвязи линейной плотности слоя льнотресты, её неровноты по данному показателю с толщиной слоя в уплотненном состоянии, её неровнотой и длиной верхней огибающей слоя. Слой льнотресты формировали вручную, визуально он имел выровненную верхнюю поверхность. Льнотреста имела следующие основные характеристики: горстевую длину 0,85 м; диаметр стеблей 0,012 м; отделяемость 5,6 ед.; влажность 12,3 %. Опыты проводили на лабораторном стенде. Контроль линейной плотности в зонах измерения проводили прямым методом. Установлена разнонаправленная связь толщины уплотненного слоя и показателей ее вариации. Показана прямая взаимосвязь линейной плотности и толщины уплотненного слоя. Выявлена сильная положительная взаимосвязь линейной плотности с толщиной уплотненного слоя, доказывающая ее высокую прогностическую способность. Установлено существенное, до 50%, изменение значений среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации толщины уплотненного слоя по его ширине, обуславливающее необходимость нормирования зоны измерения. Подтверждена возможность тестирования неровноты линейной плотности слоя на основе длины его верхней огибающей в уплотненном состоянии.*

Ключевые слова: *льнотреста, слой, переработка, линейная плотность, неровнота по линейной плотности, определение показателей.*

TESTING FLAX RETTED STRAW LAYER PARAMETERS IN A STREAM

[1]Romanov Vyacheslav
[1]Novikov Eduard
FSBRI "Federal Research Center for Bast Fiber Crops"

Abstract. *It is known that the lack of reliable and timely information about the linear density and unevenness for this indicator of the layer of flax straw in the flow does not allow optimization of processing processes. It is proposed to determine the indicators based on the primary roller type Converter. An experimental study of the relationship between the linear density of the flax trust layer, its unevenness for this indicator with the layer thickness in the compacted state, its unevenness and the length of the upper envelope of the layer was carried out to justify this method. A layer of flax straw was formed manually; visually, it had a leveled upper surface. Flax straw had the following main characteristics: a handful length of 0.85 m; stem diameter 0.012 m; separability 5.6 units; humidity 12.3%.The experiments were carried out on a laboratory stand. Linear density control in the measurement zones was performed using a direct method. A multidirectional relationship between the thickness of the compacted layer and its variation indicators is established. A direct relationship between the linear density and the thickness of the compacted layer is shown. A strong positive relationship between the linear density and the thickness of the compacted layer is revealed, which proves its high predictive ability. A significant, up to 50%, change in the values of the mean square deviation and the coefficient of variation of the thickness of the compacted layer over its width was found, which necessitates the normalization of the measurement zone. The possibility of testing the unevenness of the linear density of the layer based on the length of its upper envelope in the compacted state is confirmed.*

Keywords: *flax fiber, layer, processing, linear density, irregularity in linear density, determination of indicators.*

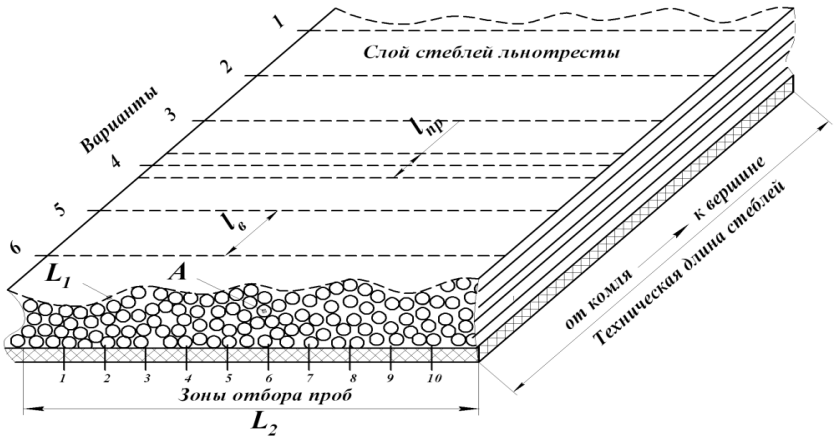
Введение. Дифференциация линейной плотности слоя при первичной обработке льнотресты в поточных линиях один из рациональных приемов повышения выхода длинного волокна [1]. Для выполнения этого приема необходимы слоеутоняющие машины с плавным регулированием коэффициента утонения слоя и технические средства тестирования в потоке параметров слоя.

Регулирование коэффициента утонения слоя κ_y обеспечивается в утоняющих машинах, основанных на свободной «фиксации» стеблей в межзубных впадинах утоняющих дисков [2]. Существует несколько вариантов исполнения таких технических средств утонения слоя [3]. Их конструктивное исполнение обеспечивает не только плавное регулирование κ_y, но и надежность процесса даже при высокой степени разрушения конструкции стеблей [4].

Однако в настоящее время отсутствуют способы получения достоверной и актуальной информации о параметрах слоя, адаптированные к условиям поточного производственного процесса первичной переработки льнотресты. Это относится, прежде всего, к параметрам слоя на выходе из канала утонения: коэффициенту утонения; скорости; линейной плотности и неровноте по данному показателю. Известные работы [5, 6] показывают, что определение таких показателей как скорость и коэффициент утонения слоя может быть проведено с применением измерителей роллерного типа. Эти измерители широко применяются во многих отраслях производства для измерения показателей скорости, частоты вращения, длины объектов [7]. Они имеют простое устройство и надежны в эксплуатации. Представляется целесообразным расширение сферы применения данного оборудования на оценку линейной плотности слоя льносырья и ее неровноты. На основе этой идеи был предложен способ тестирования неровноты линейной плотности слоя [8]. Суть способа заключается в измерениях длин участка слоя и его верхней огибающей в уплотненном состоянии. В качестве критерия неровноты предложено использовать, например, значение относительной разницы измеренных длин.

Целью работы является экспериментальное обоснование возможности тестирования линейной плотности слоя льнотресты и её неровноты на основе первичного преобразователя роллерного типа.

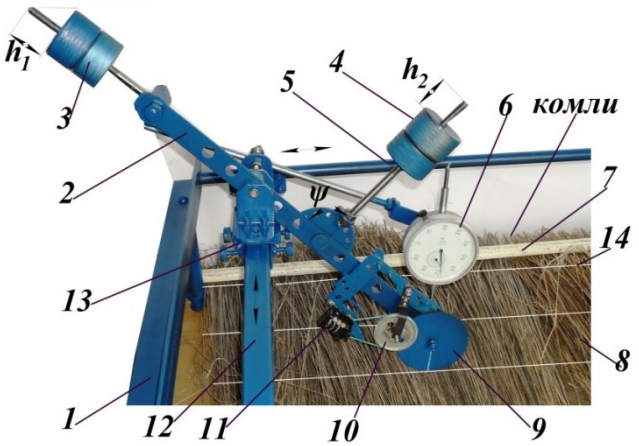
Материалы и методы. Определение используемых в работе показателей проводилось по методикам действующих стандартов на льнотресту и оригинальным методикам. Слой льнотресты формировали вручную, что соответствует сегодняшней практике подготовки слоя к переработке в производственных условиях. Визуально слой имел выровненную верхнюю поверхность. Льнотреста имела следующие основные характеристики: горстевую длину 0,85 м; диаметр стеблей 0,012 м; отделяемость 5,6 ед.; влажность 12,3 %. На рисунке 1 показана схема, поясняющая проведение опыта.



L_1 – длина слоя; L_2 – длина верхней огибающей слоя в уплотненном состоянии;
А – поперечное сечение слоя в уплотненном состоянии; $l_в$ – расстояние между вариантами;
$l_{пр}$ – длина отрезков стеблей в пробах

Рисунок 1 – Схема опыта по исследованию способа тестирования линейной плотности слоя и его неровноты

В опыте определялись следующие параметры: толщина слоя в уплотненном состоянии h_y; длина слоя L_2; длина верхней огибающей слоя в уплотненном состоянии L_1; масса m отрезков стеблей с длиной $l_{пр}$ = 0,05 м, которые вырезали равномерно в обе стороны от линий замеров – вариантов, из равномерно отобранных по длине слоя 10-ти проб с шириной слоя каждой пробы 0,05 м. Определение толщины слоя h_y и ее неровноты проводилось согласно методическим указаниям [9]. Полученные таким образом данные служили в эксперименте контролем. Стебли слоя, в комлевой и вершинной части, были зафиксированы прижимными планками, что исключало изменение структурных параметров при измерениях. Длина слоя L_2 принята равной 0,7 м, что соответствовало вышеупомянутым методическим указаниям. По ширине слоя измерения параметров проводились на технической длине стеблей, при расстоянии между вариантами $l_в$ = 100 мм. Линии замеров в вариантах отмечались контрастной краской, что обеспечивало повышение корректности проведения эксперимента. По каждой линии – варианту проводились 60 измерений h_y. При проведении экспериментов диаметр «измерительного» колеса был равен 77 мм, а толщина 0,02 м. Сила давления P_1 измерительного колеса на стебли слоя регулировалась и составляла 0,2; 0;3; 0,4; 0,5 и 0,6 кг, в каждом варианте опыта. Длина огибающей верхней поверхности слоя в уплотненном состоянии L_1 исчислялась по показаниям счетчика оборотов. Вид на стенд при проведении экспериментов показан на рисунке 2.



1 – станина; 2 – двуплечий рычаг; 3 – балансир; 4 – поворотный балансир; 5 – продольная направляющая; 6 – часовой индикатор; 7 – прижимные планки; 8 – слой льнотресты; 9 – измерительное колесо; 10 – промежуточная передача; 11 – счетчик оборотов; 12 – поперечная направляющая; 13 – каретка; 14– линии замеров

Рисунок 2 – Вид на стенд при проведении исследований

Результаты и их обсуждение. Оказалось, что, несмотря на выровненную верхнюю поверхность, слой имел существенное варьирование толщины в уплотненном состоянии. Вариационно-статистические параметры, отражающие вариабельность толщины уплотненного слоя h_y (контроль) в пределах исследованных выборочных совокупностей, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Вариационно-статистические параметры толщины слоя h_y

№ варианта	n, изм.	$h_{уср}$, см	δ_{hy}, см	min, см	max, см	V_{hy}, %
1	60	1,21	0,435	0,4	2,3	35,95
2		1,55	0,461	0,6	2,5	29,74
3		1,83	0,566	0,6	2,8	30,93
4		2,26	0,637	1,1	3,4	28,19
5		2,81	0,801	1,0	4,0	28,51
6		2,96	0,687	1,4	4,0	23,21

Широкий диапазон изменения h_y наблюдался во всех вариантах опыта. Значения коэффициента вариации толщины слоя V_h были, примерно, равны значениям вариации линейной плотности ленты после теребления. Очевидно существенное возрастание вариабельности слоя в производственных условиях.

Отмечается корреляционная связь толщины уплотненного слоя h_y (зоны измерения по ширине слоя) и показателей ее вариации. Зависимости среднего квадратического отклонения $\delta_{hy} = f(h_y)$ и $V_{hy} = f(h_y)$ имеют противоположную направленность. Возрастание h_{ycp} приводит к уменьшению значений V_{hy} и увеличению δ_{hy}. Наличие данных зависимостей, наглядно представленных на рисунке 3, обуславливает необходимость, при разработке способа тестирования, нормирования зоны измерения h_y по ширине слоя.

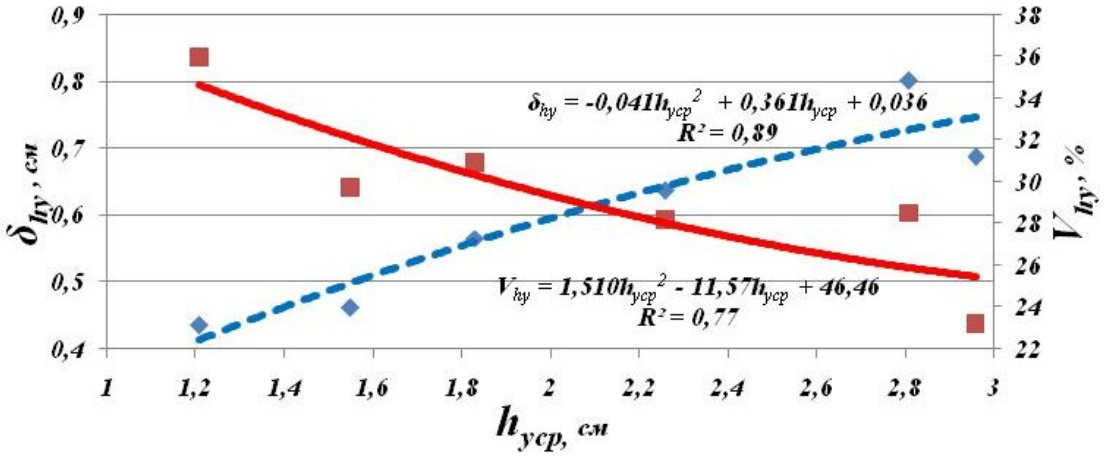


Рисунок 3 – Взаимосвязь показателей неровноты (δ_{hy} и V_{hy}) с толщиной в уплотненном слое

Нестабильность толщины уплотненного слоя h_y объясняется изменениями его линейной плотности, определяемой, в данном случае, прямым методом. Ее изменения по длине слоя q_o, относительно минимального значения в варианте, по вариантам показаны на рисунке 4.

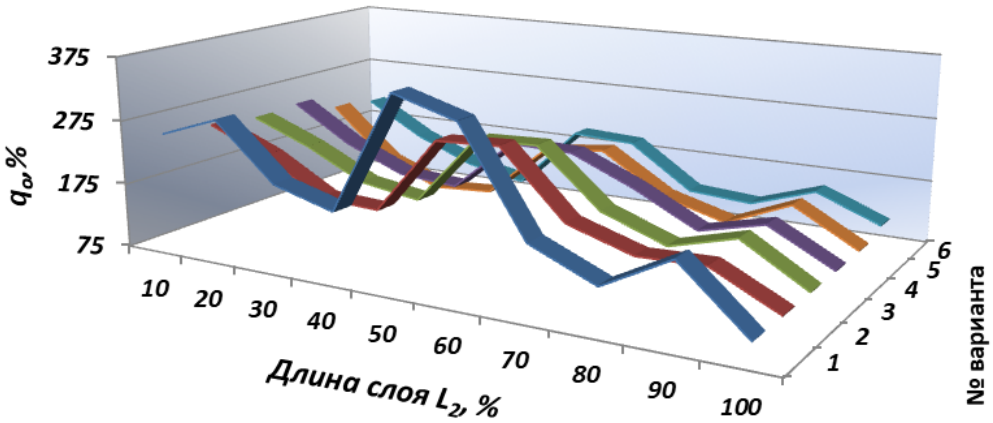


Рисунок 4 – Относительное изменение линейной плотности по длине слоя

Закономерно возникает вопрос, о возможности определения линейной плотности слоя – важнейшего технологического показателя косвенно, применяя показатель h_y. Разумеется, что толщина слоя h_y зависит от большего числа неконтролируемых факторов. Можно допустить сложность получения между показателями обобщающей зависимости, приемлемой для

тестирования линейной плотности в практических целях. Однако, на практике, может иметь место корректировка зависимостей для конкретных партий однородной льнотресты, создание которых необходимо для эффективной переработки. На рисунке 5 показана взаимосвязь линейной плотности $q_з = f\ (h_{уз})$ и толщины слоя $h_{уз}$, полученная в эксперименте аппроксимацией средних значений показателей для зон измерения в вариантах опыта.

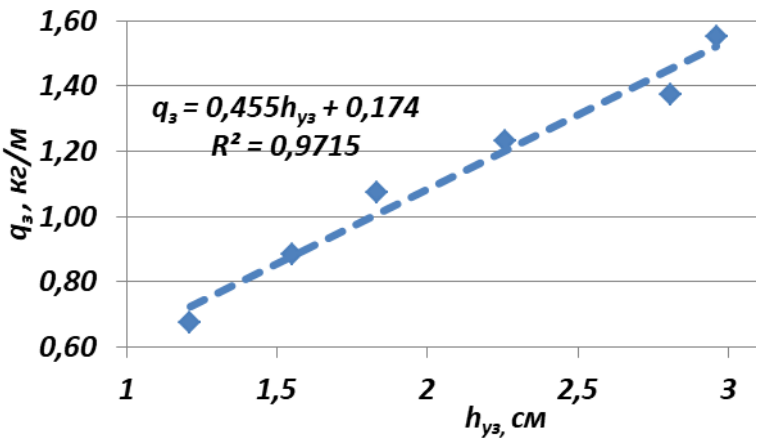


Рисунок 5 – Взаимосвязь линейной плотности $q_з$и толщины слоя $h_{уз}$

Высокая сила взаимосвязи показателей – R^2 = 0,971 доказывает возможность тестирования линейной плотности слоя q на основе измерения толщины уплотненного слоя h_y, которая может быть определена по перемещению первичного преобразователя в вертикальной плоскости.

Для оценки возможности тестирования неровноты слоя по линейной плотности на основе длины его верхней огибающей в уплотненном состоянии был проведен расчет корреляции между показателями L_1 и h_y, δ_{hy}, V_{hy}. Полученные в результате расчета значимые значения коэффициентов корреляции приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициентов корреляции между изучаемыми показателями

Показатели		h_y	δ_{hy}	V_{hy}
		Коэффициент корреляции, r		
L_1 при Р, кг	0,2	0,961	0,879	–
	0,3	0,957	0,838	-0,946
	0,4	0,982	0,873	-0,878
	0,5	0,854	–	-0,901
	0,6	–	–	–

Из полученных данных следует, что длина верхней огибающей слоя L_1 имеет прямую связь с толщиной уплотненного слоя h_y и квадратичным отклонением δ_{hy}. Коэффициент вариации V_{hy} связан с L_1 обратной связью. В большинстве вариантов уплотнения слоя коэффициенты корреляции r имеют достоверное значение, что подтверждает принципиальную возможность тестирования показателей линейной плотности предложенным способом.

Выводы.

1. Выявлена сильная положительная взаимосвязь линейной плотности с толщиной уплотненного слоя h_y (R^2 = 0,971), доказывающая ее высокую прогностическую способность

2. Установлено существенное, до 50%, изменение значений среднего квадратического отклонения δ_{hy} и коэффициента вариации h_y по ширине слоя, обуславливающее необходимость нормирования зоны измерения h_y.

3. Экспериментально подтверждена возможность тестирования неровноты линейной плотности слоя на основе длины его верхней огибающей в уплотненном состоянии.

Список литературы

1. Дьячков В.А. Теоретические основы технологии производства лубяных волокон: монография. Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. 271 с.

2. Романов В.А., Новиков Э.В. Обоснование конструктивно-технологического решения слоеутоняющей машины, адаптивной к изменению параметров слоя льносырья // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 3. – С. 122-126.

3. Романов В.А., Новиков Э.В. Экспериментальное обоснование параметров канала с постоянным сечением для утонения слоя стеблей льна // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 10. – С. 44-48.

4. Романов В.А., Новиков Э.В. Модернизация машины для утонения слоя льнотресты // Наука в центральной России. – 2019. – № 2. – С. 85-91.

5. Дроздов Ю.В., Пашин Е.Л., Лапшин А.Б. Метод контроля параметров стеблей льна в движущемся слое // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2002. – № 2. – С. 24-26.

6. Дроздов Ю.В., Петров С.С., Обоснование конструкции механизма контроля параметров движущегося слоя льняной тресты // Вестник ВНИИЛК. – 2003. – № 1. – С. 88-92.

7. Система измерения длины и скорости LMS Wachendorff [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://megasensor.com/products/sistema-izmereniya-dliny-i-skorosti-lms/, свободный (дата обращения: 13.01.2020)

8. Пат. РФ № 2650535 Российская Федерация, МПК D01B 1/00. Способ тестирования вариации толщины слоя стеблей льносырья / Романов В. А., Новиков Э. В., Безбабченко А. В., Левкина Г. И., заявитель и патентообладатель Всероссийский науч.-исслед. ин-т механизации льноводства. – № 2017124480, заявл. 10.07.2017, опубл. 16.04.2018 Бюл. № 11.

9. Антонов С.И., Щечкин В.В., Пашин Е.Л. Методические указания. Оценка технологической эффективности оборудования для первичной обработки льна. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИЛК. 2004. – 48 с.

References

1. D'jachkov V.A. Teoreticheskie osnovy tehnologii proizvodstva lubjanyh volokon: monografija. Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. tehnol. un-ta, 2009. 271 s.

2. Romanov V.A., Novikov Je.V. Obosnovanie konstruktivno-tehnologicheskogo reshenija sloeutonjajushhej mashiny, adaptivnoj k izmeneniju parametrov sloja l'nosyr'ja // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2017. – № 3. – S. 122-126.

3. Romanov V.A., Novikov Je.V. Jeksperimental'noe obosnovanie parametrov kanala s postojannym secheniem dlja utonenija sloja steblej l'na // Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. – 2018. – № 10. – S. 44-48.

4. Romanov V.A., Novikov Je.V. Modernizacija mashiny dlja utonenija sloja l'notresty // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 2. – S. 85-91.

5. Drozdov Ju.V., Pashin E.L., Lapshin A.B. Metod kontrolja parametrov steblej l'na v dvizhushhemsja sloe // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2002. – № 2. – S. 24-26.

6. Drozdov Ju.V., Petrov S.S., Obosnovanie konstrukcii mehanizma kontrolja parametrov dvizhushhegosja sloja l'njanoj tresty // Vestnik VNIILK. – 2003. – № 1. – S. 88-92.

7. Sistema izmerenija dliny i skorosti LMS Wachendorff [Jelektronnyj resurs] // Rezhim dostupa: https://megasensor.com/products/sistema-izmereniya-dliny-i-skorosti-lms/, svobodnyj (data obrashhenija: 13.01.2020)

8. Pat. RF № 2650535 Rossijskaja Federacija, MPK D01B 1/00. Sposob testirovanija variacii tolshhiny sloja steblej l'nosyr'ja / Romanov V. A., Novikov Je. V., Bezbabchenko A. V., Levkina G. I., zajavitel' i patentoobladatel' Vserossijskij nauch.-issled. in-t mehanizacii l'novodstva. – № 2017124480, zajavl. 10.07.2017, opubl. 16.04.2018 Bjul. № 11.

9. Antonov S.I., Shhechkin V.V., Pashin E.L. Metodicheskie ukazanija. Ocenka tehnologicheskoj jeffektivnosti oborudovanija dlja pervichnoj obrabotki l'na. – M.: Rossel'hozakademija – GNU VNIILK. 2004. – 48 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Романов Вячеслав Анатольевич – старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: romanoff_va@bk.ru.

Новиков Эдуард Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: edik1@kmtn.ru.

Author credentials

Affiliations

Romanov Vyacheslav – Senior Researcher of Federal State Budgetary Research Institution "Federal Research Center for Bast Fiber Crops", Russia, Tver, e-mail: romanoff_va@bk.ru.

Novikov Eduard – Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Leading Researcher of Federal State Budgetary Research Institution "Federal Research Center for Bast Fiber Crops", Russia, Tver, e-mail: edik1@kmtn.ru.

Поступила в редакцию (Received): 16.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 19.02.2020

УДК 631.172
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-11-21

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ РАЗДАЧИ КОРМОВ

[1]Ведищев Сергей Михайлович
[1,2,3]Завражнов Анатолий Иванович
[1]Прохоров Алексей Владимирович
[4]Бралиев Майдан Кабатаевич

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[4]НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»

Реферат. *Использование дозирующих органов кормораздатчиков с возможностью оперативного изменения подачи (дозы) с улучшенными показателями качества и удельных энергозатрат позволяет повысить эффективность кормления свиней. Рассмотрены варианты расчета энергозатрат удельных при выдаче корма в кормушки в индивидуальные и групповые с остановкой кормораздатчиков и без. Суммарные энергозатраты за цикл складываются из энергозатрат на транспортирование корма от линии загрузки до линии раздачи, перемещение раздатчика от линии раздачи к линии загрузки, перемещение кормораздатчика при переезде с одной линии кормораздачи на другую в пределах одного помещения и непосредственно на раздачу корма. В соответствии с балансом времени при раздаче корма в непрерывные или индивидуальные кормушки кормораздатчик загружается кормом в линии загрузки, транспортирует корм к линии раздачи, выдает корм животным и возвращается к месту загрузки. При этом мощность расходуется на приводы мешалки, ходовой части и дозирующих органов. Результаты лабораторных исследований электромобильных кормораздатчиков при выдаче корма в индивидуальные и групповые кормушки показали преимущество кормораздатчика на пневматических колесах с модернизированными рабочими органами. Неравномерность выдачи корма кормораздатчиками, оснащенные модернизированными рабочими органами находилась в пределах зоотехнических требований и не превышала 5%. Сравнительная оценка использования кормораздатчиков по показателю энергоэффективности показывает, что более низкие затраты имеют кормораздатчики при выдаче в групповые кормушки, чем при выдаче в индивидуальные в среднем в 1,65 раза.*

Ключевые слова: *баланс времени, кормораздатчик, кормушка, скорость, энергозатраты.*

RATIONALE FOR AN EFFECTIVE FEED DISTRIBUTION SYSTEM

[1]***Vedishchev Sergei***
[1,2,3]***Zavrazhnov Anatoly***
[1]***Prokhorov Alexey***
[4]***Braliev Maidan***

[1]FSBEI HE "Tambov state technical university"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
[3]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[4]Non profit JSC "Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University"

Abstract. *The use of dosing units of feed feeders with the ability to quickly change the feed (dose) with improved quality indicators and specific energy consumption allows to increase the efficiency of feeding pigs. The options for calculating the specific energy consumption when feeding fodder to individual and group feeds with and without stopping feeders are considered. The total energy consumption per cycle consists of the energy consumption for transporting the feed from the feed line to the distribution line, moving the distributor from the distribution line to the loading line, moving the feeder when moving from one feed line to another within the same room and directly to the feed distribution. The feed dispenser is loaded with feed in the loading line, transports the feed to the distribution line, dispenses the feed to the animals and returns to the loading point in accordance with the time balance when distributing the feed to continuous or individual feeders. In this case, power is consumed on the drives of the mixer, chassis and metering bodies. The results of laboratory studies of electromobile feed dispensers when feeding feed to individual and group feeders showed the advantage of a feed dispenser on pneumatic wheels with modernized working bodies. The uneven distribution of feed by feeders equipped with modernized working bodies was within the zootechnical requirements and did not exceed 5%. A comparative assessment of the use of feed dispensers in terms of energy efficiency shows that feed dispensers have lower costs when dispensing to group feeders than when issuing individual ones on average 1.65 times.*

Keywords: *time balance, feeder, feeder, speed, energy consumption.*

Введение. Одной из самых сложных задач на свиноводческом комплексе является нормированная раздача корма в групповые или индивидуальные кормушки. Использование дозирующих органов кормораздатчиков с возможностью оперативного изменения подачи (дозы) с улучшенными показателями качества и удельных энергозатрат позволяет повысить эффективность кормления свиней [1 – 4, 6 – 9].

В связи с этим требуется выбрать эффективную систему кормораздачи для свиней. Наиболее обобщающим критерием оценки системы раздачи кормов является технологический эффект, который связывает показатели энергоэффективности и качества выполнения процесса раздачи и приготовления кормов.

Материалы и методы. Суммарные удельные энергозатраты при выдаче корма в кормушки за цикл составляет [5]:

$$Э_{\Sigma} = \frac{Э_{ц}}{m_{кор}}, \quad (1)$$

где $Э_{\Sigma}$ – суммарные удельные энергозатраты при выдаче корма в кормушки, Вт·с/кг;

$Э_{ц}$ – суммарные энергозатраты за цикл при выдаче в кормушки, Вт·с;

$m_{кор}$ – количество кормы. выданного в кормушки за цикл, кг.

Суммарные энергозатраты за цикл при выдаче корма в кормушки составят:

$$Э_{ц} = Э_{р} + Э_{дост} + Э_{х} + Э_{пл}, \quad (2)$$

где $Э_{р}$ – энергозатраты непосредственно на раздачу корма, Вт·с;

$Э_{дост}$ – энергозатраты на транспортирование корма от линии загрузки до линии раздачи, Вт·с;

$Э_{х}$ – энергозатраты на перемещение раздатчика от линии раздачи к линии загрузки, Вт·с;

$Э_{пл}$ – энергозатраты на перемещение кормораздатчика при переезде с одной линии кормораздачи на другую в пределах одного свинарника, Вт·с.

В соответствии со схемой баланса времени раздачи корма в непрерывные кормушки (рисунок 1) кормораздатчик загружается кормом в линии загрузки ($t_{загр}$). При этом работает только мешалка в бункере кормораздатчика и мощность расходуется на привод мешалки ($N_{см}$). После загрузки бункера кормораздатчика кормом включается привод ходовой части. Кормораздатчик при работающей мешалке разгоняется до скорости $V_{агр}$ за время $t^{п}_{разг}$. Затем кормораздатчик перемещается от линии загрузки к первой кормушке (время $t_{пер}$). Мощность расходуется на привод мешалки ($N_{см}$) и перемещение ходовой части ($N_{пер}$). Суммарные энергозатраты на этом этапе определятся:

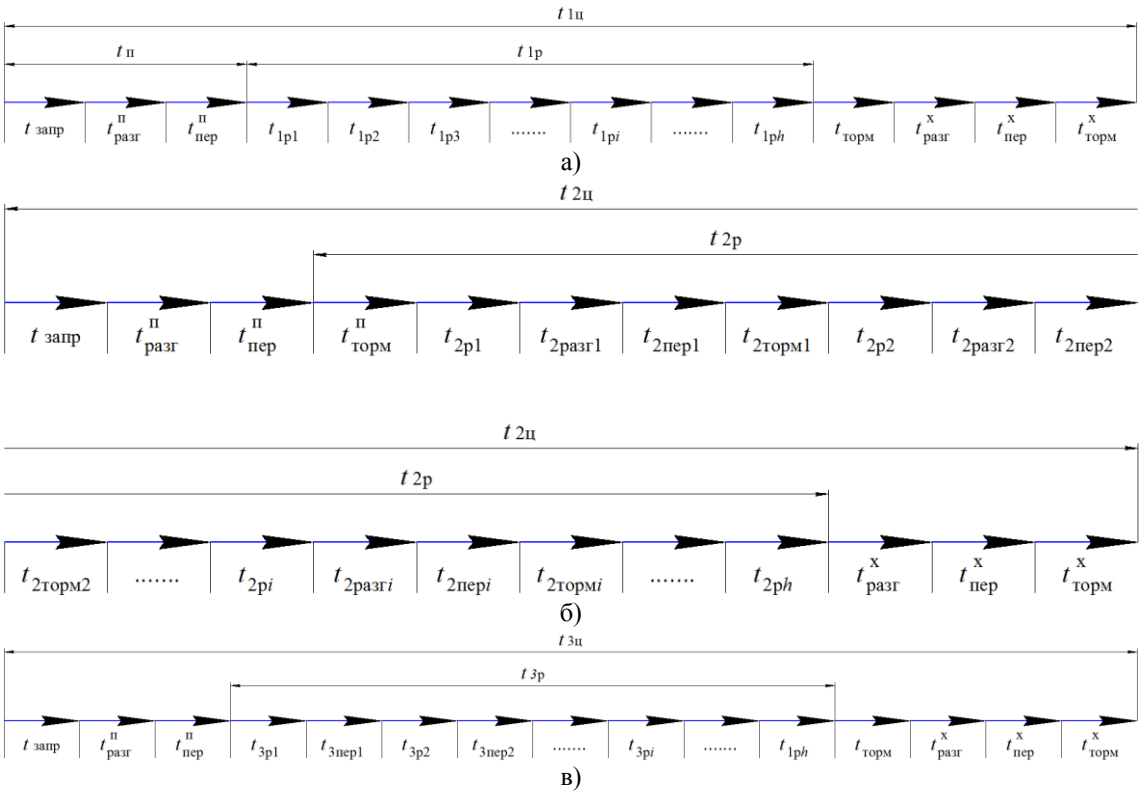
$$Э_{дост} = Э_{загр} + Э_{разг} + Э_{х} + Э_{пвр}, \quad (3)$$

где $Э_{дост}$ – энергозатраты на этапе доставки корма к линии раздачи (рисунок 1), Вт·с;

$Э_{загр}$ – энергозатраты на этапе загрузки бункера кормораздатчика кормом (за время $t_{загр}$), Вт·с;

$Э_{разг}$ – энергозатраты за время разгона кормораздатчика до рабочей скорости, Вт·с;

$Э_{пер}$ – энергозатраты за время перемещения кормораздатчика от места загрузки до первой кормушки, Вт·с.



а) раздача в непрерывные кормушки
б) раздача в индивидуальные кормушки с остановкой кормораздатчика
в) раздача в индивидуальные кормушки без остановки кормораздатчика

Рисунок 1 – Схема баланса времени и последовательности при выполнении операций при раздаче корма

Энергозатраты кормораздатчики на этапе загрузки расходуются только на привод мешалки:

$$Э_{загр} = N_{см} \cdot t_{загр}, \quad (4)$$

где $N_{см}$ – мощность на привод мешалки, Вт;

$t_{загр}$ – время на загрузку кормораздатчика, с.

При разгоне кормораздатчика мощность расходуется на привод мешалки и разгон кормораздатчика, то есть

$$Э_{разг} = N_{см} \cdot t_{загр} + (P_f + P_j) \cdot V_{агр} \cdot t_{пер}, \quad (5)$$

где $t_{разг}$ – время разгона кормораздатчика, с.

При перемещении кормораздатчика от линии загрузки до первой кормушки мощность расходуется на привод мешалки и привод ходовой части:

$$Э_{пер} = N_{см} \cdot t_{пер} + \left(P_f + P_j\right) \cdot V_{агр} \cdot t_{пер}, \quad (6)$$

где $t_{пер}$ – время переезда кормораздатчика от линии загрузки до первой кормушки, с.

При подъезде кормораздатчика к линии кормораздачи в зависимости от установленных объемно-планировочных решений и применяемых электромобильных раздатчиков корм раздается по одному из трех вариантов:

а) выдача корма в групповые кормушки. Норма выдачи корма устанавливается настройкой дозирующих органов и(или) скоростью перемещения кормораздатчика;

б) выдача корма в индивидуальные кормушки. Нома выдачи устанавливается дозирующим органом с остановкой кормораздатчика у каждой кормушки;

в) выдача корма в индивидуальные кормушки. Нома выдачи устанавливается дозирующим органом без остановки кормораздатчика у каждой кормушки.

Применение усовершенствованных дозирующих органов и ходовой части позволяет регулировать норму выдачи в кормушки, настройкой дозирующего органа по положениям задатчика дозы или исполнительным механизмом. В базовом варианте норма выдачи регулируется только положением дозирующей заслонки в зоне загрузочного окна и контролируется оператором визуально.

Рассмотрим вариант выдачи корма в групповые кормушки. Раздача корма в непрерывные кормушки (рисунок 1, а) происходит при движении кормораздатчика вдоль линии кормления без остановки. При раздаче в непрерывные кормушки мощность расходуется на привод мешалки, ходовой части и дозирующих органов, работающих одновременно:

$$Э_{1n} = \sum_{i=1}^{n} \left(N_{1см i} \cdot t_{1pi} + N_{1gi} \cdot t_{1pi} + \left(P_{1fi} + P_{1ji}\right) \cdot V_{1pi} \cdot t_{1pi}\right), \quad (7)$$

где $N_{1см i}$ – мощность на привод смесителя при движении вдоль i-ой группы животных, Вт;

N_{1gi} – мощность на привод дозатора при выдаче корма i-ой группе животных, Вт;

P_{1fi} – сила сопротивления качению колес на i-ом участке, Н;

P_{1ji} – сила инерции, возникающие из-за изменения поступательной скорости кормораздатчика, Н;

t_{1pi} – время выдачи корма i-ой группе животных, с;

V_{1pi} – скорость движения кормораздатчика при выдачи корма i-ой группе животных, м/с;

n – количество групп животных, шт.

По окончании выдачи корма в последнюю кормушку привод дозирующих органов и смесителя отключается и включаются тормозные механизмы.

Затем раздатчик возвращается к началу загрузки. Мощность расходуется только на привод ходовой части:

$$\begin{aligned} Э_{1x} &= \left(P_{1f} + P_{1j}\right) \cdot V_{1pi} \cdot t_{торм} + \left(P_{1f} + P_{1j}\right) \cdot V_{1px} \cdot t_{разг} + P_{1f} V_{1px} \cdot t_{1пер} + \\ &+ \left(P_{1f} + P_{1j}\right) \cdot V_{1px} \cdot t_{торм} = \left(P_{1f} + P_{1j}\right) \cdot \left(L_{торм i} + L_{разгх} + L_{торм x}\right) + P_{1f} \cdot L_{перх} \end{aligned}, \quad (8)$$

где V_{1px} – скорость перемещения кормораздатчика к линии загрузки, м/с;

V_{1pi} – скорость перемещения кормораздатчика при выдаче корма последней группе животных, м/с;

$L_{1торм i}$ – тормозной путь кормораздатчика после выдачи корма последней группы животных, м;

$L_{разгх}$ – путь разгона и торможения кормораздатчика без корма, м;

$L_{перх}$ – расстояние переезда кормораздатчика после раздачи линии загрузки, м.

Рассмотрим вариант выдачи корма в индивидуальные кормушки с остановкой кормораздатчика. В соответствии со схемой баланса времени раздачи корма в индивидуальные кормушки с остановкой кормораздатчика (рисунок 1б) затраты мощности на этапе загрузки бункера и перемещение от линии раздачи к первой кормушке будут такими же, как и в варианте

при раздаче в непрерывные кормушки (рисунок 1а).

Энергозатраты, $Э_{дост}$, будут определяться, как и в случае раздачи корма в непрерывные кормушки, по выражениям (3 – 6).

При подъезде к каждой кормушке включаются тормозные механизмы, кормораздатчик замедляется до полной остановки. Включается привод дозирующих органов и в кормушку выдается порция корма. После отключения привода дозатора включается привод ходовой части, кормораздатчик разгоняется до рабочей скорости, с которой далее перемещается до следующей кормушки, где процесс выдачи корма в кормушку повторяется. При выдаче корма и переезде раздатчика мешалка непрерывно работает.

Энергозатраты при выдаче корма в индивидуальные кормушки за цикл составят:

$$Э_{2р} = \sum_{i=1}^{n} Э_{2ркki} = \sum_{i=1}^{n} (Э_{2смi} + Э_{2рi} + Э_{2разгi} + Э_{2перi}), \quad (9)$$

где $Э_{2р}$ – суммарные энергозатраты на процесс раздачи корма в индивидуальные кормушки с остановкой кормораздатчика, Вт·с;

$Э_{2ркki}$ – энергозатраты при выдачи корма в одну кормушку, Вт·с;

n – количество кормушек, шт.

$Э_{2смi}$ – энергозатраты на привод мешалки за время выдачи в индивидуальную кормушку, Вт·с;

$Э_{2тормi}$ – энергозатраты на остановку кормораздатчика, Вт·с;

$Э_{2рi}$ – энергозатраты на привод дозатора при выдаче порции корма, Вт·с;

$Э_{2разгi}$ – энергозатраты на разгон кормораздатчика после выдачи порции корма при переезде к следующей кормушке, Вт·с;

$Э_{2перi}$ – энергозатраты на перемещение кормораздатчика при его переезде к следующей кормушке, Вт·с.

Энергозатраты на привод мешалки составят:

$$Э_{2см} = N_{смi} \cdot (t_{2тормi} + t_{2рi} + t_{2разгi} + t_{2перi}), \quad (10)$$

где $N_{смi}$ – мощность на привод мешалки, Вт;

$t_{2тормi}$, $t_{2рi}$, $t_{2разгi}$, $t_{2перi}$ – продолжительность торможения, дозирования, разгона и переезда соответственно, с.

Энергозатраты на остановку кормораздатчика:

$$Э_{2тормi} = (P_{2fi} + P_{2ji}) \cdot V_{2рi} \cdot t_{2тормi} = (P_{2fi} + P_{2ji}) \cdot L_{2рi}, \quad (11)$$

где $V_{2рi}$ – скорость движения кормораздатчика, м/с;

$L_{2рi}$ – тормозной путь, м.

Энергозатраты на дозирование корма:

$$Э_{2грi} = N_{2дi} \cdot t_{2рi}, \quad (12)$$

где $N_{2дi}$ – мощность на привод дозатора, Вт.

Энергозатраты на разгон кормораздатчика:

$$Э_{2разгi} = (P_{2fi} + P_{2ji}) \cdot V_{2рi} \cdot t_{2разгi} = (P_{2fi} + P_{2ji}) \cdot L_{2разгi}, \quad (13)$$

где $L_{2разгi}$ – путь разгона кормораздатчика, м.

Энергозатраты на перемещение кормораздатчика:

$$Э_{2перi} = P_{2fi} \cdot V_{2рi} \cdot t_{2перi} = P_{2fi} \cdot L_{2перi}, \quad (14)$$

где $V_{2рi} \cdot t_{2перi} = L_{2перi}$ – расстояние между кормушками, м.

По окончании выдачи корма в последнюю кормушку раздатчик возвращается к линии загрузки. Энергозатраты на возвращение раздатчика к линии загрузки определятся аналогично выражению (8) без учета затрат энергии на торможение перед последней кормушкой:

$$\begin{aligned} Э_{2x} &= (P_{2f} + P_{2j}) \cdot V_{2рx} \cdot t_{2разг} + P_{2f} \cdot V_{2рx} \cdot t_{2пер} \cdot V_{2рx} + (P_{2f} + P_{2j}) \cdot V_{2рx} = \\ &= (P_{2f} + P_{2j}) \cdot (L_{разг} - L_{торм}) + P_{2f} \cdot L_{2перx} \end{aligned}, \quad (15)$$

где $V_{2рx}$ – скорость перемещения кормораздатчика к линии загрузки, м/с.

Рассмотрим вариант выдачи корма в индивидуальные кормушки без остановки кормораздатчика. Энергозатраты за цикл при выдаче корма в индивидуальные кормушки без остановки кормораздатчика (рисунок 1в) определяются по выражению (12), на транспортирование корма от линии загрузки до линии раздачи по выражению (14), на перемещение раздатчика к линии загрузки по выражению (8).

При раздаче корма в индивидуальные кормушки мощность расходуется на привод мешалки, ходовой части, работающих непрерывно, а также дозирующих органов, работающих дискретно.

Суммарные энергозатраты при выдаче корма определятся по выражению:

$$Э_{3p} = \sum_{i=1}^{n} Э_{3pi} = N_{3смi}\left(t_{3pi} + t_{3перi}\right) + P_{3fi}V_{3pi}\left(t_{3pi} + t_{3перi}\right) + N_{3дi}t_{3pi} = , \quad (16)$$
$$= N_{3смi}\left(t_{3pi} + t_{3перi}\right) + N_{3дi}t_{3pi} + P_{3fi}\left(L_{3fi} + L_{3перi}\right)$$

где $Э_{3pi}$ – энергозатраты при выдаче корма в кормушку, Вт·с;

$Э_{3p}$ – суммарные энергозатраты на процесс раздачи при выдаче корма в индивидуальные кормушки без остановки кормораздатчика, Вт·с.

$N_{3смi}$ – мощность на привод мешалки во время выдачи корма в *i*-ую кормушку, Вт;

$N_{3дi}$ – мощность на привод дозатора при выдаче корма в *i*-ую кормушку, Вт;

P_{3fi} – сила сопротивления качению колес кормораздатчика при движении кормораздатчика вдоль *i*-ой кормушки, Н;

t_{3pi} – время выдачи корма в *i*-ую кормушку;

$t_{3перi}$ – время перемещения кормораздатчика между кормушками, с;

V_{3pi} – скорость перемещения кормораздатчика при выдаче корма в *i*-ую кормушку, м/с;

L_{3pi} – расстояние, которое проезжает кормораздатчик при выдаче корма в *i*-ую кормушку, м;

$L_{3перi}$ – расстояние переезда между кормушками, м.

Расстояние, которое проезжает кормораздатчик при выдаче корма в кормушку, а также расстояние между кормушками, зависят от объемно-планировочных решений помещения, в котором содержатся животные.

Время выдачи корма в кормушку, точность позиционирования дозирующего органа над кормушкой, а также время перемещения кормораздатчика между кормушками зависит, в первую очередь, от скорости перемещения кормораздатчика.

По окончании выдачи корма в последнюю кормушку раздатчик возвращается к линии загрузки. Энергозатраты определяются по выражению (8).

При переезде раздатчика с одной линии кормораздачи на другую в пределах одного свинарника при достаточной ширине коридора для маневрирования при развороте осуществляется за счет поворота управляемых ведомых колес (передней оси).

Энергозатраты при переезде кормораздатчика с одной линии раздачи на другую составят:

$$Э_{пл1} = P_f \cdot V_{рпл} \cdot t_{пл} = P_f \cdot L_{пл}, \quad (17)$$

где $Э_{пл1}$ – энергозатраты при переезде кормораздатчика с одной линии раздачи на другую при повороте за счет управляемых колес передней оси, Вт·с;

$V_{рпл}$ – скорость движения кормораздатчика при переезде, м/с;

$t_{пл}$ – время переезда, с;

$L_{пл}$ – путь, проходимый кормораздатчиков при переезде, м.

При переезде раздатчика с одной линии кормораздачи на другую при развороте на месте за счет применения ходовой части имеющей установленные на поворотном горизонтальном диске пару ведущих колес, имеющих свой узел управления, энергозатраты будут складываться из следующих этапов: разворота кормораздатчика на месте; перемещения между линиями кормления; разворот кормораздатчика на месте для ориентации вдоль линии кормления.

Энергозатраты определятся по выражению:

$$Э_{пл2} = Э_{плр} + Э_{плп} + Э_{плр} = 2Э_{плр} + Э_{плп}, \quad (18)$$

где $Э_{плр}$ – энергозатраты при развороте кормораздатчика на месте, Вт·с;

$Э_{плп}$ – энергозатраты при перемещении раздатчика между линиями кормления, Вт·с.

Энергозатраты при развороте кормораздатчика составляют:

$$Э_{плр} = 2Э_{плвк} + Э_{плк}, \quad (19)$$

где $Э_{плвк}$ – энергозатраты на поворот в ведущих колес, Вт·с;

$Э_{плк}$ – энергозатраты на поворот корпуса кормораздатчика, Вт·с.

Энергозатраты на поворот диска ведущих колес (рисунки 2а, 2в):

$$Э_{плвк} = P_{вк} \cdot V_{рвк} \cdot t_{вк} = 2P_{f_{вк}} \cdot V_{рвк} \cdot t_{вк}, \quad (20)$$

где $P_{твк}$ – сила тяги на ведущем колесе, Н;

$P_{fвк}$ – сила сопротивления перекатыванию ведущих колес при повороте горизонтального диска, Н;

$V_{рвк}$ – скорость перемещения ведущего колеса, м/с;

$t_{вк}$ – время поворота диска, с.

Сила сопротивления перекатыванию ведущих колес при повороте горизонтального диска для кормораздатчика, стоящего на горизонтальном участке определится:

$$P_{f_{вк}} = G_2 \cdot f = \frac{2 \cdot G \cdot l_1 \cdot f \cdot L_{пвк}}{L}, \quad (21)$$

где G_2 – вес от массы кормораздатчика, приходящаяся на ведущую ось, Н;

G – вес кормораздатчика, Н;

l_1 – расстояние от центра тяжести кормораздатчика до центра ведущей оси, м;

L – расстояние между осями кормораздатчика, м;

$L_{пвк}$ – путь, пройденный ведущими колесами кормораздатчика при повороте горизонтального круга, м.

Для разворота кормораздатчика диск под действием ведущего колеса поворачивается на 90°. При этом колесо проходит путь (рисунок 2):

$$L_{пвк} = \frac{\pi \cdot B_к}{4}, \quad (22)$$

где $B_к$ – ширина ходовой части, м;

$L_{пвк}$ – путь, проходимый ведущим колесом при повороте диска, м.

Подставим выражения 21 и 22 в 20 и получим:

$$Э_{плвк} = \frac{2 \cdot G \cdot l_1 \cdot f \cdot L_{пвк}}{L}. \quad (23)$$

Энергозатраты на поворот рамы кормораздатчика будут складываться из затрат энергии на перекатывание колес ведущего моста одного колеса на ведомом мосту и момента сопротивления трения заторможенного колеса (рисунок 1б). Энергозатраты на поворот рамы определятся:

$$Э_{плк} = P_{fвв1} V_{рвк1} t_{пов} + P_{fвв2} V_{рвк2} t_{пов} + P_{fвв3} V_{рвк3} t_{пов} + M_{трв} \omega_{рк} t_{пов}, \quad (24)$$

где $V_{рвк1}$, $V_{рвк2}$, $V_{рвк3}$ – скорость перекатывания колес при повороте ведущего внешнего, ведомого внутреннего, ведомого управляемого соответственно, м/с;

$M_{трв}$ – момент сопротивления трения колеса при повороте рамы кормораздатчика, Н·м;

$P_{fвв1}$, $P_{fвв2}$, $P_{fвв3}$ – сила сопротивления перекатыванию внешнего ведущего, внутреннего ведомого и управляемого колес соответственно, Н;

$\omega_{рк}$ – угловая скорость поворота рамы кормораздатчика, $с^{-1}$;

$t_{пов}$ – время поворота рамы кормораздатчика, с.

Сила сопротивления перекатыванию ведущего и внутреннего ведомого колеса составит:

$$P_{fвв1} = P_{fвв2} = \frac{G \cdot l_1 \cdot f}{2L}. \quad (25)$$

Сила сопротивления перекатыванию управляемого колеса:

$$P_{fвв3} = \frac{G \cdot l_2 \cdot f}{2L}. \quad (26)$$

Скорость перекатывания ведомого внутреннего колеса определится (рисунок 2б):

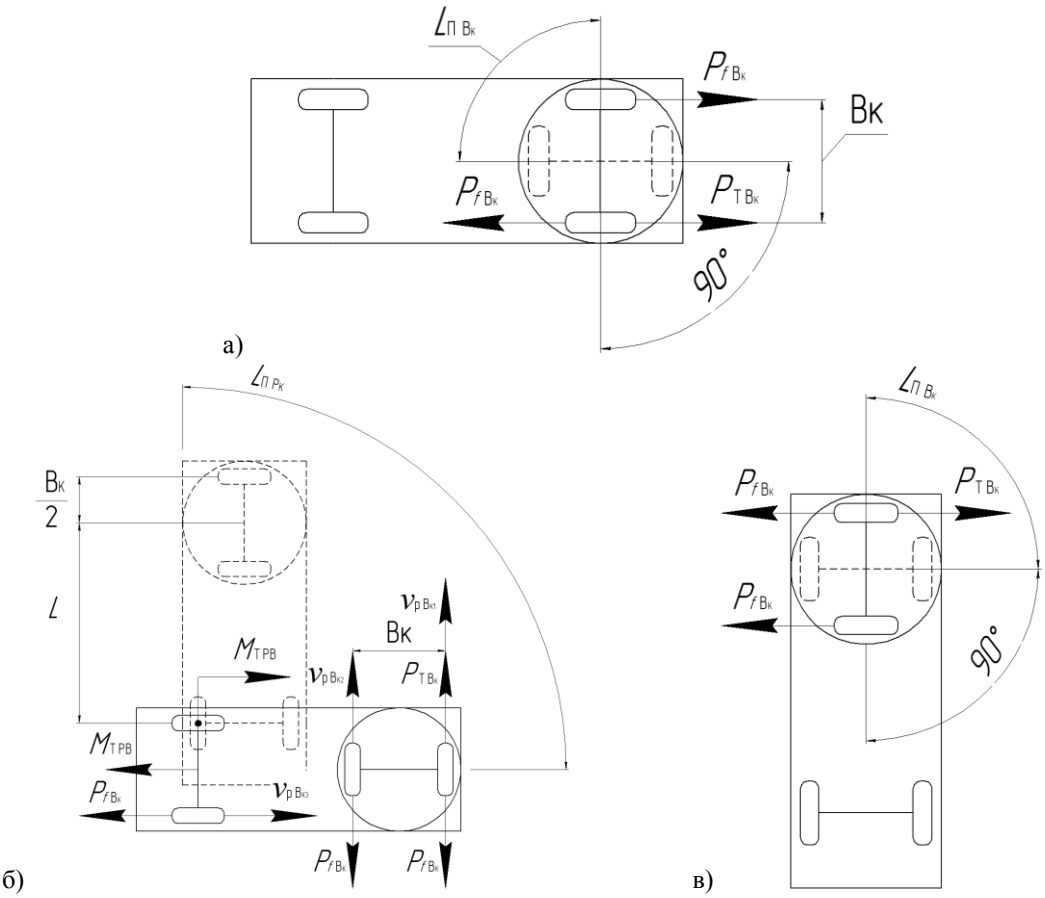
$$V_{рвк2} = V_{рвк1} \frac{(2L - B_к)}{(2L + B_к)}. \quad (27)$$

Скорость перекатывания ведомого управляемого колеса определится:

$$V_{рвк3} = V_{рвк1} \frac{2B_к}{(2L + B_к)}. \quad (28)$$

Момент сопротивления трения колеса при повороте рамы кормораздатчика определится:

$$M_{трв} = \frac{G l_2 f_{сц}}{2L} \cdot \frac{B_ш}{2}. \quad (29)$$



а) схема поворота диска под действием ведущего колеса
б) схема поворота кормораздатчика под действием одного ведущего колеса
в) схема поворота диска под действием ведущего колеса для ориентации вдоль линии кормления

Рисунок 2 – Схема разворота кормораздатчика на месте

Угловая скорость поворота рамы определится:

$$\omega_{рк} = \frac{2V_{рвк1}}{(2L + B_к)}. \quad (30)$$

При повороте рамы кормораздатчика ведущее колесо проходит путь, равный $L_{прк}$:

$$L_{прк} = \frac{2\pi\left(L + \frac{B_к}{2}\right)}{4} = \frac{\pi(L + B_к)}{4}. \quad (31)$$

Время поворота составит:

$$t_{пов} = \frac{L_{прк}}{V_{рвк1}} = \frac{\pi(2L + B_к)}{4V_{рвк1}}. \quad (32)$$

После преобразования получим:

$$Э_{плк} = \frac{\pi G(2L + B_к)}{8L}\left[l_1 f + \frac{1}{2L + B_к}\left(l_1 f(2L - B_к) + 2fl_2 B_к + 2l_2 f_{сц} B_к\right)\right]. \quad (33)$$

Результаты лабораторных исследований энергоэффективности электромобильных кормораздатчиков при выдаче корма в индивидуальные и групповые кормушки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты лабораторных исследований энергоэффективности электромобильных кормораздатчиков при выдаче в индивидуальные кормушки

Показатель	Норма выдачи, кг		Удельные затраты энергии, Вт с/кг	
	При минимальной дозе	При максимальной дозе	При минимальной дозе	При максимальной дозе
Кормораздатчик на рельсовой тележке со шнековыми дозаторами с активным каналом обратного хода при выдаче в индивидуальные кормушки				
Сухая рассыпная кормосмесь (W=12,1%)	1,21	9,60	0,099	0,116
Кормораздатчик на рельсовой тележке со шнековыми дозаторами с активным каналом обратного хода при выдаче в групповые кормушки				
Сухая рассыпная кормосмесь (W=12,1%)	0,19	0,97	0,088	0,042
Кормораздатчик на рельсовой тележке с барабанными дозаторами с подвижными лопатками в ячейках при выдаче в индивидуальные кормушки				
Влажная мешанка (W=66,0%)	1,70	3,90	0,165	0,136
Сухая рассыпная кормосмесь (W=12,1%)	1,05	2,10	0,105	0,135
Кормораздатчик на рельсовой тележке с барабанными дозаторами с подвижными лопатками в ячейках при выдаче в групповые кормушки				
Влажная мешанка (W=66,0%)	6,20	2,50	0,164	0,101
Сухая рассыпная кормосмесь (W=12,1%)	3,40	1,50	0,134	0,079
Кормораздатчик на пневматических колесах со шнековыми дозаторами с управляемой захватывающей способностью в зоне загрузочного окна при выдаче в групповые кормушки				
Влажная мешанка (W=66,0%)	3,59	2,51	0,115	0,101
Сухая рассыпная кормосмесь (W=12,1%)	1,96	1,52	0,093	0,116

Результаты и их обсуждение Анализ результатов показывает, что кормораздатчики могут выдавать сухие рассыпные кормосмеси и влажные мешанки в групповые и индивидуальные кормушки. Пределы регулирования подачи обеспечивают необходимую норму выдачи свиньям в соответствии с зоотехническими требованиями. Выдача корма дозирующими органами кормораздатчика регулируется в следующих пределах [1 – 4, 6 – 9]:

- подача кормораздатчика на рельсовой тележке со шнековыми дозаторами с активным каналом обратного хода от 0,19 до 0,97 кг/с;
- подача кормораздатчика на рельсовой тележке барабанными дозаторами с подвижными лопатками в ячейках от 1,50 до 6,20 кг/с;
- подача кормораздатчика на пневматических колесах со шнековыми дозаторами с управляемой захватывающей способностью в зоне загрузочного окна от 1,52 до 3,59 кг/с;
- норма выдачи кормораздатчиком на рельсовой тележке с барабанными дозаторами с подвижными лопатками в ячейках от 1,05 до 6,20 кг;
- энергозатраты кормораздатчика на рельсовой тележке со шнековыми дозаторами с активным каналом обратного хода при выдаче в индивидуальные кормушки от 0,099 до 0,116 Вт с/кг;
- энергозатраты кормораздатчика со шнековыми дозаторами с активным каналом обратного хода при выдаче в групповые кормушки от 0,042 до 0,088 Вт с/кг;
- энергозатраты кормораздатчика на рельсовой тележке с барабанными дозаторами с подвижными лопатками в ячейках при выдаче в индивидуальные кормушки от 0,105 до 0,165 Вт с/кг;

- энергозатраты кормораздатчика на рельсовой тележке с барабанными дозаторами с подвижными лопатками в ячейках при выдаче в групповые кормушки от 0,079 до 0,164 Вт с/кг;

- энергозатраты кормораздатчика на пневматических колесах со шнековыми дозаторами с управляемой захватывающей способностью в зоне загрузочного окна при выдаче в групповые кормушки от 0,093 до 0,116 Вт с/кг.

Заключение. Неравномерность выдачи корма кормораздатчиками, оснащенные модернизированными рабочими органами находилась в пределах зоотехнических требований и не превышала 5 %.

Показатели качества модернизированных кормораздатчиков объясняется исключением сводообразования в зоне загрузочного окна (шнековые дозаторы с управляемой захватывающей способностью в зоне загрузки и с активным каналом обратного хода), формированием дозы корма в ячейке с эффектом всасывания и очисткой ячеек при выгрузке (барабанные дозаторы с подвижными лопатками в ячейках).

Сравнительная оценка использования кормораздатчиков по показателю энергоэффективности (таблица 1) показывает, что более низкие затраты имеют кормораздатчики при выдаче в групповые кормушки, чем при выдаче в индивидуальные в среднем в 1,65 раза.

Список литературы

1. Ведищев С.М., Щедрин В.Т., Козлов А.В. Кормораздатчик для свиней // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1999. – №7. – С. 11 – 12.

2. Ведищев С.М., Щедрин В.Т., Козлов А.В. Кормораздатчик для свиней со шнековыми дозаторами // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2001. – Т.1. – №4. – С. 49 – 50.

3. Ведищев С.М., Прохоров А.В. Кормораздатчик с изменяющейся захватывающей способностью выгрузного шнека // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – №4. – С. 36 – 37.

4. Ведищев С.М. Обоснование конструктивно-технологической схемы кормораздатчика для свиней // I Научная конференция ТГТУ. Тез. докл. / Тамбов: Тамбовский гос. техн ун-т, 1994. – С. 116 – 117.

5. Ведищев С.М., Завражнов А.И., Капустин В.П., Прохоров А.В. Методика оценки эффективности технологических линий приготовления и раздачи кормов // Наука в центральной России. – 2018. – № 6 (36). – С. 35 – 42.

6. Ведищев, С.М. Механизация приготовления кормов [Электронный ресурс]: учебное пособие для бакалавров и магистров направления "Агроинженерия": в двух частях. Часть 1, Часть 2 / С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Милованов, А.В. Прохоров, Н.В. Хольшев. – Тамбов: ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2015. – 2 электрон. опт. диска (CD-ROM). – 109,1 Мб.

7. Ведищев С.М., Балахонова Д.Н., Сорокин В.В., Гарина М.А., Козлов А.В. Шнековый дозатор с каналом обратного хода // Наука в центральной России. – 5(17). – 2015. – С. 29 – 33.

8. Щедрин В.Т., Ведищев С.М. Кормораздатчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1995. – № 5,6. – С. 15 – 17.

9. Щедрин В.Т., Ведищев С.М. Кормораздатчик для свиней // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1993. – № 3. – С. 6 – 7.

References

1. Vedishhev S.M., Shhedrin V.T., Kozlov A.V. Kormorazdatchik dlya svinej // Mexanizaciya i e'lektrifikaciya sel'skogo xozyajstva. – 1999. – №7. – S. 11 – 12.

2. Vedishhev S.M., Shhedrin V.T., Kozlov A.V. Kormorazdatchik dlya svinej so shnekovymi dozatorami // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2001. – T.1. – №4. – S. 49 – 50.

3. Vedishhev S.M., Proxorov A.V. Kormorazdatchik s izmenyayushhejsya zaxvatyvayushhej sposobnost'yu vygruznogo shneka // Texnika v sel'skom xozyajstve. – 2007. – №4. – S. 36 – 37.

4. Vedishhev S.M. Obosnovanie konstruktivno-texnologicheskoj sxemy kormorazdatchika dlya svinej // I Nauchnaya konferenciya TGTU. Tez. dokl. / Tambov: Tambovskij gos. texn un-t, 1994. – S. 116 – 117.

5. Vedishhev S.M., Zavrazhnov A.I., Kapustin V.P., Proxorov A.V. Metodika ocenki e'ffektivnosti texnologicheskix linij prigotovleniya i razdachi kormov // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 6 (36). – S. 35 – 42.

6. Vedishhev, S.M. Mexanizaciya prigotovleniya kormov [E'lektronnyj resurs]: uchebnoe posobie dlya bakalavrov i magistrov napravleniya "Agroinzheneriya": v dvux chastyax. Chast' 1, Chast' 2 / S.M. Vedishhev, V.P. Kapustin, Yu.E. Glazkov, A.V. Milovanov, A.V. Proxorov, N.V. Xol'shev. – Tambov: FGBOU VPO "TGTU", 2015. – 2 e'lektron. opt. diska (CD-ROM). – 109,1 Mb.

7. Vedishhev S.M., Balaxonova D.N., Sorokin V.V., Garina M.A., Kozlov A.V. Shnekovyj dozator s kanalom obratnogo xoda // Nauka v central'noj Rossii. – 5(17). – 2015. – S. 29 – 33.

8. Shhedrin V.T., Vedishhev S.M. Kormorazdatchik // Mexanizaciya i e'lektrifikaciya sel'skogo xozyajstva. – 1995. – № 5,6. – S. 15 – 17.

9. Shhedrin V.T., Vedishhev S.M. Kormorazdatchik dlya svinej // Mexanizaciya i e'lektrifikaciya sel'skogo xozyajstva. – 1993. – № 3. – S. 6 – 7.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ведищев Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: serg666_65@mail.ru.

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

Прохоров Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: pav1981@bk.ru.

Бралиев Майдан Кабатаевич – кандидат технических наук, доцент ВАК Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана, Казахстан, г. Уральск, e-mail: aisheva.laura@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Vedischev Sergey – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: serg666_65@mail.ru.

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

Prokhorov Alexei – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: pav1981@bk.ru.

Braliev Maidan – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Higher Attestation Commission of the non profit JSC “Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University”, Uralsk, e-mail: aisheva.laura@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 17.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 19.02.2020

УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-21-27

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ МНЕНИЯ

[1]Тишанинов Николай Петрович

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Дана оценка существующих методов интегрирования мнения специалистов и субъектов производственных, социальных и рыночных отношений. Приведена систематизация*

методов интегрирования мнения. Обоснован выбор метода априорного ранжирования для решения задач управления сложными системами и планирования экспериментов. Сравнительная оценка методов выполнена по критериям объективности оценок исследуемых (управляемых) объектов. Дан анализ специфических особенностей применения методов интегрирования мнения при планировании физического эксперимента, прогнозировании событий и решении управленческих задач. Установлено, что стандартная процедура оценки весомости показателей сложных систем искажает ранговые оценки до 2-х раз, что снижает объективность их оценки и качество управления. Предложены математические преобразования, позволяющие откорректировать расчетные процедуры и получать оценки весомости показателей систем адекватные ранговым суммам. Обоснованы области применения методов интегрирования мнения в решении принятых государственных программ инновационного развития России. Уточнен порядок определения интегральной оценки инновационной привлекательности предприятия. Выяснены типичные недостатки использования метода априорного ранжирования на этапе формирования критериальной базы. Предложено не допускать одноуровневую оценку управляемых систем с избыточным перечнем показателей по причине существенного искажения оценок и ошибочности принятых на их основе управленческих решений. Предложены требования к оценочным показателям и изложены преимущества многоуровневой оценки систем при желательно ограниченном перечне показателей первого уровня.

Ключевые слова: *исследования, экспертные оценки, управление, весомость, показатели, ранжирование.*

PECULIARITIES OF SOLVING TASKS WITH APPLICATION OF OPINION INTEGRATION METHODS

[1]Tishaninov Nikolai

[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract*: The estimation of existing methods of integrating the opinions of specialists and subjects of production, social and market relations is given. Systematization of methods for integrating opinions is given. The choice of a priori ranking method for solving the problems of managing complex systems and planning experiments is justified. A comparative assessment of the methods is carried out according to the criteria of objectivity of assessments of the investigated (managed) objects. An analysis of the specific features of the application of methods of integrating opinions when planning a physical experiment, predicting events and solving managerial problems is given. It has been established that the standard procedure for assessing the weight of indicators of complex systems distorts rank estimates up to 2 times, which reduces the objectivity of their assessment and the quality of management. Mathematical transformations that allow you to adjust the calculation procedures and obtain estimates of the weight of the indicators of the systems adequate to the rank sums are proposed. Areas of application of the methods of integrating opinions in the decision of the adopted state programs of innovative development of Russia are justified. The procedure for determining the integral assessment of innovative attractiveness of an enterprise has been clarified. It is proposed not to allow a single-level assessment of managed systems with an excessive list of indicators due to a significant distortion of the estimates and the fallacy of management decisions made on their basis. The requirements to the estimated indicators are proposed and the advantages of a multi-level evaluation of systems are described with a preferably limited list of indicators of the first level.*

Keywords: *research, expert evaluations, weight, indicators, ranking.*

Введение. Рыночная экономика существует в условиях острой конкуренции товаропроизводителей. Сохранять свои позиции в конкурентной среде им невозможно без решения задач инновационного технологического развития. У Российских сельских товаропроизводителей по известным историческим причинам нет достаточного опыта производственной деятельности в рыночных условиях. Только с развитием рынка товаров, услуг и труда у руководителей и специалистов предприятий стали формироваться запросы на инновационное технологическое развитие. Отслеживая эти процессы, правительство России в

2009-2013 годах приняло к реализации ряд программ обеспечения продовольственной безопасности страны на период до 2020 года, опираясь на опережающее инновационное развитие сельхозпредприятий. Реализация этих инициатив при существенной государственной поддержке сельхозпредприятий позволила увеличить объемы производства – экспортные поставки сельскохозяйственной продукции России на мировой рынок достигли 25 млрд. долларов. Однако, намеченные планы выполнены лишь частично – мы, по-прежнему, отстаем от мирового уровня в технологическом развитии аграрного сектора. Хотя правительством с учетом фактического состояния АПК на начало планируемого периода ставилась скромная задача – поднять долю предприятий с инновационными технологиями с 2 до 10%. Для инновационного развития предприятия должны подготовить или привлечь компетентных специалистов, владеющих современными методами управления. В условиях, когда в стране не сформирован полноценный, востребованных аграриями-практиками рынок научно-прикладных разработок для сельского хозяйства, решать эти задачи сложно. Инновационное управление предприятиями базируются на кибернетических исследованиях, основу которых составляет априорное ранжирование и другие методы интегрирования мнения. Анализ практического применения этих знаний свидетельствует о грубых недочетах при формировании критериальной базы, нарушениях общепринятых требований к оценочным показателям, загрублении расчетных процедур. Поэтому, актуальность совершенствования методов решения управленческих задач, сомнений не вызывает.

Материалы и методы. В работе использован библиографический метод, расчетно-конструктивный, системного анализа.

Результаты и их обсуждение. Методы интегрирования мнения широко используются при планировании физического эксперимента, когда необходимо обосновать состав наиболее значимых факторов с различной метрологической основой для включения в план исследований, прогнозировании тенденций развития событий, решении задач управления техническими, технологическими, экономическими и другими сложными системами, когда необходимо определить относительные весомости элементов системы (разной природы) на каждом ее иерархическом уровне.

Все методы экспертных оценок предполагают интеграцию мнения специалистов и субъектов производственных, социальных и рыночных отношений. По форме организации работы экспертов они делятся на две группы: первая, когда экспертные оценки (мнения) получают при коллективной работе экспертов (метод комиссий, мозговая атака, метод суда); вторая, когда экспертные оценки (мнения) получают при индивидуальной работе экспертов (априорное ранжирование, метод Дельфи) [1].

Первая группа методов позволяет оперативно получать интегрированные оценки, но давление авторитета руководителя на группу экспертов, отсутствие строгих процедур выработки и принятия решений приводит к снижению их обоснованности и существенным ошибкам.

При получении экспертных оценок с использованием второй группы методов работу экспертов организует не руководитель, а специалист [1]. Подбор специалистов, этапы экспертной работы и проверка мнений на согласованность хорошо разработаны и регламентированы [1-3]. При решении важнейших задач управления сложными системами мнения экспертов корректируются по результатам их предварительной квалификационной оценки [4].

Из этой группы методов наиболее часто используется априорное ранжирование, так как метод Дельфи, предполагающий учет повторного мнения экспертов после их ознакомления с квантилями распределения оценок первого тура, не исключает чрезмерного влияния большинства на частное мнение. Тем более, что в случаях, когда повторные оценки выходят за пределы квантилей, от авторов этих оценок требуют письменных разъяснений. Реализация этой процедуры исключает половину оценок первого тура – такова степень влияния мнения большинства на последующие итерации.

Априорное ранжирование факторов физического эксперимента проводится с целью сокращения объема экспериментальных работ путем выделения факторов из общего числа, наиболее значимо влияющих на исследуемый процесс с его оценкой по обоснованным критериям [2]. При этом по результатам опроса экспертов суммируются ранговые оценки каждого фактора, и строится априорная диаграмма рангов с обратной шкалой сумм рангов и размером шкалы, превышающим максимальную сумму рангов.

Далее после проверки согласованности мнений экспертов по коэффициенту конкордации и небольшой серии отсеивающих экспериментов, экспериментатор с учетом материальных и технических возможностей отбирает наиболее значимые факторы для включения в план исследований. При этом ему нет необходимости устанавливать экспертным путем относительную значимость отобранных факторов. Она будет установлена после реализации и обработки экспериментов.

При ранжировании элементов систем управления волевые решения по отбору состава элементов на каждом иерархическом уровне ограничены требованиями к этим элементам. Они должны быть необходимыми для достижения цели системы, дополнять друг друга и обладать свойством непротиворечивости.

Кроме того, установление относительной весомости элементов системы должно быть обязательным. Это исходит из необходимости обеспечения эффективного управления системой. Однако стандартные процедуры расчета весомости элементов систем [1-3] искажают их ранговые оценки, что не исключает конфликтных ситуаций в управляемых производственных, социальных и других сложных системах.

Например, автор работы [1] приводит пример оценки 4-х элементов системы (производственной базы АТП) на 3-ем иерархическом уровне. В опросе участвовало 8 экспертов. По результатам экспертной оценки суммы рангов по элементам системы распределились следующим образом: 1-ый элемент – 11; 2-ой – 26; 3-ий – 27; 4-ый – 16. Весомость к – того элемента ($q_к$) рассчитывали по формуле [1-3]:

$$q_к \frac{2(к-М+1)}{к(к+1)}, \quad (1)$$

где M – место фактора по результатам ранжирования.

В соответствии с суммами рангов, приведенных выше, элементы системы распределились следующим образом по местам: 1-е место – 1-ый элемент; 2-е – 4-ый; 3-е – 2-ой; 4-е – 3-ий.

Расчетные значения весомости элементов системы, полученные по формуле (1), следующие в порядке убывания их мест: 1-ый элемент – 0,4; 4-ый – 0,3; 2-ой – 0,2; 3-ий – 0,1.

Из анализа ранговых оценок элементов системы и результатов расчета их весомости по стандартной процедуре следует очевидное противоречие. Оно заключается в том, что второй и третий элементы системы получили ранговые оценки (26 и 27), которые отличаются на 3,85 %, а весомости (0,2 и 0,1) – в 2 раза.

Кроме того, весомости ранжируемых элементов системы или факторов физического процесса убывают с ростом их числа по экспоненциальному закону, а в рассмотренном примере характер убывания линейный. Для исключения загрубления оценок весомости элементов системы необходимо уточнение процедуры расчета.

Для этой цели определим абсолютные весовые соотношения элементов системы по формуле:

$$q_i^{/} = \sum_1^4 \Delta к_m \,/\, \sum_1^4 a_{im} \quad (2)$$

где $q_i^{/}$ - абсолютное весовое соотношение i-го элемента системы;

$\sum_1^4 \Delta к_m$ – сумма рангов всех ($к$) элементов системы, назначенная всеми (m) экспертами;

$\sum_1^4 a_{im}$ – -сумма рангов, назначенная *i-му* элементу системы всеми (m) экспертами;

Рассчитанные по формуле (2) величины $q_i^{/}$ будут:

$$q_1^{/} = \frac{80}{11} = 7{,}27;\ q_4^{/} = \frac{80}{16} = 5;\ q_2^{/} = \frac{80}{26} = 3{,}08;\ q_3^{/} = \frac{80}{27} = 2{,}96.$$

Далее определяем сумму абсолютных весовых соотношений:

$$\sum_1^4 q_i^{/} = 7{,}27+5+3{,}08+2{,}96=18{,}31.$$

Затем определяем откорректированные значения весомости элементов системы:

$$q_к = q_i^{/} \,/\, \sum_1^4 q_i. \quad (3)$$

Расчетные значения весомости элементов системы будут:

$$\begin{cases} q_1 = 7{,}27/18{,}31 = 0{,}397; & q_4 = 5/18{,}31 = 0{,}273; \\ q_2 = 3{,}08/18{,}31 = 0{,}168; & q_3 = 2{,}96/18{,}31 = 0{,}162; \end{cases} \quad (4)$$

Из соотношений (4) видно, что откорректированные значения весомости элементов системы пропорциональны их суммарным ранговым оценкам.

Наиболее существенные ошибки по своим последствиям при решении управленческих задач характерны для этапов формирования оценочных показателей и их детализации.

Для оценки инвестиционной привлекательности автор работы [5] предлагает в качестве наиболее весомого показателя – «экономический потенциал подкомплекса АПК», а в качестве подпоказателей – «оценки уровня использования элементов потенциала подкомплекса». В этом случае очевидны различия в содержании оценок на разных уровнях.

В показатель конкурентоспособности автор [5] включил подпоказатель – «уровень цен в сравнении со среднеотраслевой». При этом неизвестно направление шкалы желательности для подпоказателя. Конкурентное преимущество оцениваемой организации в качестве продукции позволяет ему увеличить цену реализации и иметь дополнительный доход. Конкурентное преимущество организации в издержках производства продукции обеспечивает ему дополнительный доход от роста объема реализации продукции по сниженным ценам.

Кроме того, ошибочен выбор базы сравнения для уровня цен на продукцию – среднеотраслевой уровень. Для сельскохозяйственной продукции его (уровень) нужно понижать до регионального, где и формируется конкурентная среда.

По установленным интегральным значениям коэффициентов весомости подпоказателей методом априорного ранжирования автор работы [5] рассчитывает интегральный коэффициент инвестиционной привлекательности (КИПП) предприятия по формуле:

$$\text{КИПП} = \sum_{i=1}^{n} \text{к}_i \, x_i / \text{x}_{max}, \quad (5)$$

где i = 1, 2, 3…n – количество подпоказателей;

к_i – интегральный коэффициент весомости i-го подпоказателя;

x_i – бальная оценка i-го подпоказателя;

x_{max} – максимально возможное суммарное количество баллов.

Формула (5) для определения интегральных оценок является общепринятой по своей структуре, но величина x_{max} не может быть вполне определенной. В этих случаях чаще всего используют произвольно назначенную, но вполне конкретную базу сравнения. Важно ее сохранять постоянной на период активных организационных реформ предприятия и в целях текущей мотивации труда участников производства.

Аналогичные недостатки авторы допускают при разработке важнейших для современного этапа развития России направлений прогресса – опережающего инновационного развития. Это направление развития предусмотрено стратегией «Инновационная Россия – 2020» и государственной программой развития сельского хозяйства [6]. В рыночной экономике это направление развития позволяет сохранять предприятиям свои конкурентные позиции. В европейских странах 85 % ВВП формируется за счет инновационных технологий [7]. В России еще не сформировались традиции инновационного развития – нам еще предстоит поднять долю предприятий с инновационными технологиями с 2 до 10 % [7], поэтому научная проработка вопросов инновационной деятельности является весьма актуальной.

Попытка авторов [8] предложить сельхозпредприятиям научно обоснованную систему показателей оценки уровня инновационной активности заслуживает внимания, но содержит ряд недостатков и отклонений от требований к методам априорного ранжирования [1-3].

Показателей инновационной активности много – их 10. Диапазон весомостей составляет 0,065 – 0,135. У трех показателей весомость составляет 0,09. В тоже время индивидуальные оценки экспертами произведены попарным сравнением показателей (x_i и x_j). По результатам сравнения получали весомости показателей (C_i и C_j), которые вносили в матрицу: если $x_i > x_j$, то $C_i = 1{,}5$, а $C_j = 0{,}5$; если $x_i = x_j$, то $C_i = C_j = 1$; если $x_i < x_j$, то $C_i = 0{,}5$, а $C_j = 1{,}5$.

Из приведенной процедуры назначения оценок экспертами видно, что она загрубляет оценки показателей инновационной активности. Она не адекватна конечным результатам оценки весомости показателей, которые получены сглаживанием случайных назначений экспертов. При большом количестве оценочных показателей процедура их попарного сопоставления является вынужденной и неоправданной.

Авторами нарушены общие требования к оценочным показателям: независимость, объективность, информативность, необходимость. Требование «необходимости» относительно конкретного показателя вытекает из того, что он должен дополнять другие оценки и характеризовать существенные свойства оцениваемого объекта (явления).

Вместе с тем, например, частный показатель − «интенсивность ведения инновационной деятельности за последние три года» практически дублирует интегральные свойства оцениваемого объекта по целевой функции – «повысить уровень инновационной активности предприятия». Весомость этого показателя составляет 0,105, она меньше (?) весомости трех других показателей – (0,135; 0,130; 0,120). Этот аргумент является убедительным подтверждением несостоятельности предложенных авторами [8] процедур реализации априорного ранжирования.

Кроме того, авторы в составе оценок объекта предлагают сомнительный показатель – «наличие и интенсивность использования работников и структурных подразделений, занимающихся созданием и внедрением нововведений». Он не соответствует требованиям необходимости и объективности. Если и существуют такие подразделения, что вызывает сомнение, то поверить в их возможности конкурировать в инновационных разработках с ведущими отечественными и зарубежными фирмами невозможно.

Для решения очень важных и новых задач управления инновационной деятельностью на первичном уровне следовало бы выделить основные показатели ее оценки, характеризующие: квалификацию специалистов; опыт внедрения инноваций; информационное обеспечение; целевое финансовое обеспечение. Далее необходимо произвести детализацию основных показателей на подпоказатели по аналогии с работами [4-5] и в соответствие вышеизложенным требованиям. Детализация оценок и учет предложенных требований повышает объективность оценок и последующую результативность инновационной деятельности управляемых структур.

Обоснование весомости (вклада) элементов сложных систем с использованием метода априорного ранжирования необходимо производить с кратностью детализации оценки показателей, пропорциональной числу иерархических уровней системы (числу ярусов дерева систем). Структурный вклад (весомость) подсистемы второго уровня (C_{011}^{2}) через подсистему первого уровня (C_{01}^{1}) и подцель ($Ц_{01}^{1}$) в достижение генеральной цели ($Ц^{0}$) определяется по формуле:

$$Q(C_{011}^{2}C_{01}^{1}/Ц_{01}^{1}) = a_{111}a_{11}r_{01}^{0}, \quad (6)$$

где a_{111}, a_{11} - весомости (вклады) подсистем – дуги (а);

r_{01}^{0} - вклад первой подцели в достижение генеральной цели дуга (r).

Сумма весомостей (вкладов) подсистем (подцелей) на каждом иерархическом уровне равна 1. Число иерархических уравнений системы определяется задачами и качеством управления. Например, производственная систем с двухуровневой подчиненностью при совершенствовании стимулирования труда и распределений фонда зарплаты должна быть представлена двухуровневой системой оценочных показателей. Чем детальнее рассматривается и оценивается система, тем выше качество ее управления.

Выводы. Априорное ранжирование факторов физического эксперимента при учете мнений экспертов и небольшой серии отсеивающих экспериментов не требует установления их (включенных в план) относительной весомости после исключения из состава малозначащих факторов. Стандартная процедура расчета весомости элементов сложных систем по суммам рангов искажает ранговые оценки (до 2-х раз) и требует корректировки с помощью дополнительных математических преобразований. При решении задач управления методы интегрирования мнения и качество принятых на их основе решений дискредитируются назначением большего количества одноуровневых оценок и неопределенностью шкал желательности. Необходима системная (многоуровневая) детализация оценок и соблюдение предложенных требований к подпоказателям.

Список литературы

1. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами. – М.: Ротапринт МАДИ-ТУ. – 2003. – 248 с.

2. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. - 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос: Ленингр. отд-ние. −1980. – 166 с.

3. ОСТ 70.2.30-78. Испытания сельскохозяйственной техники. Комплексная оценка машин. Программа и методы. – М.: Изд-во Госкомсельхозтехники СССР. − 1979. – 137 с.

4. Тишанинов Н.П., Гаспарьян В.Г. Оценка квалификации обслуживающего персонала в животноводстве // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. − № 9. – С. 21-22.

5. Ильина Е. Интегральный показатель оценки инвестиционной привлекательности // Экономика сельского хозяйства России. – 2012. – № 11. – С. 49-55.

6. Государственная программа «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы» [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.mcx.ru, свободный (дата обращения: 16.01.2020).

7. Матвейкин И.В., Извозчикова В.В. Информационные технологии управления техническим сервисом в АПК // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 12. – С. 38-40.

8. Закшевский В., Новиков В. Оценка инновационной активности сельхозорганизаций // АПК: Экономика, управление. – 2011. – № 12. – С. 67-71.

References

1. Kuznecov E.S. Upravlenie tekhnicheskimi sistemami. – M.: Rotaprint MADI-TU. – 2003. – 248 s.

2. Mel'nikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. Planirovanie eksperimenta v issledovaniyah sel'skohozyajstvennyh processov. - 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Kolos: Leningr. otd-nie. −1980. – 166 s.

3. OST 70.2.30-78. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Kompleksnaya ocenka mashin. Programma i metody. – M.: Izd-vo Goskomsel'hoztekhniki SSSR. − 1979. – 137 s.

4. Tishaninov N.P., Gaspar'yan V.G. Ocenka kvalifikacii obsluzhivayushchego personala v zhivotnovodstve // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 1985. − № 9. – S. 21-22.

5. Il'ina E. Integral'nyj pokazatel' ocenki investicionnoj privlekatel'nosti // Ekonomika sel'skogo hozyajstva Rossii. – 2012. – № 11. – S. 49-55.

6. Gosudarstvennaja programma «Razvitie sel'skogo hozjajstva i regulirovanie rynkov sel'skohozjajstvennoj produkcii, syr'ja i prodovol'stvija na 2013-2020 gody» [Jelektronnyj resurs] // Rezhim dostupa: http://www.mcx.ru, svobodnyj (data obrashhenija: 16.01.2020).

7. Matvejkin I.V., Izvozchikova V.V. Informacionnye tekhnologii upravleniya tekhnicheskim servisom v APK // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2011. – № 12. – S. 38-40.

8. Zakshevskij V., Novikov V. Ocenka innovacionnoj aktivnosti sel'hozorganizacij // APK: Ekonomika, upravlenie. – 2011. – № 12. – S. 67-71.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Author credentials

Affiliations

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

Поступила в редакцию (Received): 20.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2020

УДК 631.303
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-27-35

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

[1]Тишанинов Константин Николаевич

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Детально рассмотрены основные проблемы современной послеуборочной очистки зерна. На основе анализа литературных источников выявлены следующие проблемы послеуборочной очистки зерна: повышенная влажность зерна из-за метеорологических или природно-климатических условий; избыточная засоренность вороха сорными и органическими примесями; хранение некондиционного зерна, при котором происходит его порча; морально и*

технически устаревшее оборудование, из-за которого приходится повторно очищать зерно; травмирование зерна рабочими органами зерноочистительных агрегатов. Установлено, что доочистка зерна представляет проблему для зернопроизводителя на всех стадиях его производства: начиная с некондиционного состояния комбайного вороха и заканчивая технически устаревшим оборудованием. Показано, что поступившее на доочистку зерно необходимо в кратчайшие сроки очистить от не зерновых примесей и довести влажность зерна до кондиций, отвечающим требованиям ГОСТ, так как засоренный или с повышенной влажностью ворох быстро портится из-за активного дыхания зерна, связанного с размножением в нем микроорганизмов. Установлено, что предварительная доочистка зерна может привести к излишнему травмированию зерна, что приводит к низкими показателями полевой и лабораторной всхожести. Рекомендовано разработчикам зерноочистительного оборудования разработать машину для первичной очистки зерна, способной за один технологический пропуск довести комбайновый ворох до требуемых ГОСТ'ом кондиций по чистоте.

Ключевые слова: *послеуборочная очистка зерна, эффективность очистки, травмирование зерна.*

PROBLEMS OF MODERN POST-HARVEST GRAIN CLEANING

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

Abstract. *The main problems of modern post-harvest grain cleaning are examined in detail. The following problems of post-harvest grain cleaning are identified on the basis of literature analysis: increased grain moisture due to meteorological or climatic conditions; excessive clogging of the pile with weeds and organic impurities; storage of substandard grain, during which spoilage occurs; morally and technically obsolete equipment, because of which it is necessary to re-clean the grain; trauma to the grain by the working bodies of grain cleaning units. It has been established that the post-treatment of grain is a problem for the grain producer at all stages of its production: starting from the substandard condition of the combine heap and ending with technically obsolete equipment. It was shown that the grain received for post-treatment needs to be cleaned of non-grain impurities as soon as possible and the grain moisture should be brought to the conditions that meet the requirements of GOST, since the heap clogged or with high humidity quickly deteriorates due to the active respiration of the grain associated with the multiplication of microorganisms in it. It has been established that preliminary post-treatment of grain can lead to excessive injury to the grain, which leads to low field and laboratory germination rates. It was recommended that the developers of grain cleaning equipment develop a machine for primary grain cleaning, capable of bringing the combine heap to the required cleanliness standards in one process pass.*

Keywords: *post-harvest grain cleaning, cleaning efficiency, grain injury.*

Введение. Послеуборочная очистка зерна является конечной стадией его производства, от эффективности которой зависит товарная ценность конечного продукта: продовольственного зерна и семенного материала. Чтобы обеспечить стойкость зерну при его хранении, свежеубранный зерновой ворох необходимо в кратчайшие сроки очистить от примесей и довести влажность до требуемых кондиций. В процессе послеуборочной очистки зерна происходит его сепарирование по трем физико-механическим свойствам на фракции семян, продовольственного зерна, фуража и отходов. Урожайность посевов напрямую зависит от качества полученных при очистке и сортировании семян. Стоимость полученного продовольственного зерна также зависит от его качественного состава. Поэтому послеуборочная очистка зерна является ключевым фактором, определяющим рентабельность всего цикла производства зерна.

Несмотря на высокие требования к качеству семян и продовольственного зерна, доработка вороха происходит на морально и технически устаревшем оборудовании. Старая техника не соответствует требованиям к зерноочистительным машинам, что приводит к многократному пропуску комбайнового вороха через машины первичной очистки зерна. Полученное таким способом зерно не соответствует ГОСТам. Эти факты говорят о актуальности создания

зерноочистительной техники способной за один технологический пропуск довести комбайновый ворох до необходимых кондиций, отвечающим требованиям ГОСТ, а также выбрать из очищенного зерна качественный семенной материал.

Результаты и обсуждение. Зерновой ворох, поступающей на послеуборочную очистку, представляет собой смесь из зерна основной культуры, сорных растений и зерен других культур; битых и дробленых зерен; пыли, песка, комочков земли; соломы, половы, обрывков стеблей, обломков колоссов и других примесей (таблица 1, [1]).

Таблица 1 – Состав комбайнового вороха

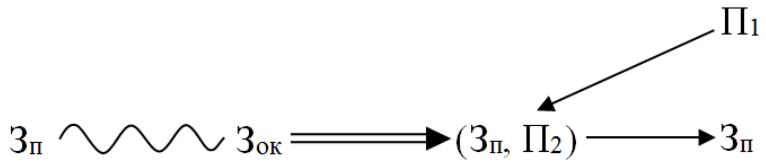
Наименование	Процентное содержание, %
Зерновая примесь, из них: - щуплое зерно -дробленое зерно	8,832 0,356 8,416
Сорная примесь, из них: - органический сор - минеральный сор - семена сорняков	3,636 1,229 0,045 2,389
Зерно основной культуры	87,505

Выделение чистого зерна из зернового вороха происходит за счет различия их физико-механических свойств: геометрических размеров, коэффициента трения, формы, коэффициента парусности, скорости витания, плотности, удельной массе, упругости, цвета, электропроводности и других (таблица 2, [2]). Появление новых сортов зерновых культур требует исследования их физико-механических свойств [3].

Таблица 2 – Физико-механические свойства зерновых культур

Наименование	Размеры семян, мм			Скорость витания	Удельный вес, г/см^3	Масса 1000 зерен, г
	толщина	ширина	длина			
Пшеница	1,5…3,8	1,6…4,0	4,2…8,6	8,9…11,5	1,2…1,5	22…42
Рожь	1,2…3,5	1,4…3,6	5,0…10,0	8,4…10,5	1,2…1,5	13…32
Ячмень	1,4…4,5	2,0…5,0	7,0…14,6	8,4…10,8	1,3…1,4	31…51
Овес	1,2…3,6	1,4…4,0	8,0…18,6	7,0…9,0	1,2…1,4	20…42
Рис	1,2…2,8	2,5…4,3	5,0…12,0	9,5…10,1	1,1…1,2	24…31
Кукуруза	2,5…8,0	5,0…11,5	5,5…13,5	9,8…17,0	1,3…1,4	286
Гречиха	2,0…4,2	3,0…5,2	4,4…8,0	2,5…9,5	1,2…1,3	23,5
Просо	1,0…2,2	1,2…3,0	1,8…3,2	2,5…9,5	0,8…1,2	6…6,5

Задачу сортирования можно представить в виде схемы (такого вида схемы предложены Альтшеллером А.Г. [4] в дополнение к вепольному анализу) (рисунок 1):



$З_{ок}$ – зерна основной культур; $З_п$ – примесь; $З_{ок}$+$З_п$ – зерновой ворох; $П_1$,$П_2$–поле.

Рисунок 1 – Схема выделения чистого зерна

Разделение зерновой смеси происходит в поле действия сил – П, например, аэродинамических ($П_1$ – воздушный поток, $З_п$– легкая примесь); или под действием гравитационной силы ($П_1$) на колосовом решете ($П_2$) решетной машины выделяется крупная примесь ($З_п$).

Зачастую физико-механические свойства примеси пересекаются в большой степени со свойствами основной культуры. В таких случаях говорят о трудноотделимых примесях. Наиболее распространенные из них (для пшеницы) – курай, татарская гречишка и галька. Их выделение происходит по признаку, который в наибольшей степени отличает основную культуру от примеси. Например (рисунок 2, [2, 20]), семена льна можно отделить от шпергеля по ширине на решетной машине с круглыми отверстиями, а по длине в триерном блоке можно выделить обе сорные примеси, но с потерей льна.

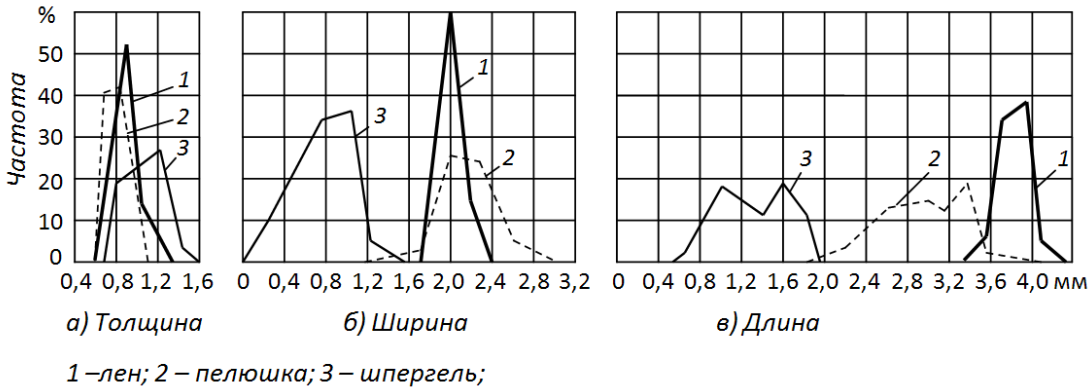


Рисунок 2 – Вариационные кривые семян льна, шпергеля и пелюшки

Качество получаемых зерна и семян регламентируется ГОСТами (таблицы 3, 4). Класс зерна зависит от влажности, чистоты, всхожести, зерновой и сорной примесей, наличия вредителей и болезней.

Таблица 3 – ГОСТ Р 9353-2016. Пшеница. Технические условия

Наименование показателя	Характеристика и ограничительная норма для мягкой пшеницы класса				
Типовой состав	1-го	2-го	3-го	4-го	5-го
Цвет	Допускается первая степень обесцвеченности		Допускается первая и вторая степень обесцвеченности	Допускается любая степень обесцвеченности и потемневшая	
Запах	Свойственный здоровому зерну пшеницы, без плесневого, солового, затхлого и других посторонних запахов				
Массовая доля белка, % на сухое вещество, не менее	14,5	13,5	12	10,0	Не ограничивается
Массовая доля сырой клейковины, % , не менее	32,0	28,0	23,0	18,0	Не ограничивается
Стекловидность, %, не менее	60	60	40	Не ограничивается	
Натура, г/л, не менее	750	750	730	710	Не ограничивается
Массовая доля влаги, %, не более	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Сорная примесь, %, не более	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Зерновая примесь, %, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Таблица 4 – ГОСТ Р52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений (пшеница). Сортовые и посевные качества.

Категория семян	Сортовая чистота, % не менее	Поражение посева головней, % не более	Чистота семян, %, не менее	Содержание семян других растений, шт/кг, не более		Примесь, %, не более		Всхожесть %, не менее
				всего	в т.ч. сорных	головневых образований	склероций спорыньи	
ОС	99,7	0/0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1/0	99,0	10	5	0	0,1	92
РС	98,0	0,3/0,1	98,0	50	20	0,002	0,3	92
$С_т$	97,0	0,5/0,3	97,0	100	70	0,002	0,5	87

Одной из проблем послеуборочной очистки зерна является некондиционная влажность комбайнового вороха, которая зависит от метеорологических условий и природно-климатических условий региона, в котором происходит уборка зерна. Зернопроизводящие регионы разделяют на три группы: сухие (влажность < 15 %), средней влажности (влажность < 20 %), повышенной влажности (влажность > 20 %). Наибольшую трудность представляют Сибирский, Центральный Нечерноземный, Северо-Западный, Уральский и Волго-Вятский регионы. Так в западной Сибири более 70 % поступающего на обработку зерна имеют некондиционную влажность [5]. Влажность зерна регулирует его жизнедеятельность и является ключевым фактором, определяющим его сохраняемость.

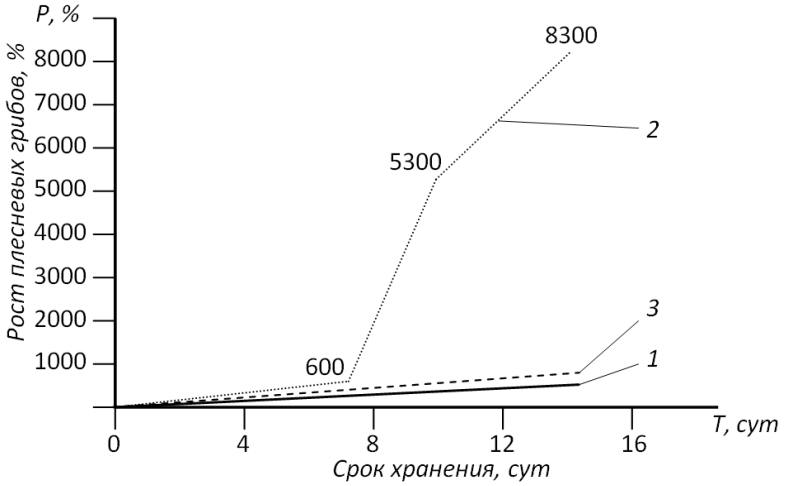
Повышенная влажность вороха увеличивает интенсивность дыхания [6, 19]. Под дыханием зерна понимается процесс, при котором часть питательных веществ зерна (глюкоза) превращается в углекислоту и воду, высвобождая при этом 667 калорий в виде теплоты.

При дыхании зерна в отсутствии кислорода (интермолекулярном дыхании) образуется спирт. Спирт улетучивается при нагревании вместе с водой, либо превращается в уксус при проветривании в результате окисления бактериями. При пониженной температуре зерно храниться дольше, так как снижены скорости химических и биохимических процессов [7].

Прорастание зерна бывает только в случае его повышенной влажности. От влаги зерно набухает и приобретает форму «молочной спелости», внутри зерна активизируются ферменты (цитаза) и оно начинает прорастать. Питательные вещества (белки, жиры, углеводы) в большом количестве потребуются для роста зародыша. Внутренняя часть зерна меняется, сначала превращаясь в белую и клейкую массу, из которой образуется жидкая масса. Если высушить такое зерно, то получится солод. Оболочку зерна разрывает главный корень, немного выходя из нее (глазок). Главный корень развивается в длину и дает боковые отростки, затем растет стебелек (росток). Мука из проросших зерен из-за отсутствия в ней клейковины теряет хлебопекарные свойства. Проросшие зерна скорее теряют свою свежесть под действием грибов и микроорганизмов, заражая при этом обычные зерна.

Развитию микроорганизмов способствует также нарушение целостности зерновки (микротравмирование). Как видно на рисунке 3 [8] – в случае, когда зерно имеет трещину, микроорганизмы, в том числе и микроскопические грибы, размножаются в геометрической прогрессии. Основной средой для обитания микроорганизмов являются засорители, дробленные и поврежденные зерна.

Плохо очищенное зерно, содержащее кусочки стеблей, листьев и сорняков высокой влажности, повышает свою влажность на 2 – 4 % в первые 6 часов хранения [9]. Причем сорная примесь даже с нормальной влажностью (до 15 %), от которой своевременно не очистили ворох, существенно снижает качество исходного зерна. Для получения высококачественных семян необходима своевременная очистка от крупных и мелких засорителей, щуплого и дробленного зерна, и при необходимости – сушка зерна.



1 – целые зерна; 2 – зерна с механическими повреждениями оболочки; 3 – трещиноватые зерна

Рисунок 3 – Рост плесневых грибов в зерне кукурузы влажностью 18 %

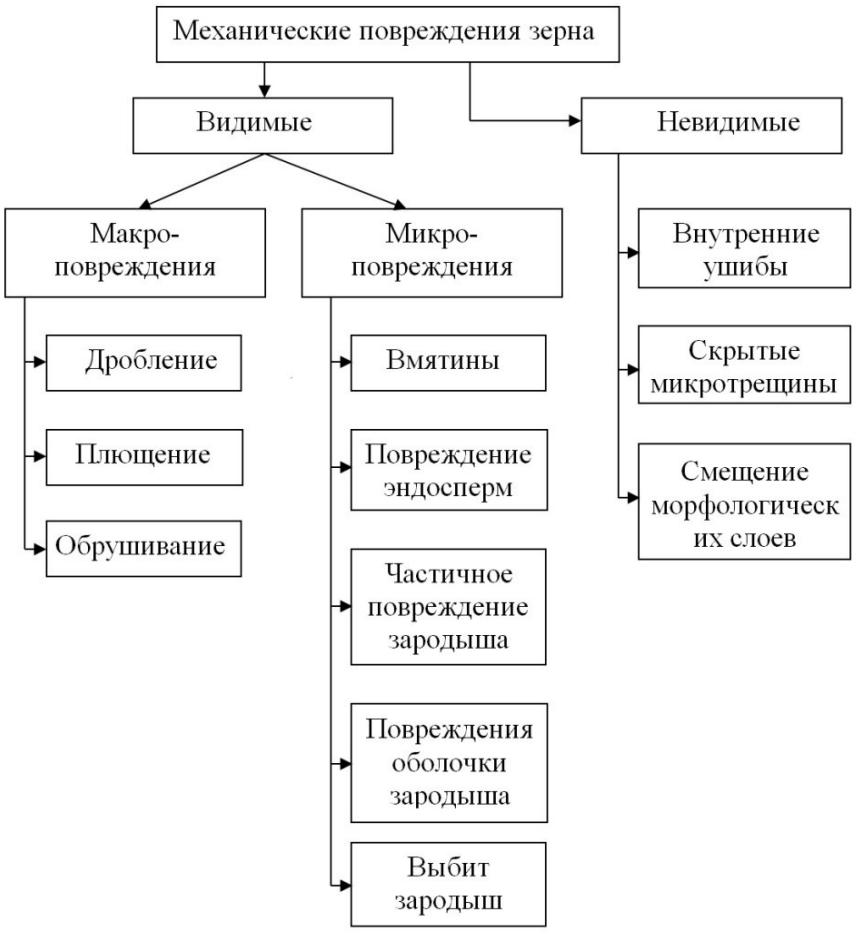


Рисунок 4 – Классификация повреждений зерна при его очистке

Поэтому послеуборочная обработка зерна должна решать следующие задачи:

− обеспечение стойкости зерна для его длительного хранения;

− доведение зернового вороха до требуемых кондиций по чистоте;

− выделение из массы чистого зерна фракции семян, соответствующих требованием к посевному материалу.

Дополнительно необходимо:

− минимизировать потери чистого зерна в фураж и отходы;

− минимизировать травмирование зерна.

Микро- и макротравмирование семян твердой пшеницы за один пропуск через зерноочистительный агрегат ЗАВ-40 в среднем составляет 80 – 85 % (по данным профессора И.Г. Строны) [8]. Вторичный пропуск повредит оставшиеся 15 – 20 % семян с вероятностью 80 – 85 % и повысит, таким образом, уровень микротравмирования до 96,0 – 97,75 %. Тем не менее, всхожесть таких травмированных семян достаточно высокая. Она совпадает с всхожестью целых зерен и относиться к кондиционным. Такие зерна не являются поврежденными и слабо влияют на недобор будущего урожая. Степень повреждения зерна зависит как от прочности зерновки, так и от силы механического повреждения рабочими органами машины (сдвиг, удар, трение, сжатие) [10]. Повреждения зерновок можно классифицировать как показано на рисунке 4 [11].

Рассмотрим стадии послеуборочной очистки зерна и их влияние на травмирования зерна [8], таблица 5.

Таблица 5 – Повреждение зерна ячменя и овса во время послеуборочной обработки

Оборудование	Количество поврежденного зерна, %	
	Ячмень	Овес
Приемное устройство бункерного типа	0,67	1
Транспортер загрузочный ЗАВ-50	2,75	2,83
Нория зерновая НПЗ-50	3,5	4,5
Машина предварительной очистки МПО-50	0,08	0,17
Отделение временного хранения	0,92	1,5
Транспортер передаточный ЗАВ-50	3,58	3,75
Нория зерновая	3,33	3,75
Машина вторичной очистки зерна МВО-20	2,84	2,17
Блок триерный	2	2,33
Бункер готовых семян. Выгрузка в автомашину	0,42	0,08

Как видно из таблицы 5, травмирование при повторном пропуске зерна через машину предварительной очистки составляет 0,08 % и им можно пренебречь. Наибольшие повреждения зерно получает при транспортировке зерна транспортером и норией. Поэтому проблему травмирования зерновок может решить применение щадящих норий в составе зерноочистительного оборудования.

Послеуборочная очистка зерна не является самой затратной (таблица 6 [12]), но от качества ее проведения зависит рентабельность всего цикла производства зерна. Несмотря на высокие требования к качеству семян и продовольственного зерна [13 – 18], послеуборочная обработка зерна часто происходит на морально и технически устаревшем оборудовании.

Таблица 6 – Затраты при производстве зерна

Стадии производства зерна	Приведенные затраты, %	Затраты труда, %
Основная обработка почвы	12,6	24,7
Предпосевная обработка почвы и посев	5,8	6,7
Уход за посевами	8,0	9,7
Уборка зерна	35,6	22,1
Уборка незерновой части урожая	17,1	29,3
Послеуборочная обработка зерна	20,9	7,5

Заключение. Старая техника не соответствует требованиям к зерноочистительным машинам, что приводит к многократному пропуску комбайнового вороха через машины первичной очистки зерна. Полученное таким способом зерно не соответствует ГОСТам. Низкое качество посевного

материала снижает будущие урожаи, а продовольственное зерно обладает низкой товарной ценностью. Эти факты говорят о необходимости создания зерноочистительной техники способной за один технологический пропуск довести комбайновый ворох до необходимых кондиций, отвечающим требованиям ГОСТ, а также выбрать из очищенного зерна качественный семенной материал.

Список литературы

1. Московский М.Н. Интенсификация процесса сепарации семян зерновых в зерноочистительных агрегатах // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) – Ростов-на-дону, 2005. – 218 с.
2. Машины для послеуборочной поточной обработки семян: Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов / под ред. З.Л. Тица. – Москва: Машиностроение, 1967. – 447 с.
3. Логинов С.Л. Повышение эффективности функционирования универсальной зерноочистительной машины путем совершенствования технологического процесса // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) – Киров, 2001. – 188 с.
4. Альтшуллер Г.С. Найти идею: введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач – Москва: Альпина Паблишер, 2011. – 400 с.
5. Бутовченко А.В. Интенсификация процесса сепарации зерновых материалов в отделении очистки семяочистительного агрегата // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) – Ростов-на-Дону, 2008 – 235 с.
6. Оробинский В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для ее реализации // Дисс. док. с-х. наук. (05.20.01) – Воронеж, 2007. – 334 с.
7. Суворов Н.С. Зерноведение / под ред. д-ра биол. наук проф. Н. П. Козьминой. – Москва: Заготиздат, 1950. – 216 с.
8. Русских В. Уменьшая травмирование зерна, повышаем его урожайность // Комбикорма. – 2010. – № 7. – С. 51 – 53.
9. Ямпилов С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 262 с.
10. Турчин В.С. Обоснование конструктивно-режимных параметров элеваторов ковшового типа для транспортировки сыпучих материалов // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) – Оренбург, 2005. – 187 с.
11. Бедыч Т.В. Обоснование скорости движения ковшового элеватора, направленное на снижение травмирования зерна // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) – Оренберг, 2009. – 154 с.
12. Шелков М.В. Интенсификация процесса сепарации зерна в отделении очистки зерноочистительного агрегата. // Дис. канд. техн. наук. (05.20.01) – Ростов-на-дону, 2001. – 297 с.
13. Строна И.Г. Промышленное семеноводство. М.: Колос, 1980. – 287 с.
14. Гуляев Г.В., Николаев Г.С., Болдырев М.В. Производство семян на промышленной основе. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 223 с.
15. Производство оригинальных семян сельскохозяйственных культур в условиях северо-востока Кавказа. Применение Экибастузских бурых углей в качестве гуминовых удобрений. Астана, 2010. – 31 стр.
16. Аринов К.К., Шестокова Н.А. Агрономические основы семеноведения и семенного контроля на севере Казахстана. Астана, 2006. – 108 с.
17. Хавыев А.А. Повышение эффективности очистки элитных семян пшеницы от низконатурных примесей путем разработки семеочистительной приставки производительностью 1 т/ч. // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) – Пермь, 2004. – 213 с.
18. Дринча В.М. Разделение семян на плоских решетах при нисходящем воздушном потоке // Механизация и электрификация селеского хозяйства. – 1997. – № 11. – С. 29 – 31.
19. Саитов В.Е. Повышение эффективности функционирования зерноочистительных машин путем совершенствования их основных рабочих органов и пневмосистем с фракционной сепарацией // Дисс. докт. техн. наук. (05.20.01) – Киров, 2013. – 519 с.
20. Ульрих Н.Н. Методы изучения изменчивости физико-механических свойств составных частиц семенных смесей. // Механизация сельского хозяйства. – 1965. – №4.

References

1. Moskovskij M.N. Intensifikacija processa separacii semjan zernovyh v zernoochistitel'nyh agregatah // Diss. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Rostov-na-donu, 2005. – 218 s.

2. Mashiny dlja posleuborochnoj potochnoj obrabotki semjan: Teorija i raschet mashin, tehnologija i avtomatizacija processov / pod red. Z.L. Tica. – Moskva: Mashinostroenie, 1967. – 447 s.

3. Loginov S.L. Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovanija universal'noj zernoochistitel'noj mashiny putem sovershenstvovanija tehnologicheskogo processa // Diss. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Kirov, 2001. – 188 s.

4. Al'tshuller G.S. Najti ideju: vvedenie v TRIZ – teoriju reshenija izobretatel'skih zadach – Moskva: Al'pina Pablisher, 2011. – 400 s.

5. Butovchenko A.V. Intensifikacija processa separacii zernovyh materialov v otdelenii ochistki semjaochistitel'nogo agregata // Diss. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Rostov-na-Donu, 2008 – 235 s.

6. Orobinskij V.I. Sovershenstvovanie tehnologii posleuborochnoj obrabotki semjan frakcionirovaniem i tehnicheskih sredstv dlja ee realizacii // Diss. dok. s-h. nauk. (05.20.01) – Voronezh, 2007. – 334 s.

7. Suvorov N.S. Zernovedenie / pod red. d-ra biol. nauk prof. N. P. Koz'minoj. – Moskva: Zagotizdat, 1950. – 216 s.

8. Russkih V. Umen'shaja travmirovanie zerna, povyshaem ego urozhajnost' // Kombikorma. – 2010. – № 7. – S. 51 – 53.

9. Jampilov S.S. Tehnologicheskoe i tehnicheskoe obespechenie resurso-jenergosberegajushhih processov ochistki i sortirovanija zerna i semjan – Ulan-Udje: Izd-vo VSGTU, 2003. – 262 s.

10. Turchin V.S. Obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov jelevatorov kovshovogo tipa dlja transportirovki sypuchih materialov // Diss. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Orenburg, 2005. – 187 s.

11. Bedych T.V. Obosnovanie skorosti dvizhenija kovshovogo jelevatora, napravlennoe na snizhenie travmirovanija zerna // Diss. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Orenberg, 2009. – 154 s.

12. Shelkov M.V. Intensifikacija processa separacii zerna v otdelenii ochistki zernoochistitel'nogo agregata. // Dis. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Rostov-na-donu, 2001. – 297 s.

13. Strona I.G. Promyshlennoe semenovodstvo. M.: Kolos, 1980. – 287 s.

14. Guljaev G.V., Nikolaev G.S., Boldyrev M.V. Proizvodstvo semjan na promyshlennoj osnove. – M.: Rossel'hozizdat, 1979. – 223 s.

15. Proizvodstvo original'nyh semjan sel'skohozjajstvennyh kul'tur v uslovijah severo-vostoka Kavkaza. Primenenie Jekibastuzskih buryh uglej v kachestve guminovyh udobrenij. Astana, 2010. – 31 str.

16. Arinov K.K., Shestokova N.A. Agronomicheskie osnovy semenovedenija i semennogo kontrolja na severe Kazahstana. Astana, 2006. – 108 s.

17. Havyev A.A. Povyshenie jeffektivnosti ochistki jelitnyh semjan pshenicy ot nizkonaturnyh primesej putem razrabotki semeochistitel'noj pristavki proizvoditel'nost'ju 1 t/ch. // Diss. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Perm', 2004. – 213 s.

18. Drincha V.M. Razdelenie semjan na ploskih reshetah pri nishodjashhem vozdushnom potoke // Mehanizacija i jelektrifikacija seleskogo hozjajstva. – 1997. – № 11. – S. 29 – 31.

19. Saitov V.E. Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovanija zernoochistitel'nyh mashin putem sovershenstvovanija ih osnovnyh rabochih organov i pnevmosistem s frakcionnoj separaciej // Diss. dok. tehn. nauk. (05.20.01) – Kirov, 2013. – 519 s.

20. Ul'rih N.N. Metody izuchenija izmenchivosti fiziko-mehanicheskih svojstv sostavnyh chastic semennyh smesej. // Mehanizacija sel'skogo hozjajstva. – 1965. – №4.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Author credentials

Affiliations

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

Поступила в редакцию (Received): 30.12.2019 Принята к публикации (Accepted): 03.02.2020

УДК 631.331:633.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-36-43

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАРУБЕЖНОГО АГРЕГАТА НА ПОСЕВЕ СОИ ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ ПО РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

[1,2]Завражнов Анатолий Иванович
[2]Зазуля Александр Николаевич
[2]Балашов Александр Владимирович
[2]Синельников Александр Алексеевич
[2]Стрыгин Сергей Петрович
[3]Беляев Артем Александрович

[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[3]ООО «Белая Дача Фарминг»

Реферат. *Исследованы различные способы посева семян сои возделываемой на полях фирмы ООО «Белая Дача Фарминг» Тамбовского района с использованием посевного агрегата с сеялкой DMC 9000-2 шириной захвата 8,6 м и трактора JohnDeere 8335. Были описаны особенности применения традиционной, минимальной и нулевой (no-till) технологии возделывания сои. Оснащение сеялки долотообразными сошниками и одновременный высев семян, и внесение удобрений позволяет использовать этот агрегат для посева по названным технологиям. Была проведена эксплуатационно-технологическая оценка работы посевного агрегата. На посеве сои по традиционной технологии при работе агрегата на скоростях движения до 12 км/ч сменная производительность составляла 63 га, минимальной и нулевой - 59,5 га. Повышение производительности достигнуто за счет применения механизированной заправки семенами и удобрениями, а также увеличенной на 8-10% скорости движения агрегата по сравнению с посевом сои по минимальной и нулевой (no-till) технологиям. При этом коэффициент использования времени смены посевного агрегата составил 0,71 и 0,69, соответственно. После обработки данных замеров интервалов между всходами сои были определены коэффициенты вариации их распределения по длине рядка, которые составили 0,79 при традиционных и минимальных технологиях, при нулевой (no-till) - 0,9. Применение автоматического и параллельного вождения с использованием системы GPS позволило организовать работу посевного агрегата круглосуточно с комфортными условиями труда механизатора. Урожайность сои, возделываемой по традиционной технологии, составила – 24, минимальной – 20,3 и нулевой (no-till) – 18,3 ц/га.*

Ключевые слова*: соя, технологии, посев, сеялка, использование.*

RESULTS OF PRODUCTION STUDIES OF A FOREIGN UNIT FOR SOWING SOYBEANS CULTIVATED USING VARIOUS TECHNOLOGIES

[1,2]ZavrazhnovAnatoliy
[2]Zazulya Alexander
[2]Balashov Alexander
[2]Sinelnikov Alexander
[2]Strygin Sergei
[3]Belyaev Artem

[1]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
[2]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[3]LLC "Belaya Dacha Pharming"

Abstract. *Various methods of sowing soybean seeds cultivated in the fields of the company "Belaya Dacha Farming" of the Tambov region using a sowing unit with a DMC 9000-2 seeder with a width of 8.6 m and a John Deere 8335 tractor were investigated. The features of using traditional, minimum and*

no-till soybean cultivation technologies were described. Equipping the seeder with openers similar to a chisel, simultaneous sowing of seeds and fertilizing allows you to use this unit for sowing using the above technologies. An operational and technological evaluation of the sowing unit was carried out. The interchangeable productivity was 63 hectares, the minimum and zero - 59.5 hectares for soybean cultivation according to traditional technology when the unit was operating at speeds of up to 12 km / h. The increase in productivity was achieved through the use of mechanized filling with seeds and fertilizers, as well as an 8-10% increase in the speed of the unit compared to sowing soybeans using minimum and no-till technologies. At the same time, the coefficient of using the time of changing the sowing unit was 0.71 and 0.69, respectively. After processing the data of measurements of the intervals between soybean seedlings, the Coefficients of variation of their distribution along the row length were determined, which amounted to 0.79 with traditional and minimal technologies, with zero (no-till) - 0.9. The use of automatic and parallel driving using the GPS system made it possible to organize the work of the sowing unit around the clock with comfortable working conditions for the machine operator. The yield of soybeans cultivated using traditional technology was 24, the minimum yield was 20.3, and the no – till yield was 18.3 C/ha.

Keywords: *soybean seeds, seeding, technologies, seeding unit.*

Введение. Соя – важнейшая белково-масличная культура, которая имеет продовольственное, целебное, кормовое, техническое и агротехническое значения.

Производство сои состоит из ряда операций, при выполнении которых достигается высокая урожайность. Все эти операции при разных фазах развития сои учитывают её биологическую особенность. Основные технологии выращивания: традиционная, минимальная и no-till (нулевая) [1, 2].При традиционной технологии возделывания сои, основная обработка почвы включает лущение стерни и глубокую вспашку [3, 4, 5]. При минимальной технологии исключается вспашка земли, то есть самая трудоемкая операция, работая только культивационным оборудованием и сеялкой [6]. Технология no-till (система нулевой обработки почвы) - система земледелия, при которой почва не обрабатывается, а её поверхность укрывается остатками растений - мульчей. Такая система земледелия предотвращает водную и ветровую эрозию почвы, а также значительно лучше сохраняет влагу [7, 8].

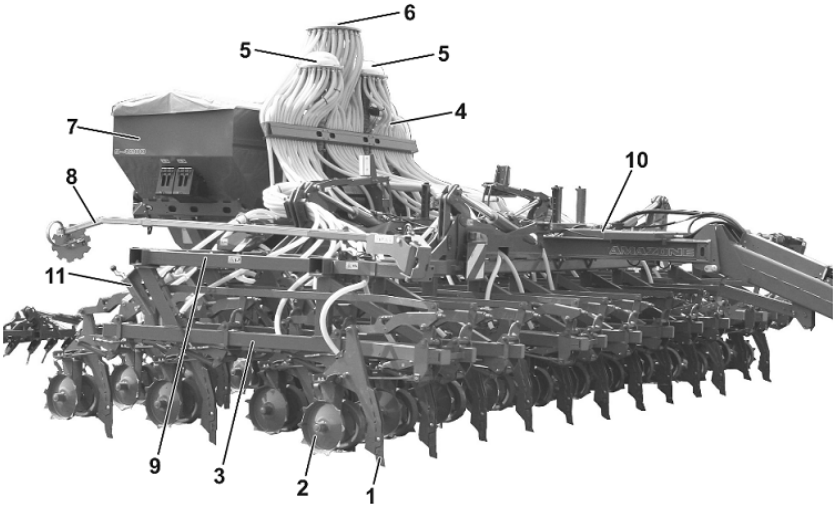
Основной технологической операцией при производстве сои является посев, выбор способа которого определяется зоной и технологией возделывания культуры. В дальневосточной влажной зоне сою возделывают в основном по традиционной технологии, предусматривающая выполнение всего комплекса работ по основной и предпосевной обработки почвы, подготовке, посеву, внесение удобрений и ядохимикатов для защиты растений от болезней и вредителей, уборку урожая. При посеве применяют сплошной рядовой и широкорядный способы с использованием распространенных серийных зерновых (СЗП-3,6, СЗ-5,4 и другие) и пропашных сеялок (СУПН-5,6, РИТМ, Planter и другие). В зонах с нормальной влажностью почвы при высевеприменяют наряду с традиционной технологией минимальную технологию возделывания сои. В этом случае посев культуры осуществляют по предпосевной обработке почвы без предварительной осенней вспашки и обработок почвы. Посевные агрегаты комплектуют с использованием зерновых и пропашных сеялок при рядовом и широкорядном способах посева.[9 – 13]

В этой зоне учеными и практиками рекомендуется гребневой [14] и гнездовой [9] способы посева с использованием разработанных авторами специализированных сеялок.

В хозяйствах засушливой зоны сою возделывают по минимальной и нулевой (no-till) технологиям с использованием специальных сеялок для зерновых культур (Дон 125,СКП-2,1Омичка, HarvestNoTill4.2).

Посев сои,возделываемой по различным технологиям на фирме ООО «Белая Дача Фарминг» Тамбовского района,осуществляли сеялкойпрямого посева AmazonePrimeraDMC – 9000 – 2. Выбор этой сеялки руководством фирмы был обоснован её универсальностью за счет применения долотообразных сошников и производительностью обусловленную высокой рабочей скоростью движения посевного агрегата и его оснащения оборудованием для автоматического и параллельного вождения, подключенного к системе GPS.

Рама сеялки установленана ходовой части с опорно-приводными колесами, на которую смонтированыбункер с перегородкой для семян и удобрений,подающе-дозирующий блок с распределительной головкой и шлангами с датчиками высева и долотообразные сошники, рисунок 1. [15]



1 - долотообразный сошник; 2 - опорные ролики; 3 - рама сошника; 4 - направляющие шланги для подачи посевного материала; 5 - распределитель посевного материала; 6 - распределитель удобрения; 7 - семенной бункер и бункер для удобрения; 8 – маркеры; 9 - складная консоль; 10 - бак для гидравлической жидкости с фильтром и редукционным клапаном; 11 - регулировка глубины для рядов сошников

Рисунок 1 – Сеялка DMC 9000-2

Долотообразные сошники навешаны на параллелограммных держателях и расположены в 4 ряда друг за другом со смещением и размещены так, что расстояние между соседними сошниками в 750 мм, а расстояние между рядами – 187,5 мм / 250 мм. Держатели направлены, на верхнюю и нижнюю тяги и одновременно выполняют функцию защиты в случае наезда на препятствие. Семена и удобрения заделываются в почву загортачами. Регулировка глубины заделки семян и удобрений осуществляется установкой долотообразных сошников и двойных дисков в определенные положения [15]. При этомглубина заделки семян сои рекомендуется не больше 4-8 см. При посеве необходимо уложить семена во влажное ложе с целью быстрого их набухания и прорастания. При раннем посеве глубину заделки семян уменьшают, а при позднем – увеличивают [4, 9-13].

Привод высевающих дозаторов осуществляется от опорно-приводного колеса. Из этих дозаторов установленная норма высева семян и удобрений поступает в воздушный поток, создаваемый вентилятором. Затем семена и удобрения транспортируется в воздушном потоке к распределительной головке, которая равномерно подает их на долотообразные сошники [15].

Маркеры служат для обозначения траектории последующего движения посевного агрегата после его разворота на краю поля [15].

Материалы и методы. При определении эксплуатационно-технологических показателей работы посевного агрегата при хозяйственных и лабораторно-полевых испытаниях ориентировались на основные положения ГОСТ Р 52778-2007 [16].

Контроль качества выполнения технологического процесса определяли распределением растений по длине рядка, глубиной заделки семян и густотой насаждений растений.

Распределение растений в ряду определяли на каждом проходе посевного агрегата в трехкратной повторности на трех 2,5-метровых отрезках. Вдоль учетных отрезков рядов накладывали рейку с делениями 1 см, измеряли расстояние между растениями нарастающим итогом (первое растение, от которого ведется измерение, принимают за ноль) [17, 18].

Ширину междурядий определяли измерением расстояний между центрами смежных рядов, которую измеряли с трехкратной повторностью на двух смежных проходах агрегата, стыковых – на четырех местах каждого прохода. Измерения проводили в поперечном направлении между крайними растениями относительно центра ряда. Расстояние между крайними растениями является показателем ширины междурядья [19].

Результаты и обсуждение. Исследования посева сои по названным технологиям возделывания культуры осуществлялся агрегатом с сеялкой DMC 9000-2 и трактором John Deere 8335 на фирме «Белая Дача Фарминг» Тамбовского района на рисунок 2.

Рисунок 2 – Посев сои агрегатом с сеялкой DMC 9000-2 с трактором John Deere 8335

При использовании этого агрегата по традиционной технологии с рядовым сплошным посевом сменная производительность составляла 63 га с коэффициентом использования времени смены равным 0,71. По минимальной и no-till технологиям сменная производительность посевного агрегата составила 59,5 га, с коэффициентом использования времени смены равным 0,69. Увеличение производительности агрегата, объясняется повышенной на 8-10% скорости агрегата, по сравнению с посевом сои по минимальной и no-till технологиям, и применения механизированной заправки бункера семенами и удобрениями.

По результатам фенологических наблюдений за посевами сои на выделенных участках полей, возделываемых по исследуемым технологиям на различных фазах развития растений, было выявлено некоторое отставание в их развитии из-за позднего посева и отсутствия осадков.

Качество посева было определено после появления всходов сои путем замеров интервалов между ними в рядках, рисунок 3.

а) традиционная

б) нулевая(no-till)

в) минимальная

Рисунок 3 – Всходы сои, возделываемой по различным технологиям

После обработки полученных данных замеров интервалов между всходами сои были определены коэффициенты вариации распределения всходов сои по длине рядка, рисунок 4.

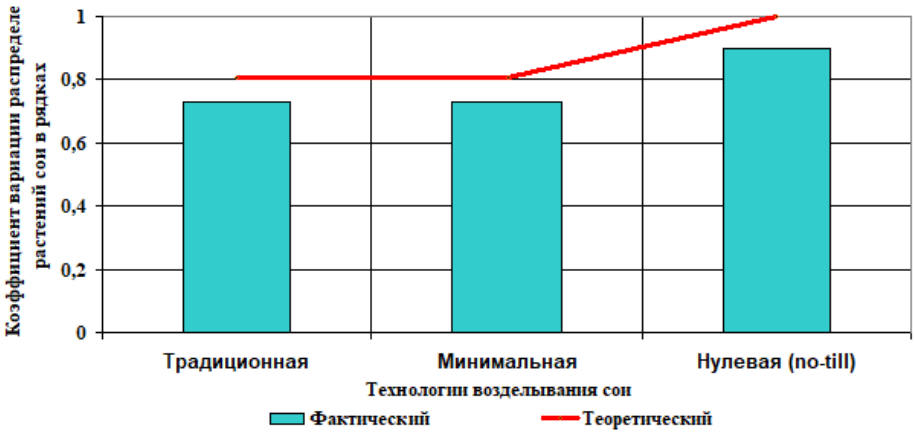


Рисунок 4 – Коэффициенты вариации распределения всходов сои

Как видно из представленных на рисунке 4 гистограмм коэффициенты вариации распределения всходов сои при исследуемых технологиях варьировались в пределах 0,73 – 0,9, что объясняется, неправильным выбором скоростных режимов посевных агрегатов в зависимости от состояния поверхности поля после предпосевной обработки почвы или без этой обработки.

Использование посевного агрегата с системой автоматического и параллельного вождения и подключенной к системе GPS позволило работать без маркёров с отклонением от прямолинейного движения в пределах от 15 до 20 мм и круглосуточно с комфортными условиями труда механизатора.

Наибольшая урожайность сои в 24 ц/га получена благодаря применению первоклассных семян, качественной подготовки почвы, начиная с осенней вспашки, предпосевной обработки, грамотного применения гербицидов и полива в засушливый период вегетации. По минимальной технологии возделывания сои с выполнением аналогичных с традиционной технологией технологических операций по обработке посевов, включая их полив, урожайность культуры была на 15 % ниже. Значительное снижение (около 24%) урожайности сои было выявлено при возделывании культуры по нулевой (no-till) технологии.

Заключение. Проведенные полевые исследования посевного агрегата с сеялкой DMC 9000-2 и трактором John Deere 8335 на фирме «Белая Дача Фарминг» показали целесообразность его использования при рассматриваемых технологиях возделывания сои со сменной производительностью от 59,5 до 63 га при изменении коэффициента использования времени смены от 0,69 до 0,71 и коэффициента вариации распределения всходов в пределах 0,73-0,9. Было отмечено увеличение урожайности сои возделываемой по традиционной технологии на 24 % по сравнению с нулевой (no-till) технологией.

Список литературы

1. Устименко О.П., Семернина В.Ю. Влияние способов посева на рост, развитие и урожайность растений сои сортов приморская 81 и энрей в условиях приморского края // Аграрный вестник приморья. – 2016. – С. 43 – 46.

2. Чайка А.К., Тильба В.А., Синеговская В.Т. и др. Технологии возделывания сои (рекомендации). Москва, 2012. – 52 с.

3. Шишлов С.А. Повышение эффективности предпосевной подготовки почвы и посева сои в условиях Приморского края // Дисс. докт. техн. наук. (05.20.01) – Благовещенск, 2016. – 319 с.

4. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сои. Методические рекомендации / В.М. Лукомец [и др.]. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 56 с.

5. Пигорев И.Я. Соя – ценная кормовая культура Черноземья // Пути повышения продуктивности воспроизвод. способности, профилактики и лечения с.-х. животных. – Курск, 2001. – Ч.2. – С. 113-115.

6. Кадыров С.В. Биоэкологические и агротехнические особенности производства сои в Центральном Черноземье РФ // Дис. докт. с.-х. наук. (06.01.09) – Воронеж, 2002. – 515 с.

7. Черноземье осваивает сою. Технология возделывания сои в условиях Орловской области [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.betaren.ru/pressa/82/, свободный (Дата обращения: 11.07.2019).

8. Mosab Halwani, Moritz Reckling, Johannes Schuler, Ralf Bloch, Johann Bachinger. Soybean in no-till cover-crop systems // Agronomy. – 2019, - v. 9. - 883; doi:10.3390/agronomy9120883.

9. Зазуля А.Н., Стрыгин С.П., Хайруллина С.Г. Механическая сеялка для посева семян сои гнездовым способом // Сельский механизатор. – 2019. – №6. – С. 14 – 15.

10. Повышение эффективности технологий и технических средств для возделывания и уборки пропашных культур (рекомендации) / А.Н. Зазуля, Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, Г.Н. Ерохин, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, В.А. Минкин, А.А. Сухов. Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2012. – 76 с.

11. Шевченко В.Е., Кадыров С.В., В.А. Федотов С.В. Соя в Центральном Черноземье / под ред. В.Е. Шевченко // Воронеж: ВГАУ, 1998. – 151 с.

12. Бузенков Г.М., Ма С.А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.

13. Крючин Н.П. Посевные машины. Особенности конструкции и тенденции развития: Учебное пособие. Кинель: Самарская ГСХА, 2003. – 117 с.

14. Курдюмов В.И., Зыкин Е.А. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур. Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. – 320 с.

15. Amazone Primera DMC 9000. Сеялка прямого высева. Руководство по эксплуатации. DMC BAG0042.3 04.15. – 156 с.

16. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Введ. 2008-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 24 с.

17. ГОСТ Р 31345-2007. Сеялки тракторные. Методы испытаний. Введ. 2009-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2008. – 57 с.

18. Хайруллина С.Г. Совершенствование высевающего аппарата для посева семян сои гнездовым способом // Автореф. дис. канд. тех. наук. (05.20.01). – Мичуринск-наукоград, 2019. – 20 с.

19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

References

1. Ustimenko O.P., Semernina V.Yu. Vliyanie sposobov poseva na rost, razvitie i urozhajnost' rastenij soi sortov primorskaya 81 i e'nrej v usloviyax primorskogo kraya // Agrarnyj vestnik primor'ya. – 2016. – S. 43 – 46.

2. Chajka A.K., Til'ba V.A., Sinegovskaya V.T. i dr. Texnologii vozdelyvaniya soi (rekomendacii). Moskva, 2012. – 52 s.

3. Shishlov S.A. Povyshenie e'ffektivnosti predposevnoj podgotovki pochvy i poseva soi v usloviyax Primorskogo kraya // Diss. dokt. texn. nauk. (05.20.01) – Blagoveshhensk, 2016. – 319 s.

4. Perspektivnaya resursosberegayushhaya texnologiya proizvodstva soi. Metodicheskie rekomendacii / V.M. Lukomec [i dr.]. M.: FGNU «Rosinformagrotex», 2008. – 56 s.

5. Pigorev I.Ya. Soya – cennaya kormovaya kul'tura Chernozem'ya // Puti povysheniya produktivnosti vosproizvod. sposobnosti, profilaktiki i lecheniya s.-x. zhivotnyx. – Kursk, 2001. – Ch.2. – S. 113-115.

6. Kadyrov S.V. Bioe'kologicheskie i agrotexnicheskie osobennosti proizvodstva soi v Central'nom Chernozem'e RF // Dis. dokt. s.-x. nauk. (06.01.09) – Voronezh, 2002. – 515 s.

7. Chernozem'e osvaivaet soyu. Texnologiya vozdelyvaniya soi v usloviyax Orlovskoj oblasti [E'lektronnyj resurs] // Rezhim dostupa: http://www.betaren.ru/pressa/82/, svobodnyj (Data obrashheniya: 11.07.2019).

8. Mosab Halwani, Moritz Reckling, Johannes Schuler, Ralf Bloch, Johann Bachinger. Soybean in no-till cover-crop systems // Agronomy. – 2019, - v. 9. - 883; doi:10.3390/agronomy9120883.

9. Zazulya A.N., Strygin S.P., Xajrullina S.G. Mexanicheskaya seyalka dlya poseva semyan soi gnezdovym sposobom // Sel'skij mexanizator. – 2019. – №6. – S. 14 – 15.

10. Povyshenie e'ffektivnosti texnologij i texnicheskix sredstv dlya vozdelyvaniya i uborki propashnyx kul'tur (rekomendacii) / A.N. Zazulya, Yu.A. Tyrnov, A.V. Balashov, G.N. Eroxin, V.P.

Belogorskij, S.P. Strygin, A.A. Sinel'nikov, V.A. Minkin, A.A. Suxov. Tambov: Izd-vo Pershina R.V., 2012. – 76 s.

11. Shevchenko V.E., Kadyrov S.V., V.A. Fedotov S.V. Soya v Central'nom Chernozem'e / pod red. V.E. Shevchenko // Voronezh: VGAU, 1998. – 151 s.

12. Buzenkov G.M., Ma S.A. Mashiny dlya poseva sel'skoxozyajstvennyx kul'tur. M.: Mashinostroenie, 1976. – 272 s.

13. Kryuchin N.P. Posevnye mashiny. Osobennosti konstrukcii i tendencii razvitiya: Uchebnoe posobie. Kinel': Samarskaya GSXA, 2003. – 117 s.

14. Kurdyumov V.I., Zykin E.A. Texnologiya i sredstva mexanizacii grebnevogo vozdelyvaniya propashnyx kul'tur. Ul'yanovsk: Vega-MC, 2017. – 320 s.

15. Amazone Primera DMC 9000. Seyalka pryamogo vyseva. Rukovodstvo po e'kspluatacii. DMC BAG0042.3 04.15. – 156 s.

16. GOST R 52778-2007. Ispytaniya sel'skoxozyajstvennoj texniki. Metody e'kspluatacionno-texnologicheskoj ocenki. – Vved. 2008-07-01. – M.: Izd-vo standartov, 2007. – 24 s.

17. GOST R 31345-2007. Seyalki traktornye. Metody ispytanij. Vved. 2009-01-01. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2008. – 57 s.

18. Xajrullina S.G. Sovershenstvovanie vysevayushhego apparata dlya poseva semyan soi gnezdovym sposobom // Avtoref. dis. kand. tex. nauk. (05.20.01). – Michurinsk-naukograd, 2019. – 20 c.

19. Dospexov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij) – 5-e izd., dop. i pererab. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

Балашов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Синельников Александр Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Стрыгин Сергей Петрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: sew1982@gmail.com.

Беляев Артем Александрович – кандидат исторических наук, генеральный директор ООО «Белая Дача Фарминг», Россия, г. Тамбов, e-mail: Artem.Belyaev@lwbd.ru.

Author credentials

Affiliations

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

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

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

Sinelnikov Alexander – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: ntc.agro@yandex.ru.

Strygin Sergei – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: sew1982@gmail.com

Belyaev Artem – Candidate of Historical Sciences, General Director of LLC "Belaya Dacha Pharming", e-mail: Artem.Belyaev@lwbd.ru.

Поступила в редакцию (Received): 20.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2020

УДК66.047
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-43-50

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМАХ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

[1]Родионов Юрий Викторович
[1]Щегольков Александр Викторович
[1]Никитин Дмитрий Вячеславович
[2]Зорин Александр Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ООО «З-лайн»

Реферат. *Использование тепловых аккумуляторов для улучшения энергоэффективности процесса сушки может являться технически реализуемым мероприятием для широкого класса сушильных установок. Исследована возможность применения углеродных нанотрубок (УНТ) в качестве одной из составляющих бинарного наполнителя, используемого в качестве теплового аккумулятора для сушильных установок. Разработана методика изготовления теплоаккумулирующих материалов для двухступенчатой комбинированной вакуумно-импульсной сушки. Разработана технология получения теплоаккумулирующего материала на основе наномодифицированного композита (80 %), помещенного в жидкий носитель – синтетическое моторное масло CASTROL OW30 (20%). В процессе получения наномодицицированного композита использовали специально подобранные катализаторы Mo-Al_2O_3-MgO и Ni-MgO, процессы механической* активации с никель-цинковым ферритом, *ультразвуковую обработку, гранулирование. Были получены лабораторные образцы. Предложены технические решения, направленные на повышение энергоэффективности конструкций двухступенчатых комбинированных вакуумно-импульсных сушилок растительных материалов, позволяющих существенно сократить энергетические потери. Совмещенный* конвективный и кондуктивный подводы тепла, релизованные с помощью теплоаккумулятора 2, дополнительно уменьшают энергопотребление на 32 %. *Рассмотрены варианты сушки растительных материалов различной производительностью и формы частиц.* Разработана технологическая схема двух типов сушки растительных материалов с тепловыми аккумуляторами, позволяющая сократить потери электроэнергии на 20% и 25 %, соответственно.

Ключевые слова**:** *двухступенчатая комбинированная вакуумно-импульсная сушка, тепловой аккумулятор, углеродные нанотрубки (УНТ), растительный материал, влагосодержание.*

APPLICATION OF NANOMODIFIED HEAT-ACCUMULATING MATERIALS IN PLANT DRYING SYSTEMS

[1]Rodionov Yury
[1]Shchegolkov Alexander
[1]Nikitin Dmitry
[2]Zorin Alexander
[1]FSBEI HE "Tambov state technical university"
[2]LLC "Z-Line"

Abstract. *The use of heat accumulators to improve the energy efficiency of the drying process can be a technically feasible measure for a wide class of drying plants. The possibility of using carbon nanotubes (CNTs) as one of the constituents of a binary filler used as a heat accumulator for drying plants has been investigated. A method for manufacturing heat storage materials for a two-stage combined vacuum-pulse drying was developed. A technology has been developed for the production of heat-accumulating material based on a nanomodified composite (80%) placed in a liquid carrier - CASTROL OW30 synthetic motor oil (20%). Specially selected catalysts Mo-Al2O3-MgO and Ni-MgO, processes of mechanical activation with nickel-zinc ferrite, ultrasonic treatment, granulation were used in the process of obtaining a nanomodified composite. Laboratory samples were obtained. Technical solutions are proposed aimed at increasing the energy efficiency of the designs of two-stage combined vacuum-pulse dryers of plant materials, which can significantly reduce energy losses. Combined convective and conductive heat supplies released using heat accumulator 2 further reduce power consumption by 32%. Options for drying plant materials of various capacities and particle shapes are considered. The technological scheme of two types of drying of plant materials with heat accumulators has been developed, which allows to reduce electricity losses by 20% and 25%, respectively.*

Keywords: *two-stage combined vacuum-pulse drying, heat accumulator, carbon nanotubes (CNT), plant material, moisture content.*

Введение. Устойчивое развитие новых технологий связано с появлением новых материалов. Особенно это касается «умных» материалов, обладающих функциональными свойствами и способными адаптироваться под различные условия окружающей среды. Особое значение в иерархии создания «умных» материалов могут занять теплоаккумулирующие материалы. Теплоаккумулирующие материалы (ТМ) могут найти широкое применение в технологиях АПК (агропромышленного комплекса).

В качестве направлений применения ТМ можно выделить технологии переработки сельскохозяйственной продукции с использованием процессов сушки и экстракции. Способность к поглощению тепловой энергии в случае ТМ является следствием накопления теплоты в результате фазового перехода. Как правило, это фазовые переходы в диапазоне от 40 до 120 °С. В последнее время теплоаккумулирующие материалы активно используют, как базовые элементы в различных сферах промышленного применения [1-5]. Практическое применение тепловых аккумуляторов представлено в работах [6-8]. Как отмечено в работах [9-14], наиболее эффективным аппаратурным оборудованием для сушки растительных материалов является установка двухступенчатой комбинированной вакуумно-импульсной сушки (ДКомВИС). Основным недостатком такой сушильной установки является существенные потери тепла, что снижает её эффективность.

Цель исследования – обоснование применения УНТ в качестве одной из составляющих бинарного наполнителя, используемого в качестве теплового аккумулятора для сушильных установок, позволяющих сократить потери тепла процесса сушки растительных материалов.

Задачи исследования – разработать методику изготовления теплоаккумулирующих материалов для ДКомВИС. Предложить технические решения по применению тепловых аккумуляторов в сушильных установках.

Материалы и методы. С целью получения модификатора парафинов – углеродных нанотрубок был использован катализатор Mo-Al_2O_3-MgO и Ni-MgO. После этого МУНТ (многослойные углеродные нанотрубки) механически активировали с никель-цинковым ферритом 400HH$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ с предварительным измельчением до 2-4 мкм в шаровой мельнице в течение 60 минут. В последующем полученные углеродные нанотрубки использовались для модификации парафина П-2 (ОАО Лукоил, Россия). Модификация парафинов, полученных МУНТ с необходимой морфологией, обеспечивает взаимодействия на молекулярном уровне и создает стабильный материал с характеристиками, которые необходимы для образования ТМ. Модификация происходит во время фазового перехода парафина, когда он переходит в жидкое состояние при температуре, при которой достигается порог ее термического разложения, что позволяет реакционной способности УНТ с парафиновыми молекулами инициировать этот процесс. Применение ультразвукового излучения (мощностью 2 кВт) позволило создать кавитацию в объеме жидкого парафина (при температуре 90-95 °С). Чтобы обеспечить необходимую ориентацию структур, интегрированных в УНТ, расплавленный парафин

подвергался воздействию магнитного поля во время охлаждения. После этого материал был помещен в экструдере с помощью фторопластового винта. Мощность приводного двигателя экструдера составляет 2 кВт со скоростью 100 мин$^{-1}$. Кроме того, полученный материал гранулировали в прессовальном грануляторе с получением гранул до размера в диапазоне от 0,5 до 1 мм. После этой операции гранулы помещали в жидкость-носитель. Жидкость-носитель представляла собой синтетическое моторное масло CASTROL 0W30. Моторное масло и магнитный наполнитель взвешивали на весах Unit G-200 с точностью ± 5 мг. После этого наполнитель вводили в моторное масло и тщательно перемешивали. Полученную густую суспензию разбавляли жидкостью-носителем и механически перемешивали до получения коллоидного раствора. В итоге жидкая фаза – моторное масло составляла 20%, а твердая фаза – наномодифицированный композит – 80%. На рисунке 1 представлен внешний вид теплового аккумулятора с фазопереходным материалом.

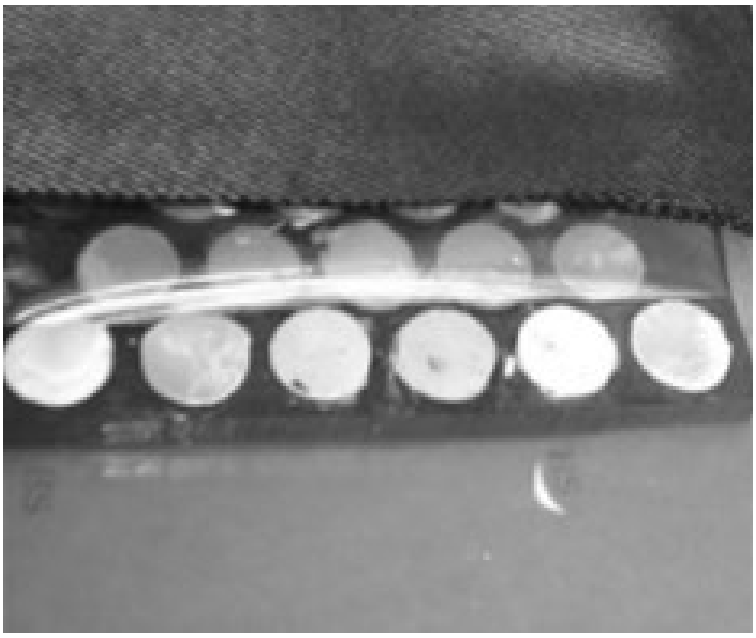


Рисунок 1 – Внешний вид теплового аккумулятора

Результаты и их обсуждение. Техническая реализация сушки с тепловыми аккумуляторами организуется в следующих типах сушильных установок**.** В первом типе сушильной установки с тепловыми аккумуляторами (рисунок 2) использована технология сушки, когда теплоноситель (горячий воздух) подается в вводы цилиндроконической камеры 1. Высушиваемый материал в виде стружки, правильных кубиков или шаров определенной (одинаковой) массы подается через штуцер питателя 2, захватывается потоком теплоносителя и попадает в вставку конического профиля 5, где образует взвешенный закрученный слой материала, в этот момент времени запасается энергия в фазопереходном материале, расположенном в емкости 7 (происходит плавление теплоаккумулирующего материала - парафина с температурой плавления от 40 до 90°С в зависимости от типа высушиваемого материала), которая соединена трубами 14 с емкостью 13. После того как растительный материал теряет поверхностную влагу, т.е. примерно 50% от всей массы, он пересыпается и скапливается в барабане 3 до объема, равного объему загрузки второй камеры сушки 9, которая в этот момент прогревается с помощью тепловых аккумуляторов, в которые поступил расплавленный парафин из тепловых аккумуляторов в цилиндроконической камере 1. После того как требуемый объем накопился, открывается герметичный затвор 8, и растительный материал пересыпается во вторую ступень камеры сушки 9, где начинается вторая стадия сушки, а именно продувка и вакуумирование через устройство соединения с вакуумной системой 12. После того как продукт окончательно высушится, его ручным способом ссыпают

путем открытия крышки 11 и отправляют на фасовку. Парафин остывает в нижней емкости 13, через люки 15 вынимается и снова закладывается через люки 16 в емкость7, расположенную в цилиндроконической камере 1 (количество парафина в емкости 7 позволяет проводить сушку растительных материалов в течение одной рабочей смены). В процессе работы сушильной установки необходимо обеспечить открытие пор растительного сырья. Для этого камера второй ступени через выходной штуцер вакуумной системы 12, с помощью трубопровода 19 и автоматического клапана 17 соединена с ресивером 18 (ресивер обеспечивает резкую смену давления в течение 0,01…0,001 с). Снизу камера второй ступени через трехходовой клапан 21 и трубопровод 20 соединена с двухступенчатым жидкостно-кольцевым вакуумным насосом 22 и одноступенчатым жидкостно-кольцевым вакуумным насосом с автоматически регулируемым нагнетательным окном 23. Также ресивер трубопроводом 25 соединен с регулируемым вентилем 24 (который работает в режиме вакуумирования и включения для создания импульсов в вакуумном шкафу), сверху ресивера установлен датчик разряжения 26 (с помощью датчика контролируются режимы изменения давления или разряжения).

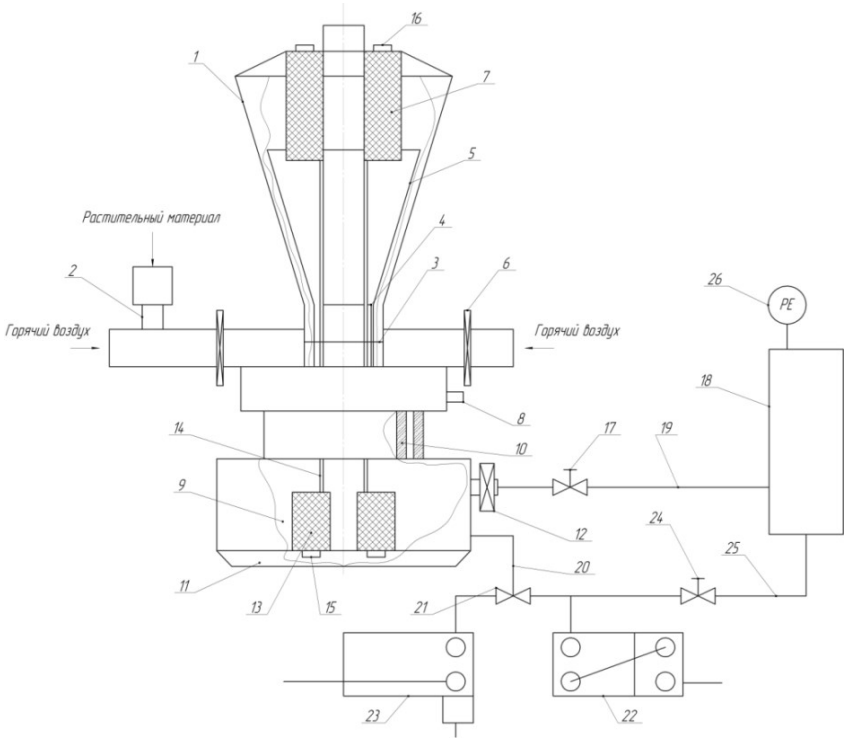
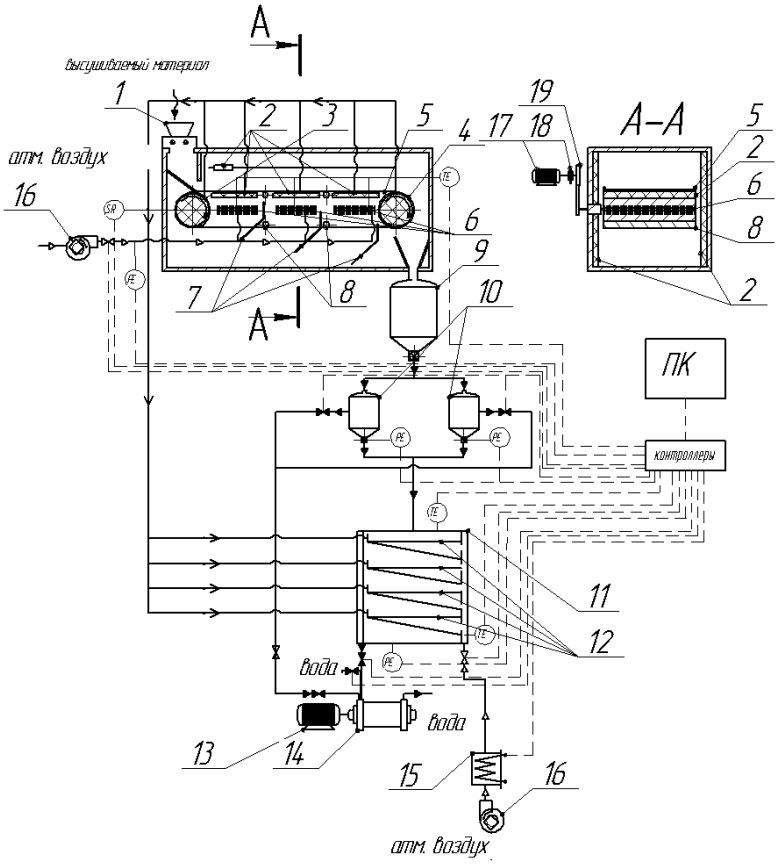


Рисунок 2 – Энергоэффективная конвективно-вакуум импульсная сушильная установка с тепловыми аккумуляторами

В то время, как продукт пересыпался во вторую ступень сушки 9, в первой процесс начинается заново. Режимы сушки первой ступени и второй подбираются таким образом, чтобы время пребывания в них было равным, в первой ступени варьируется температура и скорость теплоносителя ($T_т$=60-100°C, V=8-15 м/с), после чего теплоноситель отводится во внешнюю среду, во второй ступени температура и скорость теплоносителя ($T_т$=55-60°C, V=2-3 м/с) и контролируется температура материала $T_м$≤55-60°C, то есть температура денатурации, потери витаминов и питательных веществ. Данная установка сокращает потери электроэнергии процесса на 20%.

Следующий вариант сушки (рисунок 3), который позволяет повысить производительность за счет применения конвейера и частичной автоматизации на базе персонального компьютера с программным обеспечением, получаемым на основе оптимизации температурных режимов.



1- питатель; 2 – теплоаккумуляторы; 3 - приводной барабан; 4 - натяжной барабан; 5 - перфорированная лента; 6 - газовые горелки; 7 - направляющие потока воздуха; 8 - опорные ролики; 9 - промежуточная емкость; 10 - емкости для создания импульсов; 11 - вакуумный сушильный шкаф; 12 - лотки; 13 - электродвигатель; 14 - жидкостнокольцевой вакуумный насос; 15 - калорифер; 16 - воздуходувки; 17 - электродвигатель привода ленточного конвейера; 18 - упругая муфта; 19 - цилиндро-червячный редуктор

Рисунок 3 – Технологическая схема комбинированной вакуум-импульсной сушки растительного сырья с использованием технологии теплоаккумулирования

Установка двухступенчатой сушки по схеме (рисунок 3) организуется следующим образом: через питатель 1, подготовленное определенным образом растительное сырье подается на перфорированную ленту 5 конвейерной сушилки. Натяжение лента организована двумя барабанами, приводным 3 и натяжным 4. Лента перемещается поступательно равномерно, скорость ленты определяется окружной скоростью вращения приводного барабана. Вращение данного барабана организовано электродвигателем 17, через упругую муфту 18 и ременную передачу 19. Частота вращение электродвигателем переменного тока регулируется с помощью частотного преобразователя тока в зависимости растительного сырья.

В шкафу происходит совмещенный конвективный и кондуктивный подводы тепла. Это можно реализовать теплоаккумулятором 2, дополнительно уменьшая энергопотребление на 32 %, однако при этом, уменьшается полезный объем загрузки шкафа, компенсируется общей производительностью.

Конвективный способ сушки под атмосферным давлением эффективен для удаления поверхностной влаги, для удаления «внутренней влаги» процесс интенсифицируется. Наиболее

эффективным способом интенсификации является использование вакуума, так как это позволяет удалять влагу при низкой температуре, что дает возможность максимально сохранить в конечном продукте биологически активные вещества, входящие в состав исходного сырья. Дополнительная интенсификация сушки направлена на внедрение комбинированного способа, при котором, осуществляется включение инфракрасного излучения в обогреватель конвейерной сушилки, позволяющей осуществлять кондуктивный нагрев лотков. Скорость сушки зависит также от формы высушиваемого продукта. Нарезка на кусочки, особенно одинакового размера, увеличивает поверхность и равномерность испарения. В процессе сушки важен контроль за готовностью продукта. При горячей сушке неконтролируемый влагоотбор ведет к образованию некачественно высушенного продукта (брака). Использование вакуума и, как следствие, низких температур в процессе сушки, позволяет получить высококачественное высушенное сырье с максимальным сохранением биологически активных веществ.

Тепловые аккумуляторы могут быть изготовлены различных типоразмеров, а их установка осуществляется именно в те места оборудования, где требуется регулировать температурные режимы. Данная установка позволяет сократить потери электроэнергии процесса сушки на 25%.

Выводы.

1. Разработана методика изготовления теплоаккумулирующего материала.
2. Проведены работы по изготовлению лабораторных образцов теплоаккумулирующих материалов.
3. Разработана технологическая схема двух типов сушки растительных материалов с тепловыми аккумуляторами, позволяющая сократить потери электроэнергии на 20% и 25 % соответственно.

Список литературы

1. P. Goli, S. Legedza, A. Dhar, R. Salgado, J.Renteria, and A. A. Balandin, «Graphene-enhanced hybrid phase change materials for thermal management of Li-ion batteries» Journal of Power Sources, vol. 248, pp. 37–43, 2014.
2. K. Kumaresan, G. Sikha, and R.E. White, «Thermal model for a Li-ion cell» Journal of the Electrochemical Society, vol. 155, no. 2, pp. A164–A171, 2008.
3. S.K. Mohammadian, Y. He, and Y. Zhang, «Internal cooling of a lithium-ion battery using electrolyte as coolant through microchannels embedded inside the electrodes» Journal of Power Sources, vol. 293, pp. 458–466, 2015.
4. Renteria J.D., Nika D.L., Balandin A.A. Graphene thermal properties: applications in thermal management and energy storage // Applied sciences. 2014. V. 4. P. 525-547.
5. Liu X., Rao Z. Experimental study on the thermal performance of grapheneandexfoliated graphite sheet for thermal energy storage phase changematerial // Thermochimicaacta. 2017. V. 647. P. 15–21.
6. Щегольков А.В., Щегольков А.В., Ягубов В.С., Зорин А.С., Кобелев А.В. Теплоаккумулирующие материалы на основе наномодифицированного парафина, контролируемые магнитным полем // Известия Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – № 80 (4). – С. 344 – 348.
7. Щегольков А.В., Щегольков А.В. Исследование термической устойчивости наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: матер. IX Междунар. науч.-инновационной молодёжной конф. – Тамбов. – 2017. – С. 189-191.
8. Щегольков А.В., Щегольков А.В. Наномодифицированные материалы для тепловых аккумуляторов на основе аддитивной технологии // Технологии и материалы для экстремальных условий (лазерные технологии, источники тока и материалы): матер. докладов участников 12-ой Всероссийской научной конф (Туапсе, 11-15 сентября 2017 г.). – Туапсе. – 2017. – С. 279 – 284.
9. Иванова Э.С., Скоморохова А.И., Кольцов В.А., Родионов Ю.В., Капустин В.П., Никитин Д.В. Исследование процесса сушки топинамбура // Наука в центральной России. – 2019. – №2 (38). – С. 77 – 85.
10. Скоморохова А.И., Завьялов А.А., Родионов Ю.В., Зорин А.С. Разработка режима вакуумной сушки перца сорта "Ласточка" // Инновационная техника и технология. – 2019. – №3 (20). – С. 23 – 28.
11. Щегольков А.В., Зорин А.С., Родионов Ю.В., Гриднев А.Б. Повышение энергоэффективности двухступенчатой КВИС растительного сырья // Сушка, хранение и

переработка продукции растениеводства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. сем., посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева (Москва, 22-23 мая 2018 г.). – Москва.– 2018. – С. 181 – 185.

12. Родионов Ю.В., Капустин В.П., Никитин Д.В., Протасов Д.Н., Иванова Е.П., Платицин П.С. Исследование и выбор режимных параметров процесса сушки хмеле-тыквенной закваски // Наука в центральной России. – 2016. №3 (21). – С. 15 – 24.

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

14. Воробьев В.Б., Климов А.М., Родионов Ю.В., Преображенский В.А., Скворцов Д.В. Энергоэффективность двухступенчатой сушки растительного сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – №3 (34). – С. 361 – 365.

References

1. P. Goli, S. Legedza, A. Dhar, R. Salgado, J.Renteria, and A. A. Balandin, «Graphene-enhanced hybrid phase change materials for thermal management of Li-ion batteries» Journal of Power Sources, vol. 248, pp. 37–43, 2014.

2. K. Kumaresan, G. Sikha, and R.E. White, «Thermal model for a Li-ion cell» Journal of the Electrochemical Society, vol. 155, no. 2, pp. A164–A171, 2008.

3. S.K. Mohammadian, Y. He, and Y. Zhang, «Internal cooling of a lithium-ion battery using electrolyte as coolant through microchannels embedded inside the electrodes» Journal of Power Sources, vol. 293, pp. 458–466, 2015.

4. Renteria J.D., Nika D.L., Balandin A.A. Graphene thermal properties: applications in thermal management and energy storage // Applied sciences. 2014. V. 4. P. 525-547.

5. Liu X., Rao Z. Experimental study on the thermal performance of grapheneandexfoliated graphite sheet for thermal energy storage phase changematerial // Thermochimicaacta. 2017. V. 647. P. 15–21.

6. Shhegol'kov A.V., Shhegol'kov A.V., Yagubov V.S., Zorin A.S., Kobelev A.V. Teploakkumuliruyushhie materialy na osnove nanomodificirovannogo parafina, kontroliruemye magnitnym polem // Izvestiya Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyx texnologij. – 2018. – № 80 (4). – S. 344 – 348.

7. Shhegol'kov A.V., Shhegol'kov A.V. Issledovanie termicheskoj ustojchivosti nanomodificirovannyx teploakkumuliruyushhix materialov // Sovremennye tverdofaznye texnologii: teoriya, praktika i innovacionnyj menedzhment: mater. IX Mezhdunar. nauch.-innovacionnoj molodyozhnoj konf. – Tambov. – 2017. – S. 189-191.

8. Shhegol'kov A.V., Shhegol'kov A.V. Nanomodificirovannye materialy dlya teplovyx akkumulyatorov na osnove additivnoj texnologii // Texnologii i materialy dlya e'kstremal'nyx uslovij (lazernye texnologii, istochniki toka i materialy): mater. dokladov uchastnikov 12-oj Vserossijskoj nauchnoj konf (Tuapse, 11-15 sentyabrya 2017 g.). – Tuapse. – 2017. – S. 279 – 284.

9. Ivanova E'.S., Skomoroxova A.I., Kol'cov V.A., Rodionov Yu.V., Kapustin V.P., Nikitin D.V. Issledovanie processa sushki topinambura // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – №2 (38). – S. 77 – 85.

10. Skomoroxova A.I., Zav'yalov A.A., Rodionov Yu.V., Zorin A.S. Razrabotka rezhima vakuumnoj sushki perca sorta "Lastochka" // Innovacionnaya texnika i texnologiya. – 2019. – №3 (20). – S. 23 – 28.

11. Shhegol'kov A.V., Zorin A.S., Rodionov Yu.V., Gridnev A.B. Povyshenie e'nergoe'ffektivnosti dvuxstupenchatoj KVIS rastitel'nogo syr'ya // Sushka, xranenie i pererabotka produkcii rastenievodstva: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-texn. sem., posvyashhyonnogo 175-letiyu so dnya rozhdeniya K.A. Timiryazeva (Moskva, 22-23 maya 2018 g.). – Moskva.– 2018. – S. 181 – 185.

12. Rodionov Yu.V., Kapustin V.P., Nikitin D.V., Protasov D.N., Ivanova E.P., Platicin P.S. Issledovanie i vybor rezhimnyx parametrov processa sushki xmele-tykvennoj zakvaski // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. №3 (21). – S. 15 – 24.

13. Skripnikov Yu.G., Mitroxin M.A., Rodionov Yu.V., Zorin A.S., Larionova E.P. Innovacionnye texnologii sushki rastitel'nogo syr'ya // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2012. – №3 (41). – S. 371 – 376.

14. Vorob'ev V.B., Klimov A.M., Rodionov Yu.V., Preobrazhenskij V.A., Skvorcov D.V. E'nergoe'ffektivnost' dvuxstupenchatoj sushki rastitel'nogo syr'ya // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. – 2011. – №3 (34). – S. 361 – 365.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

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

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: energynano@yandex.ru.

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

Зорин Александр Сергеевич – Генеральный директор ООО «З-лайн», Россия, г. Рассказово, e-mail: zorin619@bk.ru.

Author credentials
Affiliations

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

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

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

Zorin Alexander – General Director of LLC “Z-Line”, Russia, Rasskazovo, e-mail: zorin619@bk.ru.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта «Методология создания тепловых аккумуляторов на основе наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов» № 18-43-680012.

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2020

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-50-59

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОРАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ

[1]Ли Роман Иннокентьевич
[1]Псарев Дмитрий Николаевич
[1]Быконя Андрей Николаевич
[1]Пчельников Андрей Витальевич
[1]Мельников Антон Юрьевич
[1]ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Реферат. Восстановление изношенных посадочных отверстий в корпусных деталях техники полимерными материалами позволяет повысить ресурс последних, сократить затраты на ремонт, повысить надежность техники. Анализ литературы показал, что в настоящее время нет информации об инфракрасной обработке полимерных покрытий, нанесенных в ходе восстановления корпусных деталей техники. Для расчета технологических параметров инфракрасного нагрева корпусных деталей типа II (подшипниковые щиты автомобильных и тракторных генераторов, электродвигателей) разработана модель инфракрасного нагрева корпусных деталей, позволяющая с учетом конструктивных параметров инфракрасной установки, расстояния от излучателя до детали, рассчитать время и температуру нагрева корпусных деталей.

Первоначально составили уравнение баланса мощности инфракрасного излучения при нагреве тела, которое представили как сумму мощностей излучения: полученную от излучателя, выделяемую телом в условиях свободного конвективного теплообмена с внешней средой в неограниченном объеме и затрачиваемую на нагрев тела, используя математические преобразования. Получили формулы для расчета мощностей инфракрасного излучения на основе законов Стефана-Больцмана и Ньютона-Рихмана. Далее учли теплоёмкость материала, массу и площадь поверхности подшипникового щита, конструктивные параметры детали (диаметр подшипникового щита, диаметр отверстия под подшипник), температуру окружающей среды и установившуюся температуру подшипникового щита при нагреве, конструктивные параметры установки инфракрасного излучения (угол рассеивания отражателя, мощность и КПД излучателя). Получили формулы для расчета скорости роста температуры тела и времени нагрева детали до заданной температуры при инфракрасном нагреве. Контрольным экспериментом установлена высокая сходимость расчетных и экспериментальных значений параметров нагрева корпусной детали, корректность полученной модели. Относительная погрешность при расчете температуры не превышала 4,3%, времени нагрева – 5,3%.

Ключевые слова: корпусная деталь, отверстие, износ, полимерное покрытие, качество, инфракрасный нагрев, температура, время.

TEORETICAL ASPECTS OF THERMAL RADIATION HEATING OF WORN-OUT CASE DETAILS OF EQUIPMENT DURING RESTORATION

[1]Li Roman
[1]Psarev Dmitry
[1]Bykonya Andrew
[1]Pchelnikov Andrew
[1]Melnikov Anton

[1]FSBEI HE "Lipetsk State Technical University"

Abstract. *The restoration of worn landing holes in the body parts of the equipment with polymer materials can increase the resource of the latter, reduce repair costs, and increase the reliability of the equipment. An analysis of the literature showed that information on the infrared treatment of polymer coatings applied during the restoration of the hull parts of the equipment is currently missing. The model of infrared heating of body parts, which allows taking into account the design parameters of the infrared installation, the distance from the emitter to the part, to calculate the time and temperature of heating of body parts, was developed to calculate the technological parameters of infrared heating of body parts of type II (bearing shields of automobile and tractor generators, electric motors). The equation of the power balance of infrared radiation during heating of the body was initially compiled, which was presented as the sum of the radiation powers obtained from the emitter emitted by the body under conditions of free convective heat exchange with the external environment in an unlimited volume and spent on heating the body using mathematical transformations. Formulas for calculating infrared radiation powers based on the laws of Stef-on-Boltzmann and Newton-Richmann were obtained. The heat capacity of the material, the mass and surface area of the bearing shield, the structural parameters of the part (diameter of the shield, diameter of the bore for the bearing), the ambient temperature and the steady temperature of the bearing shield when heated, the design parameters of the infrared radiation setting (reflector angle, power and efficiency emitter) are taken into account further. Formulas for calculating the rate of increase in body temperature and the heating time of a part to a given temperature with infrared heating were obtained. The high convergence of the calculated and experimental values of the heating parameters of the body part, the correctness of the obtained model was established using a control experiment. The relative error in calculating the temperature did not exceed 4.3%, the heating time - 5.3%.*

Keywords: *body part, hole, wear, polymer coating, quality, in-fractional heating, temperature, time.*

Введение. Способы восстановления изношенных корпусных деталей техники полимерными материалами не требуют сложного технологического оборудования и высокой квалификации ремонтного персонала, отличаются низкими затратами, обеспечивают фреттингостойкость

посадочных отверстий под подшипники и повышают ресурс подшипниковых узлов [1 – 5]. Наиболее эффективно восстановление изношенных посадочных отверстий нанесением покрытий из раствора эластомера [6]. Для придания необходимых деформационно-прочностных свойств полимерное покрытие отверждают при повышенной температуре (110 – 150 ^{o}C). Термическую обработку покрытия осуществляют конвективным или терморадиационным способами [7].

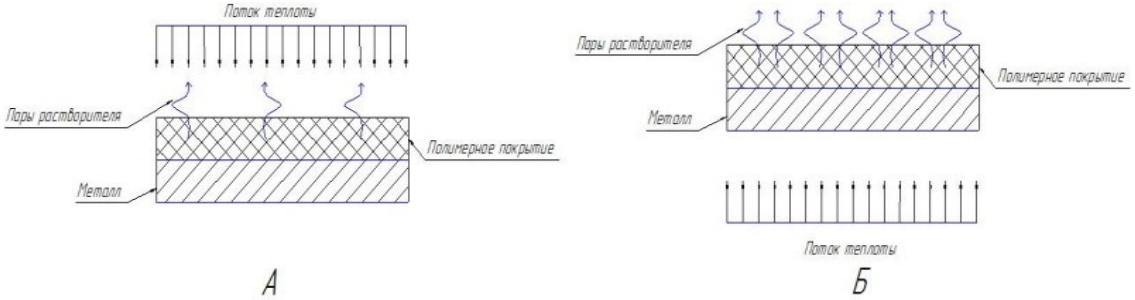
Существенным недостатком конвективного способа сушки является пористость покрытий из-за испарения растворителя [8]. При конвективном способе тепло передается от горячего воздуха покрытию с внешней поверхности. Благодаря тому, что подвод тепла осуществляется снаружи покрытия, вначале отверждаются внешние слои полимерного покрытия (рисунок 1А). В последствии при нагреве нижних слоев покрытия, последние отверждаются. При этом пары растворителя образуют в вышележащих, уже отвержденных слоях покрытия, поры, через которые они выходят в окружающую среду. Повышенная пористость покрытия уменьшает ее ресурс, долговечность всего подшипникового узла и корпусной детали при эксплуатации [9 – 12].

Терморадиационный способ сушки отличается тем, что инфракрасные волны нагревают металлическую подложку (корпусную деталь), а не воздух. По этой причине вначале отверждается нижний слой, затем вышележащие слои полимерного покрытия [8]. При отверждении пары растворителя выходят в окружающую среду значительно в меньшей степени повреждая полимерное покрытие, то есть пористость при терморадиационном способе существенно ниже (рисунок 1Б).

Установки инфракрасной сушки имеют компактные размеры и мобильны, в сравнении с конвективным способом отличаются гораздо меньшим энергопотреблением, так как не тратится энергия на нагрев воздуха.

В настоящее время технологические параметры инфракрасной сушки лакокрасочных покрытий (установившаяся температура покрытия, соответствующие ей расстояние от излучателя до объекта и время нагрева) определяют экспериментально. Необходим метод расчета технологических параметров инфракрасного нагрева корпусных деталей различного исполнения: корпуса коробок передач, раздаточных коробок, редукторов – тип I, подшипниковые щиты электродвигателей – тип II и др. [7].

Проведен литературный обзор, который показал, что в настоящее время нет информации об инфракрасной обработке полимерных покрытий, нанесенных в ходе восстановления корпусных деталей техники. Необходимы всесторонние исследования в этой области, что позволит повысить эффективность восстановления корпусных деталей, обеспечит снижение затрат на ремонт техники.



А – конвективный способ подвода тепла; Б – терморадиационный способ подвода тепла [8]

Рисунок 1 – Схема испарения растворителя в покрытии из раствора эластомера

Цель настоящих исследований заключалась в разработке модели инфракрасного нагрева корпусных деталей типа II (подшипниковые щиты автомобильных и тракторных генераторов, электродвигателей) и оценке ее корректности (исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Липецкой области в рамках научного проекта № 19-48-480008/19).

Результаты и их обсуждение. *Модель инфракрасного нагрева корпусных деталей типа II.*

Уравнение баланса мощности инфракрасного излучения при нагреве тела представили в следующем в виде [15]

$$q_{изл} = q_1 + q_2 + q_3, \quad (1)$$

где $q_{изл}$ – мощность инфракрасного излучения, которая получена телом от излучателя; q_1 – мощность излучения, выделяемая нагретым телом при лучеиспускании; q_2 – мощность излучения, выделяемая телом в условиях свободного конвективного теплообмена с внешней средой в неограниченном объеме; q_3 – мощность излучения, затрачиваемая на нагрев тела.

Исходя из закона Стефана-Больцмана для серого тела [13], формула для расчета величины q_1 имеет вид

$$q_1 = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 F, \quad (2)$$

где ε – степень черноты серого тела, для чугуна ε = 0,60 – 0,70; C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, $C_0 = 5{,}67 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$; T – абсолютная температура тела, К; F – площадь поверхности тела, м^2.

Исходя из закона Ньютона-Рихмана, величина q_2 может быть определена по зависимости

$$q_2 = k \cdot (T - T_0) \cdot F, \quad (3)$$

где k – коэффициент теплоотдачи при свободной конвенции, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$; T_0 – температура окружающей среды, К.

Величину q_3 следует рассчитывать по известной зависимости [14]

$$q_3 = C_v m \frac{dT}{d\tau}, \quad (4)$$

где C_v – теплоёмкость тела, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; m – масса тела, кг; $\frac{dT}{d\tau}$ – скорость повышения температуры тела; τ – время нагрева.

Формулы (2) – (4) подставили в формулу (1) и в результате получили

$$q_{изл} = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 F + k(T - T_0)F + C_v m \frac{dT}{d\tau}. \quad (5)$$

В виду того, что мощность излучения поглощаемая телом постоянна ($q_{изл} = const$), дифференциал $dq_{изл} = 0$ и, поэтому справедливо равенство

$$dq_1 + dq_2 + dq_3 = 0.$$

Далее определили соответствующие дифференциалы и в итоге получили равенство

$$C_v m \ddot{T} = -kF\dot{T}d\tau - \frac{\varepsilon C_0 F}{25} \left(\frac{T}{100} \right)^3 \dot{T} d\tau. \quad (6)$$

Для заданных постоянных условий нагрева тела предложена величина – константа нагревания, которая имеет вид

$$H = \frac{C_v m}{kF + \frac{\varepsilon C_0 F}{25} \left(\frac{T}{100} \right)^3} = const. \quad (7)$$

С учетом формулы (7) формула (6) получила вид

$$-H \times \ddot{T} = \dot{T}, \ \ddot{T} = \frac{\dot{T}}{-H}. \quad (8)$$

Чтобы понизить порядок дифференциального уравнения (8) ввели переменную $z = \dot{T}$.

$$\frac{dz}{d\tau} = -\frac{z}{H}, \qquad \int_{z_0}^{z} \frac{dz}{z} = -\frac{1}{H} \int_0^{\tau} d\tau, \qquad \ln(z) - \ln(z_0) = -\frac{\tau}{H},$$

$$\ln\left(\frac{z}{z_0} \right) = -\frac{\tau}{H}, \qquad \frac{z}{z_0} = \exp\left(-\frac{\tau}{H} \right), \qquad z = z_0 \exp\left(-\frac{\tau}{H} \right).$$

Окончательно получили

$$\dot{T} = \dot{T}_0 \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right), \tag{9}$$

где $\dot{T}$ – скорость роста температуры тела; $\dot{T}_0$ – скорость роста температуры тела в начальный момент времени.

После интегрирования формулы (9) получили формулу зависимости температуры тела T от времени нагрева τ

$$\int_{T_0}^{T} dT = \int_0^{\tau} \dot{T}_0 \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right) d\tau,$$

$$T - T_0 = \dot{T}_0 \left(-H \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right)\Big|_0^{\tau} \right) = -\dot{T}_0 H \left(\exp\left(-\frac{\tau}{H}\right) - 1 \right),$$

$$T = T_0 + \dot{T}_0 H \left(1 - \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right) \right). \tag{10}$$

Затем получили формулу для расчета температуры тела в установившемся режиме нагрева $T_{уст}$.

При $\tau \to \infty$, $T \to T_{уст}$, формула (10) преобразуется к виду

$$T_{уст} = T_0 + H \times \dot{T}_0, \tag{11}$$

Далее определили $\dot{T}_0$.

В начальный момент времени

$$q_{изл} = C_v m \frac{dT}{d\tau}.$$

Откуда

$$\dot{T}_0 = \frac{q_{изл}}{C_v m}.$$

Поэтому формула (11) преобразуется в виду

$$T_{уст} = T_0 + \frac{H q_{изл}}{C_v m}. \tag{12}$$

Для условий установившегося режима нагрева, т.е. при $\frac{dT}{d\tau} = 0$, по зависимости (1) получена формула для определения коэффициента теплоотдачи тела k

$$k = \frac{\frac{q_{изл}}{F} - \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4}{T_{уст} - T_0}. \tag{13}$$

Далее по выражению (10), получена формула времени нагрева тела τ до заданной температуры T

$$T - T_0 = \dot{T}_0 H \left(1 - \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right) \right), \; 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right) = \frac{T - T_0}{\dot{T}_0 H}, \; \exp\left(-\frac{\tau}{H}\right) = 1 - \frac{T - T_0}{\dot{T}_0 H}.$$

После логарифмирования по основанию e, получили выражение

$$-\frac{\tau}{H} = \ln\left(1 - \frac{T - T_0}{\dot{T}_0 H}\right), \; \tau = -H \ln\left(1 - \frac{T - T_0}{\dot{T}_0 H}\right),$$

$$\tau = H \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{T - T_0}{\dot{T}_0 H}}\right). \tag{14}$$

Из выражения (9) видно, что при условии $\tau = 6H$ скорость роста температуры будет минимальной и прирост температуры составит 10^{-3} °*C*/сек, т.е. через время равное 6*H*, практически наступит установившийся режим $T_{уст} = 6H$.

После анализа формул (14), (10), (7) и (13) установлено, что для расчета технологических параметров нагрева (времени и температуры нагрева), необходима формула расчета мощности инфракрасного излучения $q_{изл}$.

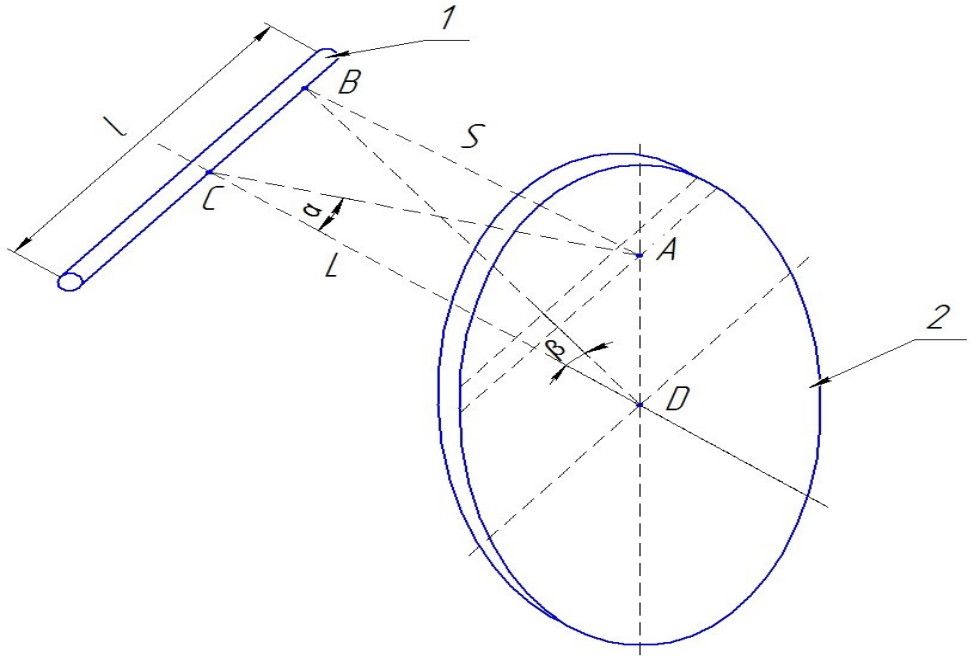
Расчёт мощности инфракрасного излучения $q_{изл}$ от инфракрасного излучателя

Фронт падающей на подшипниковый щит волны представили как цилиндрическую поверхность (без учёта краевых эффектов).

Формула для расчета расстояния S от т. А до т. В имеет вид (рисунок 2)

$$S^2 = L^2 + L^2 tg^2\beta + L^2 tg^2\alpha,$$

$$S^2 = L^2\left(\frac{1}{\cos^2\beta} + tg^2\alpha\right).$$



1 – инфракрасный излучатель; 2 – деталь; L – расстояние от излучателя до детали;
ℓ – длина излучателя; т. А – точка на элементарной площадке $d\delta$ поверхности детали;
В и С – точки на элементарных участках излучателя; D – центр оси вращения детали;
$\angle\alpha$ – угол в вертикальной плоскости, $0 \le \angle\alpha \le \alpha_0$;
$\angle\beta$ – угол в горизонтальной плоскости, $0 \le \angle\beta \le \beta_0$

Рисунок 2 – Схема облучения подшипникового щита

Поверхность излучателя условно разбили на элементарные участки излучения длиной *dl*

$$dl = \frac{L}{\cos\beta} d\beta.$$

Ввели величину – удельная мощность излучения

$$q_{уд} = \frac{Q_{изл}}{l},$$

где $Q_{изл}$ – мощность излучателя электрическая, Вт.

В этом случае элементарную мощность (мощность элементарного участка излучения) можно определить по формуле

$$q_{уд}dl = \frac{Q_{изл}}{l}\frac{L}{\cos\beta}d\beta.$$

Элементарная интенсивность волны от элементарного участка излучения в т. *A*

$$dI = \frac{2q_{уд}dl}{4\pi S^2} = \frac{2Q_{изл}Ld\beta}{l\cos\beta 4\pi L^2\left(\frac{1}{\cos^2\beta}+tg^2\alpha\right)} = \frac{Q_{изл}}{2\pi Ll}\frac{d\beta}{\left(\frac{1}{\cos\beta}+\cos\beta\times tg^2\alpha\right)}.$$

Фиксируя значения α, можно записать для интенсивности волны, падающей на элементарную площадку $d\delta$ выражение

$$I = \frac{Q_{изл}}{2\pi Ll}\int_0^{\beta_0}\frac{d\beta}{\frac{1}{\cos\beta}+\cos\beta\times tg^2\alpha},$$

где β_0 – предельное значение угла β, $\beta_0 = arctg\left(\frac{l}{2L}\right)$, рад.

При этом элементарная мощность от ИК-излучателя получит вид

$$dq_{изл} = Id\delta.$$

Используя рисунок 2 определили элементарную площадку $d\delta$

$$d\delta = 2\sqrt{\frac{D^2}{4}-(Ltg\alpha)^2}\,\frac{L}{\cos\alpha}d\alpha.$$

После интегрирования получена формула мощности инфракрасного излучения от излучателя $q_{изл}$

$$q_{изл} = \frac{2Q_{изл}}{\pi l}\int_0^{\alpha_0}\frac{\sqrt{\frac{D^2}{4}-(Ltg\alpha)^2}}{\cos\alpha}d\alpha\int_0^{\beta_0}\frac{d\beta}{\frac{1}{\cos\beta}+\cos\beta\times tg^2\alpha}, \quad (15)$$

где $\alpha_0 = arctg\left(\frac{D}{2L}\right)$ из рисунка 2.

Необходимо учитывать конструктивные параметры установки (угол рассеивания отражателя φ, КПД излучателя μ) и степень черноты тела ε. После ввода этих величин формула (15) получила вид

$$q_{изл} = \frac{2Q_{изл}\mu}{\pi l}\frac{2\pi\varepsilon}{\varphi}\int_0^{\alpha_0}\frac{\sqrt{\frac{D^2}{4}-(Ltg\alpha)^2}}{\cos\alpha}d\alpha\int_0^{\beta_0}\frac{d\beta}{\frac{1}{\cos\beta}+\cos\beta\times tg^2\alpha},$$

где φ – угол рассеивания отражателя, рад; μ – КПД излучателя.

В итоге мощность инфракрасного излучения от инфракрасного излучателя следует определять по формуле

$$q_{изл} = \frac{4Q_{изл}\mu\varepsilon}{\varphi l}\int_0^{\alpha_0}\frac{\sqrt{\frac{D^2}{4}-(Ltg\alpha)^2}}{\cos\alpha}d\alpha\int_0^{\beta_0}\frac{d\beta}{\frac{1}{\cos\beta}+\cos\beta\times tg^2\alpha}. \quad (16)$$

С целью проверки корректности полученной модели провели контрольный эксперимент. Исследования проводили, нагревая подшипниковый щит электродвигателя 4А112-2. Для нагрева использовали установку, которая включала: отражатель марки QTSR и инфракрасную лампу QTS мощностью 750 Вт.

В таблице 1 приведены результаты контрольного эксперимента. На рисунке 3 показаны расчетная и экспериментальная зависимости температуры подшипникового щита Т от времени нагрева τ .

Таблица 1 – Расчетные и экспериментальные значения параметров нагрева корпусной детали типа II

Расстояние L, м	Константа нагревания H , с	Температура t , °С		Время нагрева τ , мин	
		Расчетная	Экспериментальная	Расчетная	Экспериментальная
0,20	715,7	86,7	88,1	78,8	82,0
0,25	943,0	73,5	71,5	89,0	94,0
0,30	1128,8	68,5	65,7	124,3	130,0

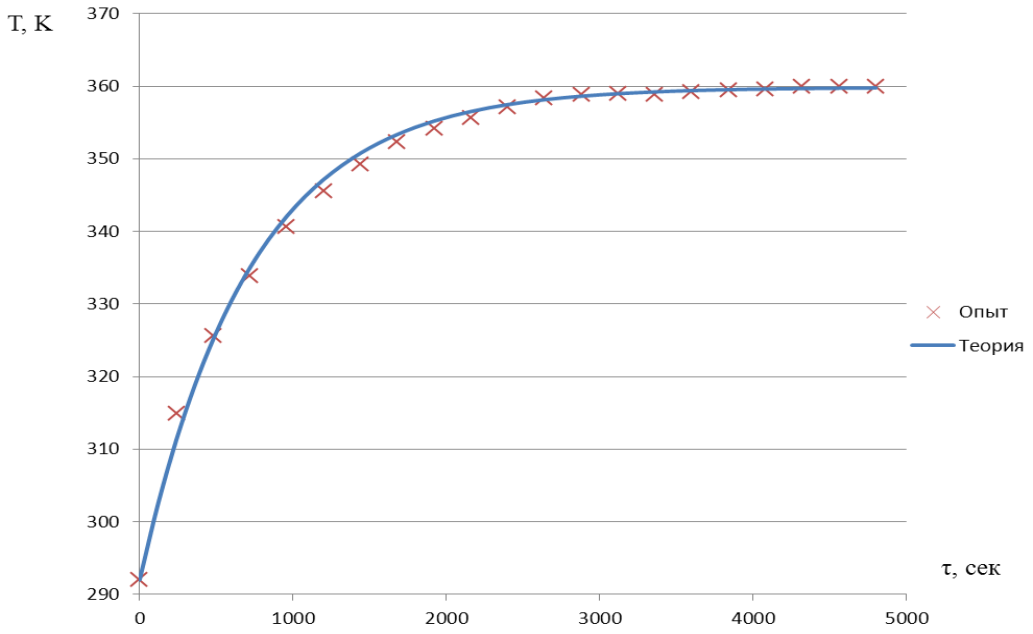


Рисунок 2 – Расчетная и экспериментальная зависимости температуры подшипникового щита T от времени нагрева τ

Относительная погрешность при расчете температуры колеблется от 1,6% до 4,3%, времени нагрева – от 3,9 до 5,3%.

Выводы.

1. Проведены теоретические исследования и получена модель терморадиационного нагрева корпусных деталей типа II при восстановлении полимерными материалами. Модель позволяет с учетом конструктивных параметров инфракрасной установки, расстояния от излучателя до детали, рассчитать время и температуру нагрева корпусных деталей.

2. Контрольным экспериментом установлена высокая сходимость расчетных и экспериментальных значений параметров нагрева корпусной детали, корректность полученной модели.

Список литературы

1. Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 10. – С. 16–21.

2. Кононенко А.С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков // Дис. докт. техн. наук. (05.20.03) – Москва, 2012. – 405 с.

3. Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 130 – 134.

4. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 1. С. 89 – 94.

5. Курчаткин В.В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами // Дис. докт. техн. наук. (05.20.03) – Москва, 1989. – 407 с.

6. Ли Р.И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники. Липецк: Изд-во ЛГТУ, – 2014. – 379 с.

7. Ли Р.И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография. Липецк: Изд-во ЛГТУ, – 2017. – 224 с.

8. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А., Батищев А.Н. Надежность и ремонт машин / под ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.

9. Ли Р.И., Кирсанов Ф.А., Киба М.Р. Технология и оснастка для высокоточного восстановления полимером посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники // Клеи. Герметики. Технологии. – 2016. – №3. – С. 28 – 33.

10. Ли Р.И., Мироненко А.В. Восстановление корпусных деталей автомобильной техники полимер-полимерной композицией // Мир транспорта и технологических машин – 2016. – №4. – С. 9 – 15.

11. Машин Д.В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники композицией на основе эластомера Ф-40 // Дис. канд. техн. наук. (05.20.03) – Мичуринск, 2013. – 149 с.

12. Колесников А.А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки // Дис. канд. техн. наук. (05.22.10) – Орел, 2017. – 179 с.

13. Кузовлев, В. А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / под ред. Л.Р. Стоцкого. – М.: Высшая школа, 1983. 680 с.

14. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 2: Термодинамика и молекулярная физика – М, 2005. – 551 с.

15. Ли Р.И., Псарев Д.Н., Быконя А.Н. Математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом // Клеи. Герметики, Технологии. – 2019. – № 9. – С. 38 – 43.

References

1. Kolomejchenko A.V., Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Logachyov V.N., Titov N.V. Texnologiya vosstanovleniya s uprochneniem detalej mashin na osnove primeneniya mikrodugovogo oksidirovaniya // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – 2014. – № 10. – S. 16–21.

2. Kononenko A.S. Povyshenie nadezhnosti nepodvizhnyx flancevyx soedinenij sel'skoxozyajstvennoj texniki ispol'zovaniem nanostrukturirovannyx germetikov // Dis. dokt. texn. nauk. (05.20.03) – Moskva, 2012. – 405 s.

3. Zhachkin S.Yu., Krasnova M.N., Pen'kov N.A., Krasnov A.I. Modelirovanie mexanicheskogo vozdejstviya instrumenta pri poluchenii gal'vanicheskix kompozitnyx pokrytij // Trudy GOSNITI. – 2015. – T. 120. – S. 130 – 134.

4. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Povyshenie stojkosti polimernyx kompozitov xolodnogo otverzhdeniya k vozdejstviyu rabochix zhidkostej ispol'zovaniem nanomaterialov // Mezhdunarodnyj texniko-e'konomicheskij zhurnal. – 2015. – № 1. S. 89 – 94.

5. Kurchatkin V.V. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kacheniya sel'skoxozyajstvennoj texniki polimernymi materialami // Dis. dokt. texn. nauk. (05.20.03) – Moskva, 1989. – 407 s.

6. Li R.I. Texnologii vosstanovleniya i uprochneniya detalej avtotraktornoj texniki. Lipeck: Izd-vo LGTU, – 2014. – 379 s.

7. Li R.I. Polimernye kompozicionnye materialy dlya fiksacii podshipnikov kacheniya v uzlax mashin: monografiya. Lipeck: Izd-vo LGTU, – 2017. – 224 s.

8. Kurchatkin V.V., Tel'nov N.F., Achkasov K.A., Batishhev A.N. Nadezhnost' i remont mashin / pod red. V. V. Kurchatkina. – M.: Kolos, 2000. – 776 s.

9. Li R.I., Kirsanov F.A., Kiba M.R. Texnologiya i osnastka dlya vysokotochnogo vosstanovleniya polimerom posadochnyx otverstij v korpusnyx detalyax avtotraktornoj texniki // Klei. Germetiki. Texnologii. – 2016. – №3. – S. 28 – 33.

10. Li R.I., Mironenko A.V. Vosstanovlenie korpusnyx detalej avtomobil'noj texniki polimer-polimernoj kompoziciej // Mir transporta i texnologicheskix mashin – 2016. – №4. – S. 9 – 15.

11. Mashin D.V. Povyshenie e'ffektivnosti vosstanovleniya posadochnyx otverstij v korpusnyx detalyax avtotraktornoj texniki kompoziciej na osnove e'lastomera F-40 // Dis. kand. texn. nauk. (05.20.03) – Michurinsk, 2013. – 149 s.

12. Kolesnikov A.A. Povyshenie kachestva vosstanovleniya korpusnyx detalej avtomobilej polimernymi kompozicionnymi materialami posle ul'trazvukovoj obrabotki // Dis. kand. texn. nauk. (05.22.10) – Orel, 2017. – 179 s.

13. Kuzovlev, V. A. Texnicheskaya termodinamika i osnovy teploperedachi / pod red. L.R. Stockogo. – M.: Vysshaya shkola, 1983. 680 s.

14. Sivuxin D.V. Obshhij kurs fiziki. Tom 2: Termodinamika i molekulyarnaya fizika – M, 2005. – 551 s.

15. Li R.I., Psarev D.N., Bykonya A.N. Matematicheskaya model' infrakrasnogo nagreva korpusnyx detalej pri vosstanovlenii polimernym materialom // Klei. Germetiki, Texnologii. – 2019. – № 9. – S. 38 – 43.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ли Роман Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: romanlee@list.ru.

Псарев Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Быконя Андрей Николаевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: loseroff@mail.ru.

Пчельников Андрей Витальевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: lime-ebay@rambler.ru.

Мельников Антон Юрьевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Li Roman – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: romanlee@list.ru.

Psarev Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Bykonya Andrew – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: loseroff@mail.ru.

Pchelnikov Andrew – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: lime-ebay@rambler.ru.

Melnikov Anton – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.12.2019 Принята к публикации (Accepted): 31.01.2020

УДК 637.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-60-69

ЗАГРЯЗНЯЕМОСТЬ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЕМКОСТЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАЗНАЧЕНИЙ

[1]Анохин Сергей Александрович
[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Гуськов Артем Анатольевич
[1]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1]Родионов Юрий Викторович
[1]Филатов Иван Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *В работе рассмотрены теоретические вопросы загрязняемости поверхностей емкостей, используемых в сельском хозяйстве. Было проведено исследование на степень загрязняемости поверхностей, в зависимости от рода материала, технологической обработки и пространственного положения поверхности. Качественный показатель загрязняемости определялся по косвенным количественным параметрам остаточной массы продукта на поверхности и скорости протекания продукта по поверхности. Определение скорости протекания производилось с целью имитации слива продукта из системы оборудования, так как остатки продукта в процессе стекания по поверхности подвергаются высыханию, что способствует увеличению адгезии. В качестве загрязнителя было выбрано молоко жирностью 3,5%, соответствующее ГОСТ Р 31449 – 2013, как наиболее распространенный пищевой продукт сельского хозяйства. В качестве исследуемой поверхности рассматривали сталь 15 с параметром шероховатости (Ra) 0,15; 0,2; 0,4; 0,8 мкм, и полимерные материалы ПВХ, ПЭВП. Исследование состояло из трех отдельных экспериментов, в которых определяли зависимости остаточной массы загрязнителя от шероховатости пластины при капельном и пленочном течении и от ее пространственного положения. Эксперимент проводился при углах наклона 30°, 45° и 60°. Установили, что загрязнение поверхности в массовом выражении возрастает в прямо пропорциональной зависимости от увеличения шероховатости поверхности. Скорость загрязнения обратно пропорциональна изменению пространственного положения поверхности.*

Ключевые слова: *агротехнологии, технологии мойки и очистки, шероховатость, адгезионные свойства, полимеры.*

POLLUTION OF INTERNAL SURFACES OF RESERVOIRS OF AGRICULTURAL PURPOSES

[1]Anokhin Sergey
[1]Voronin Nikolay
[1]Guskov Artem
[1]Nikitin Dmitriy
[1]Rodionov Yuriy
[1]Philatov Ivan
[1]FSBEI HE "Tambov State Technical University"

Abstract: *Theoretical issues of contamination of the surfaces of containers used in agriculture are considered in the work. A study on the degree of contamination of surfaces was carried out, depending on the type of material, technological processing and spatial position of the surface. A qualitative indicator of contamination was determined by indirect quantitative parameters of the residual mass of the product on the surface and the speed of the product on the surface. The determination of the flow rate was carried out in order to simulate the discharge of the product from the equipment system, since product residues during drying over the surface undergo drying, which helps to increase adhesion. Milk with a fat content of 3.5%, corresponding to GOST R 31449 - 2013, was chosen as a pollutant, as the most common agricultural food product. Steel 15 with a roughness parameter (Ra) of 0.15 was considered as the*

investigated surface; 0.2; 0.4; 0.8 microns, and polymeric materials PVC, HDPE. The study consisted of three separate experiments, in which the dependences of the residual mass of the pollutant on the roughness of the plate during the drip and film flow and on its spatial position were determined. The experiment was conducted at tilt angles of 30 °, 45 °, and 60 °. It was found that surface contamination in mass terms increases in direct proportion to the increase in surface roughness. The rate of contamination is inversely proportional to the change in the spatial position of the surface.

Keywords: *agricultural technologies, washing and cleaning technologies, roughness, adhesive properties, polymers.*

Введение. Развитие современных науки и техники предоставляет инженерам-конструкторам, инженерам-технологам и другим заинтересованным лицам практически неограниченный выбор материалов для проектирования отдельных деталей, установок и производственных линий с более выгодными технико-эксплуатационными параметрами.Не менее важным является и применение новых технологий обработки данных материалов, снижающие стоимость изготовления и ремонтных работ[1, 2].

При производстве и переработке жидких продуктов и полуфабрикатов сельскохозяйственной отрасли традиционно используют в конструкциях алюминиевые сплавы, сплавы нержавеющих сталей, резиновые материалы, стекло, а также происходит внедрение полимеров. Поверхности указанных материалов обладают различными адгезионными и коррозийными свойствами, что сказывается на эффективности их очистки [3].

В производстве молока коррозийные свойства материалов влияют на износостойкость оборудования, а его адгезионные свойства на подготовку оборудования к производственным процессам [4]. В первую очередь подготовка оборудования включает в себя этап мойки поверхностей, соприкасающихся с продуктом [5, 6]. Выбор технологии мойки зависит в первую очередь от вида продукта, который выступает в данном случае загрязнителем, и материала поверхности. Сложность заключается в том, что оборудование может состоять из деталей, изготовленных из разных материалов, что особенно проявляется в замкнутой производственной линии [7-9].

Как правило, поверхности, соприкасающиеся с продуктом, являются внутренними с множеством искривлений и разной степенью обработки, которая определяется в первую очередь шероховатостью.

Материалы и методы.

В настоящей работе было проведено исследование на степень загрязняемости поверхностей в зависимости от рода материала, степени шероховатости и пространственного положения поверхности, тем самым проверялись адгезионные свойства молока и материала в разных условиях. Исследовались 6 образцов, рисунок 1: сталь 15 с шероховатостями Ra (0,15; 0,2; 0,4; 0,8 мкм), $№_{образца}$ 1 – 4; ПВХ, $№_{образца}$ 5; ПЭВП, $№_{образца}$ 6.

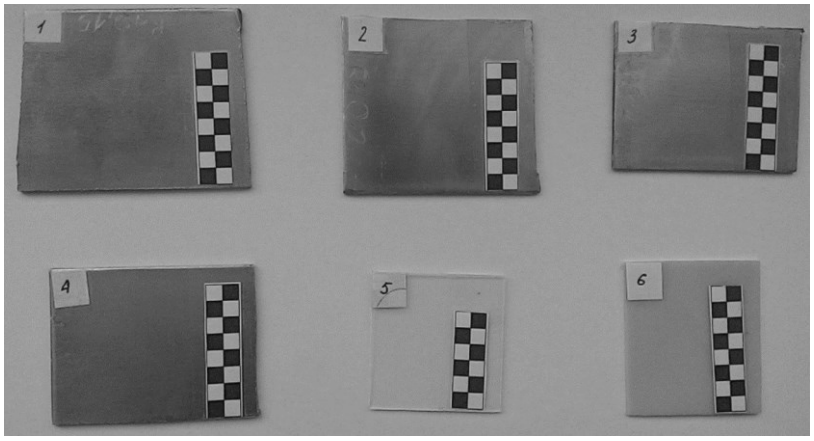
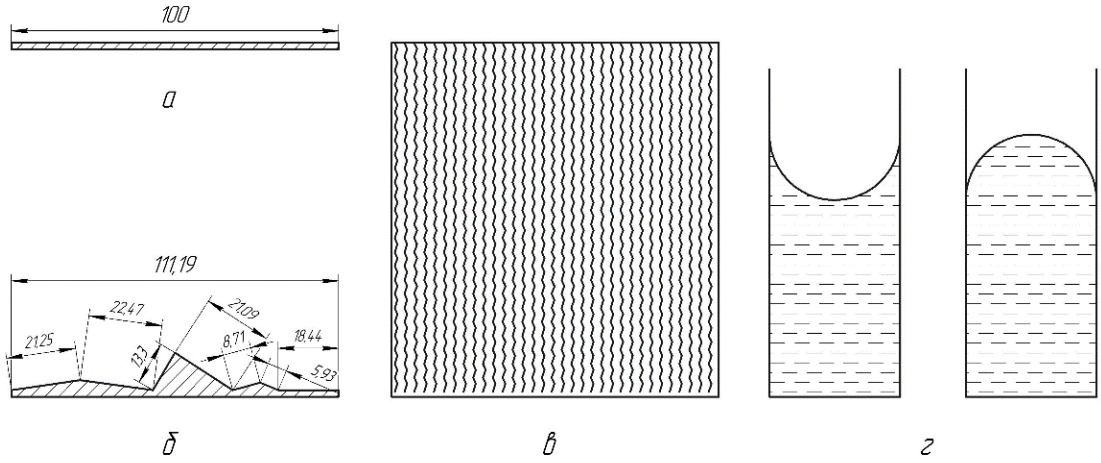


Рисунок 1 – Испытуемые образцы материалов

За рабочую гипотезу было принято следующее – шероховатость поверхности и ее пространственное расположение прямо пропорционально влияет на степень ее загрязнения. Это влияние характеризуется тем, что с увеличением степени шероховатости увеличивается площадь соприкасающейся с загрязнителем поверхности, что в свою очередь усиливает такие адгезионные эффекты как капиллярность и смачиваемость. На рисунке 2 «а» и «б» представлены линейные размеры профилей поверхностей пластин с шероховатостями Ra = 0 и Ra> 0, из которых следует, что модель «б» имеет большие геометрические размеры поверхности контактирующей с загрязнителем на 10 %.



а) модель поверхности пластины с шероховатостью Ra = 0;
б) модель поверхности пластины с шероховатостью Ra> 0;
в) модель имитации «капилляров» на поверхности пластин;
г) модели менисков в узких «капиллярах» на поверхности

Рисунок 2 – Свойства поверхности пластин

Кроме того, расположение отдельных неровностей в пространстве формируют различные углы наклона течения жидкости. В целом поверхность пластин с шероховатостью отличной от нуля имеет рельефную структуру, напоминающую сеть капилляров, рисунок 2 «в», с соответствующими особенностями адгезионных свойств, в том числе образования менисков, рисунок 2 «г».

Известно, что поверхностное натяжение оказывает существенное влияние на механику движения загрязнителя по поверхности и форму его капель, в первую очередь на скорость течения. Скорость важна при оценке времени извлечения продукта и удаления его с внутренней поверхности емкости [10, 11]. Низкая скорость может являться причиной потери влаги в загрязнителе, например, в процессе испарения, повышением его вязкости и прилипанию к поверхности.

На представленных геометрических моделях наблюдается изменение угла смачиваемости в зависимости от угла наклона поверхности пластины в пространстве, рисунок 3 «а» – «г».

Качественный показатель загрязняемости определялся по косвенным количественным параметрам остаточной массы продукта на поверхности и скорости протекания продукта по поверхности. Определение скорости протекания производилось с целью имитации слива продукта из системы оборудования, так как остатки продукта в процессе стекания по поверхности подвергаются высыханию, что способствует увеличению адгезии [12]. В качестве загрязнителя было выбрано молоко жирностью 3,5%, соответствующее ГОСТ Р 31449 – 2013, как наиболее распространенный пищевой продукт сельского хозяйства.

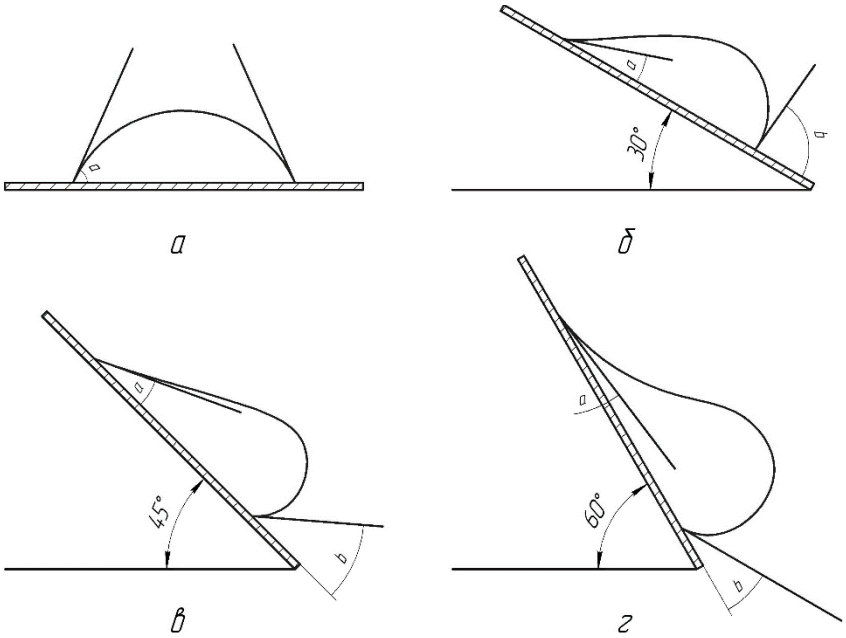


Рисунок 3 – Графическая модель механики движения капли молока по поверхности в разных пространственных положениях: а) угол наклона пластины 0°; б) 30°; в) 45° и г) 60°

Исследование состоит из трех отдельных экспериментов:

1. Определение зависимости остаточной массы загрязнителя от шероховатости пластины при капельном течении. На поверхности пластин с разной степенью шероховатости на одинаковом расстоянии наносилось определенное количество загрязнителя ($m_з$ = 0,02 г). Через заданный промежуток времени пластины взвешивались и определяли массу загрязнителя на них, зная массу чистых пластин.

2. Определение зависимости остаточной массы загрязнителя от шероховатости при пленочном течении. Пластины одной гранью погружали в загрязнитель. Затем пластину вывешивали параллельно действию силы тяжести, давая возможность стечь части загрязнителя, которая не прилипла к поверхности. Затем проводилось взвешивание, определяя массу загрязнителя.

3. Определение зависимости скорости капельного течения от шероховатости пластины, а также от ее пространственного положения. При помещении определенного количества молока в заданную точку поверхности, расположенную по определенном углом, производилась видеосъемка стекания загрязнителя по поверхности. После чего, проводя покадровый анализ, по известному расстоянию и скорости съемки определяли скорость течения по поверхности. Эксперимент проводился при углах наклона 30°, 45° и 60°.

Результаты экспериментов сведены в таблицы 1 – 2.

Таблица 1 – Сводные данные по массовым экспериментам (1 и 2) загрязнения материалов

№ обр.	$m_{пл}$, г	$m_к$, г	$m_п$, г	F, мм^2	$m_{зк}$, г	$m_{зп}$, г	$m_{уд}$, г·10^{-5}	Ra, мкм
1	55,9609	55,9628	56,0083	3729,6731	0,0019	0,0474	1,27089	0,15
2	51,4991	51,5124	51,5765	3486,1239	0,0133	0,0774	2,22023	0,2
3	43,5149	43,519	43,5871	2995,2181	0,0041	0,0722	2,41051	0,4
4	43,0077	43,0154	43,0736	2948,4958	0,0077	0,0659	2,23504	0,8
5	2,1552	2,1629	2,1784	1892,0592	0,0077	0,0232	1,22618	0
6	2,4184	2,4301	2,4634	2249,7775	0,0117	0,045	2,0002	0,1

В таблице 1 представлены номера образцов, шероховатости их исследуемых поверхностей (Ra), массы чистых пластин ($m_{пл}$), массы пластин, после обработки загрязнителем заданного количества ($m_к$), массы пластин после погружения гранью в загрязнитель ($m_п$), площади

поверхностей пластин (F), массы остатка загрязнителя, после обработки пластин заданным количеством ($m_{зк}$), массы остатка загрязнителя на пластинах, после их погружения в загрязнитель ($m_{зп}$) и удельные массы загрязнителя на пластинах ($m_{уд}$).

Удельная масса загрязнителя на пластинах была принята за наиболее объективный показатель загрязненности поверхностей пластин, так как она учитывает площадь поверхностей, реагирующей с загрязнителем, и рассчитывалась по формуле:

$$m_{уд} = \frac{m_{зп}}{F}, \text{ г/мм}^2$$

Таблица 2 – Данные зависимости скорости течения загрязнителя по поверхностям пластин в зависимости от шероховатости и угла наклона

№ стр.	№ обр.	n, шт.	N, c^{-1}	l, мм	v, м/с	$v_{ср}$, м/с	Ra, мкм
α = 30°							
1	1	102	35	35	0,01201	0,01201	0,15
2	2	491	37	35	0,002637	0,003084	0,2
3		1007	36	30	0,001072		
4		221	35	35	0,005543		
5	3	197	34	35	0,006041	0,006041	0,4
6	4	189	36	35	0,006667	0,006667	0,8
7	5	52	35	25	0,016827	0,016827	0
8	6	58	35	35	0,021121	0,021121	0,1
α = 45°							
9	1	139	36	35	0,009065	0,009065	0,15
10	2	113	36	35	0,01115	0,012004	0,2
11		98	36	35	0,012857		
12	3	9,5	35	35	0,128947	0,128947	0,4
13	4	342	35	35	0,003582	0,003582	0,8
14	5	6	35	25	0,145833	0,145833	0
15	6	6	36	35	0,21	0,21	0,1
α = 60°							
16	1	9	36	35	0,14	0,14	0,15
17	2	7	37	35	0,185	0,177885	0,2
18		6,5	37	30	0,170769		
19	3	7	35	35	0,175	0,175	0,4
20	4	6,5	35	35	0,188462	0,188462	0,8
21	5	6	35	25	0,145833	0,145833	0
22	6	3	35	35	0,408333	0,408333	0,1

Определение скорости движения заданного количества загрязнителя по поверхности производилось с помощью видеосъемки по известному расстоянию (l). Отношение количества кадров (n) перемещения на известную скорость съемки (N) представляет собой время, затрачиваемое загрязнителем на преодоление расстояния. Отношение расстояния на время позволило рассчитать скорость загрязнителя с учетом шероховатости (Ra) и угла наклона поверхности пластины (α). Общая формула для расчета скорости представляет собой следующий вид:

$$v = \frac{N \cdot l}{n \cdot 1000}, \text{ м/с}$$

В таблице 2 $v_{ср}$ является усредненным значением скорости повторных экспериментов для некоторых образцов. Данные зависимости скорости от угла наклона пластины выделены в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимость скорости загрязнителя по поверхности пластины в зависимости от угла наклона

№ обр.	α			Ra, мкм
	30°	45°	60°	
1	0,012	0,009	0,14	0,15
2	0,003	0,012	0,178	0,2
3	0,006	0,13	0,175	0,4
4	0,007	0,004	0,189	0,8
5	0,017	0,15	0,15	0
6	0,02	0,21	0,41	0,1

В результате применения метода интерполяции данных по Лагранжу были получены функциональные зависимости рассматриваемых количественных и качественных параметров загрязненности поверхности от степени шероховатости пластин.

Зависимость удельного веса загрязнителя от изменения шероховатости:

$$m_{уд}(Ra) = 0.1444\ Ra^5 - 0.2173\ Ra^4 + 0.1022\ Ra^3 - 0.01788\ Ra^2 + 0.001047\ Ra + 1.226 \cdot 10^{-5}.$$

Зависимость скорости течения загрязнителя по поверхности при наклоне 30° от изменения шероховатости:

$$v_c(Ra) = 9.751\ Ra^5 - 21.35\ Ra^4 + 15.95\ Ra^3 - 4.553\ Ra^2 + 0.3591\ Ra + 0.01683.$$

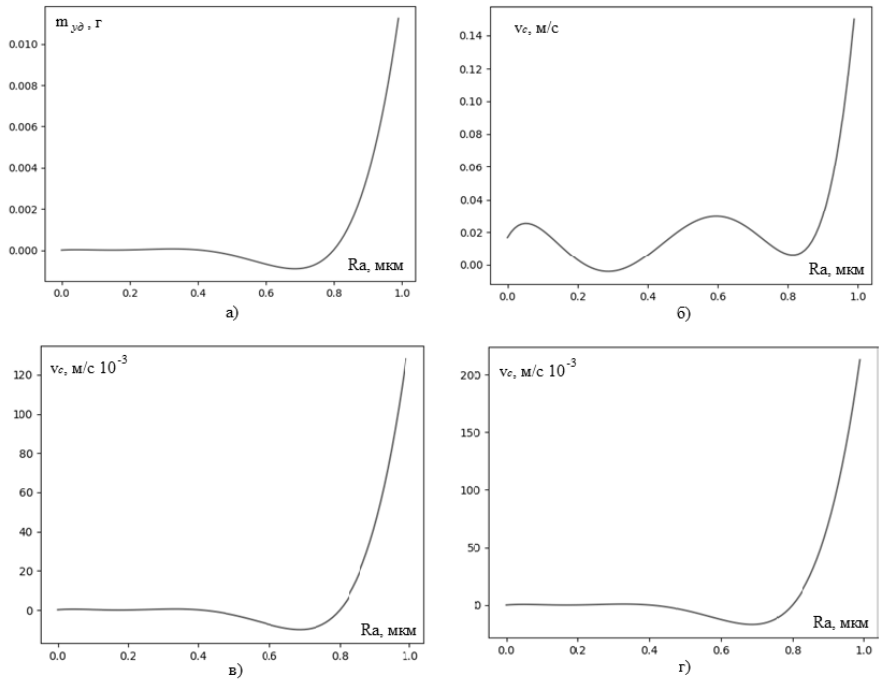
Зависимость скорости течения загрязнителя по поверхности при наклоне 45° от изменения шероховатости:

$$v_c(Ra) = 1746\ Ra^5 - 2704\ Ra^4 + 1336\ Ra^3 - 250.8\ Ra^2 + 14.89\ Ra + 0.1458.$$

Зависимость скорости течения загрязнителя по поверхности при наклоне 60° от изменения шероховатости:

$$v_c(Ra) = 2851\ Ra^5 - 4391\ Ra^4 + 2157\ Ra^3 - 407\ Ra^2 + 25.87\ Ra + 0.1458.$$

На рисунке 5 представлены графики указанных полиномов.



а) $m_{уд}(Ra)$; б) $v_c(Ra)$ при 30°; в) $v_c(Ra)$ при 45°; г) $v_c(Ra)$ при 60°

Рисунок 4 – Графики полиномов

При этом следует отметить, что коррелируемость полученных значений скорости со степенью шероховатости при увеличении угла наклона уменьшается, однако всегда обратно пропорциональна. Удельная масса загрязнителя коррелируется прямо пропорционально. Коэффициенты корреляции представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции параметров загрязнителя с шероховатостью

Соотношение f(x)	Угол, α°	Коэффициент корреляции, С
$m_{уд}$(Ra)	-	0.6180272
v_c(Ra)	30	-0.57436954
v_c(Ra)	45	-0.47656159
v_c(Ra)	60	-0.14774532

Анализ также показал, что независимо от степени шероховатости существует устойчивое соотношение скорости течения загрязнителя от пространственного положения поверхности пластины, коэффициент корреляции С> 0,8.

В работе также было рассмотрено влияние шероховатости поверхностей металлических и полимерных материалов, распространенных в мировой практике сельского хозяйства, на их биологическую активность и локальную коррозию поверхности по отношению к молочнокислым бактериям. На пластины наносилось равное количество молока. После этого пластины оставлялись на открытом воздухе в течении трех суток при температуре окружающей среды Т = 27°С. После выдержки был произведен смыв загрязнителя с поверхности пластин, после чего была произведена визуальная их оценка. На образцах 5 и 6 (полимерные материалы) каких-либо видимых следов коррозии на поверхности обнаружено не было, а на образцах 1 – 4 такие следы присутствовали. Можно сделать вывод, что наиболее стойкими к биологической активности и стойкими к коррозии в сравнении с металлическими образцами являются полимерные материалы.

На рисунке 5 представлены образцы с коррозией на поверхности.

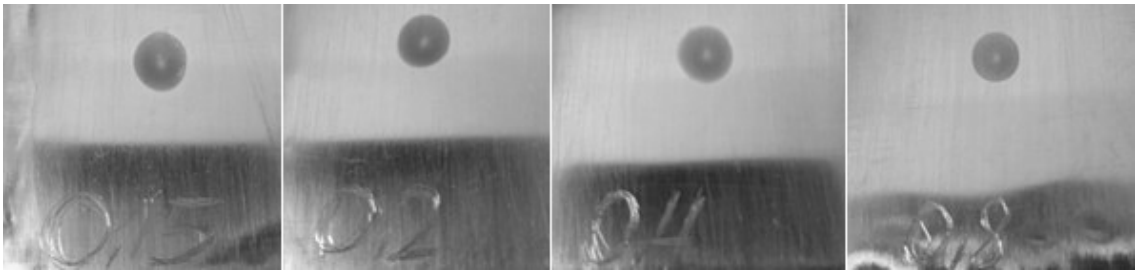


Рисунок 5 – Коррозийные пятна на поверхностях стали 15 с разной степенью шероховатости

Заключение. В результате исследования можно сделать следующие выводы:

- шероховатость поверхности оказывает непосредственное влияние на степень ее загрязняемоти;
- скорость течения загрязнителя (молока) зависит от его адгезионных свойств и свойств материала поверхности;
- скорость течения загрязнителя (молока) зависит от пространственного расположения поверхности;
- количество загрязнителя (в массовом выражении) растет прямо пропорционально увеличению шероховатости;
- скорость имеет слабую обратную зависимость от степени шероховатости поверхности;
- зависимость скорости от шероховатости обратно пропорциональна с изменением пространственного положения поверхности.

В итоге наблюдается некоторая зависимость процесса загрязняемости внутренних поверхностей промышленных и транспортируемым емкостей, используемых в сельском хозяйстве (например, для молока такими условными емкостями являются молочные цистерны, фляги, а

также элементы доильных установок, в том числе трубопроводы), от применяемых материалов и технологий их обработки. Такая зависимость подразумевает пересмотреть подходы к выбору конструкционных материалов, их обработки, а также их эксплуатации – выбор технологии мойки и очистки.

Список литературы

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11. Керученко Л.С., Троценко В.В., Кулаева А.Г., Союнов А.С., Троценко И.В. Силовые взаимодействия частиц загрязнений с поверхностью молокопровода // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (35). – С. 94 – 101.

12. Костюкевич С.А. Усовершенствованная технология промывки доильно-молочного оборудования // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 6. – С. 35 – 38.

References

1. Petrashev A.I., Klepikov V.V., Knyazeva L.G., Zarapina I.V. E'kspress-metod ocenki smachivayushhix svojstv konservacionnyx sostavov // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 4. – S. 73 – 85.

2. Dorovskix V.I., Dorovskix D.V. Analiz vliyaniya kachestva texnologicheskix processov na e'ffektivnost' proizvodstva moloka // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 3. – S. 37 – 41.

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

4. Dorovskix V.I., Dorovskix D.V., Al'lami S.F. Xasnavi Obosnovanie kriteriev ocenki e'ffektivnosti ispol'zovaniya oborudovaniya dlya pervichnoj obrabotki moloka // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. – № 5. – S. 62 – 69.

5. Matushkin P.A., Zavrazhnov A.I. Obrabotka molochnogo oborudovaniya s pomoshh'yu peny // Importozameshhayushhie texnologii i oborudovanie dlya glubokoj kompleksnoj pererabotki sel'skoxozyajstvennogo syr'ya: materialy I Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem / pod obshh. red. Yu.V. Rodionova ; FGBOU VO «TGTU». – Tambov: Izdatel'skij centr FGBOU VO «TGTU», – 2019. – S. 222 – 226.

6. Ushakova V.N. Mojka i dezinfekciya: Pishhevaya promyshlennost', torgovlya, obshhestvennoe pitanie. – SPb.: Professiya, 2009. – 288 s.

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

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

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

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

11. Keruchenko L.S., Trocenko V.V., Kulaeva A.G., Soyunov A.S., Trocenko I.V. Silovye vzaimodejstviya chastic zagryaznenij s poverxnost'yu molokoprovoda // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – № 3 (35). – S. 94 – 101.

12. Kostyukevich S.A. Usovershenstvovannaya texnologiya promyvki doil'no-molochnogo oborudovaniya // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii. – 2017. – № 6. – S. 35 – 38.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

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

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

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

Филатов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: ridder@mail.ru

Author credentials

Affiliations

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

Voronin Nikolay – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

Guskov Artem – Senior lecturer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: tyoma-1@mail.ru.

Nikitin Dmitriy – Candidate of Technical Sciences, associate professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: dmitryndv@gmail.com.

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

Philatov Ivan – Candidate of Technical Sciences, associate professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: ridder@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2020

УДК 631.331
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-69-80

ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ АТМОСФЕР ЖИВОТНОВОДСТВА НА КОРРОЗИЮ МЕТАЛЛОВ

[1]Князева Лариса Геннадьевна
[1]Дорохов Андрей Валерьевич
[1,2]Курьято Николай Алексеевич
[3]Прохоренков Вячеслав Дмитриевич

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Особенностью эксплуатации животноводческих помещений является повышенное количество стимуляторов коррозии (СК) в воздухе, являющихся продуктами жизнедеятельности крупного и мелкого скота. Рассмотрены с химической точки зрения коррозионные процессы, протекающие на поверхности металла под действием СК. В присутствии углекислого газа поверхностная твердофазная пленка носит карбонатный характер, а в присутствии аммиака, вероятно, имеет исключительно оксидную природу. Исследования проводили при концентрациях СК, равных или превышающих предельно допустимые для животноводческих помещений:* CO_2 *– 0,2 об. % (не нормируется),* NH_3 *– 20 мг/м*^{3} *и* H_2S *– 10 мг/м*^{3}*. Использовали электрохимические и гравиметрические методы изучения скорости коррозии на стали. меди и латуни. Исследования проводили в герметичном эксикаторе, объемом 7 литров, в котором на капроновых нитях размещали металлические образцы. Для создания относительной влажности воздуха ~100%, в эксикатор помещали дополнительную емкость с дистиллированной водой или с - разбавленными растворами соединений, из которых в газовой фазе можно получить СК в необходимых концентрациях. Приведены методы расчета концентраций веществ, необходимых для получения заданных концентраций СК в воздухе. Установлено, что при относительной влажности воздуха в 100% углеродистая сталь Ст3 в большей степени подвержена общей коррозии, чем медь или латунь, причем скорость коррозии с течением времени возрастает. Эта тенденция сохраняется в атмосфере* CO_2 *и* H_2S*. В присутствии аммиака максимальные скорости коррозии отмечены для меди. Для борьбы с коррозией в местах контакта с животными рекомендуются исследовать в модельных атмосферах действие отстоев отработанных масел, в качестве ремонтных материалов рассмотреть действие цинк наполненных материалов, в местах, где возможна герметизация защищаемых объемов – летучие ингибиторы коррозии.*

Ключевая слова: *атмосферы животноводческих помещений, стимуляторы коррозии, скорость коррозии, углеродистая сталь, медь, латунь.*

INFLUENCE OF ANGRESSIVE ATMOSPHERES OF ANIMAL BREEDING ON CORROSION OF METALS

[1]Knyazeva Larisa
[1]Dorokhov Andrey
[1,2]Kuryato Nikolay
[3]Prokhorenkov Vyacheslav
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Tambov State University named after G.R. Derzhavina"
[3]FSBEI HE "Tambov State Technical University"

Abstract. *A feature of the operation of livestock buildings is the increased number of corrosion stimulants (SC) in the air, which are the products of vital activity of large and small cattle. Corrosion processes occurring on the metal surface under the influence of SC are considered from a chemical point of view. The surface solid-phase film is carbonate in the presence of carbon dioxide, and in the presence of ammonia, it is likely to have an exclusively oxide nature. The studies were carried out at SC concentrations equal to or exceeding the maximum permissible for livestock buildings: CO_2 - 0.2 vol. % (not standardized), NH_3 - 20 mg / m^3 and H_2S - 10 mg / m^3. Electrochemical and gravimetric methods for studying the corrosion rate on steel, copper and brass were used. The studies were carried out in a sealed desiccator with a volume of 7 liters, in which metal samples were placed on kapron threads. An additional container with distilled water or with diluted solutions of compounds from which SC can be obtained in the gas phase in the required concentrations was placed in a desiccator to create a relative air humidity of ~ 100%. Methods for calculating the concentrations of substances necessary to obtain specified concentrations of SC in air are given. It was found that at a relative humidity of 100%, St3 carbon steel is more susceptible to general corrosion than copper or brass, and the corrosion rate increases with time. This trend persists in the atmosphere of CO_2 and H_2S. Maximum corrosion rates observed for copper in the presence of ammonia. It is recommended to study the effect of waste oil sludge in model atmospheres to combat corrosion in places of contact with animals, to consider the effect of zinc-filled materials as repair materials, in places where sealing of protected volumes is possible - volatile corrosion inhibitors.*

Keywords: *atmosphere of livestock buildings, corrosion stimulants, corrosion rate, carbon steel, copper, brass.*

Введение. Особенностью эксплуатации животноводческих помещений является повышенное количество стимуляторов коррозии (СК) в воздухе, являющихся продуктами жизнедеятельности крупного и мелкого скота. С выделениями животных в воздух попадают водяные пары, аммиак, сероводород, углекислый газ. Существует прямая зависимость между концентрацией углекислого газа и содержанием в нем водяных паров, аммиака, сероводорода [1].

Молекулы воды принимают непосредственное участие в коррозионном процессе. С ними связаны селективное или общее разрушение первичных оксидных слоев на металле:

$$MeO + 2H_2O \rightarrow Me(OH)_2 \rightarrow Me^{2+} + 2OH^- \quad (1)$$

Они необходимы и для протекания процессов электрохимической коррозии непосредственно на металлах:

катодного:

$$2H_2O+2O_2+ 4e\rightarrow 4OH^- \quad (2)$$

и анодного, например, на стали

$$Fe + nH_2O – 2e \rightarrow Fe^{2+}\cdot nH_2O \quad (3)$$

Пары воды легче воздуха почти в два раза, поэтому они будут концентрироваться прежде всего в верхней части помещения, поступая с пола, кормушек, с выделениями животных. Одна корова, массой 400 кг может выделять 8,7 – 13,4 кг водяных паров в сутки, подсосная свиноматка – 2,2 кг, овца – 1,0 – 1,3 кг [2]. Конденсируясь, водяные пары могут образовывать пленки влаги на поверхности металла, в которых будут растворяться агрессивные газы из атмосферы.

Атмосферная коррозия всегда протекает с некоторым участием углекислого газа, содержание которого в воздухе в обычных условиях невелико. Но в атмосфере животноводческих помещений

оно в 2 – 3 раза выше, чем в атмосферном воздухе (0,03 – 0,04 об. %) [2], а при неудовлетворительной работе вентиляционной и канализационной систем концентрация CO_2 может вырасти в 20 – 30 раз (0,5 – 1,0 об. %). Углекислый газ выделяется животными при дыхании. Например, от одной коровы, весом 600 кг и суточным удоем 30 кг, атмосфера животноводческого помещения пополняется 200 л/час CO_2 [2]. Чем больше CO_2 в воздухе, тем больше его растворяется в фазовой поверхностной пленки влаги на металле. Растворимость углекислого газа в воде в 200 раз превышает растворимость кислорода [3]:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow .H_2CO_3 \quad (4)$$

Из-за образующейся угольной кислоты такой вид коррозии называют углекислотной. Коррозионные процессы с участием углекислого газа протекают с водородной деполяризацией, осуществляемой ионами гидроксония из объема раствора, ионами водорода, возникающими при диссоциации угольной кислоты в приэлектродном слое и при прямом восстановлении угольной кислоты [4, 5]:

$$H_2CO_3 + e^- \rightarrow H_{адс.} + HCO_3^- \quad (5)$$

На коррозионные процессы могут оказывать действие и различные соединения углекислоты. Например, в условиях равновесия, определяемого уравнением:

$$Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O \quad (6)$$

если концентрация CO_2 меньше равновесной, на поверхности металла будет выделяться карбонат кальция, образующий пленку с выраженными защитными свойствами. При избытке CO_2 сверх равновесной концентрации будет происходить снижение pH среды, вызывающее растворение защитной пленки в виде карбоната кальция, способствующее развитию коррозии.

В зависимости от парциального давления CO_2 в среде, температуры, pH и других условий возможно возникновение общей или язвенной коррозии на поверхности металла.

Известно [3, 6, 7], что разрушения, характерные для общей и язвенной коррозии, вызывает и сероводород, попадающий в атмосферу животноводческих помещений при гниении белковых серусодержащих веществ и кишечных выделений животных. H_2S хорошо растворяется в фазовой поверхностной пленке воды, возникающей на поверхности металла, стимулируя сероводородную коррозию и наводороживание металлов. H_2S проявляет себя, как слабая кислота.

В зависимости от pH среды катодные реакции различны. В кислой среде основным является восстановление ионов водорода:

$$2\,H^+ + 2\,e^- \rightarrow H_2, \quad (7)$$

Кроме того, ожидаемы следующие процессы:

$$H_2S + 2e^- \rightarrow S^{2-} + H_2 \quad (8)$$

$$2\,H_2S + 2e^- \rightarrow 2HS^- + H_2 \quad (9)$$

Для нейтральной и щелочной сред характерно протекание следующих процессов на катоде:

$$2\,HS^- + 2e^- \rightarrow {}^2S^{2-} + H_2 \quad (10)$$

$$2\,H_2O + 2\,e \rightarrow OH^- + H_2 \quad (11)$$

Кислород в этой среде может служить дополнительным катодным деполяризатором.

Для атмосфер животноводческих помещений характерна высокая концентрация аммиака из-за разложения азотсодержащих веществ (моча, кал): для свинарников 0,004 - 0,035 об. %, конюшни – до 0,04 об. % [1, 8]. Это соединение хорошо растворимо в воде, его содержание в фазовой поверхностной пленке влаги может быть во много раз выше, чем в газовой фазе.

$$NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4OH, \quad (12)$$

$$NH_4OH \leftrightarrow NH_4^+ + OH^- \quad (13)$$

В присутствии аммиака повышается pH в фазовой пленке влаги до 8,0 – 8,5, что не благоприятствует коррозии углеродистой стали. Водный раствор аммиака проявляет слабые основные свойства. Вероятно, рост величины pH приводит к некоторому изменению в структуре поверхностных оксидных пленок, что может сказаться на их защитной способности. Аммиак проявляют высокую агрессивность по отношению к цветным металлам и сплавам в присутствии кислорода, вызывая их коррозионное растрескивание. В обезвоженном состоянии в присутствии углекислого газа и воздуха может вызывать сильное коррозионное растрескивание углеродистой стали.

При совместном присутствии в атмосфере сероводорода и аммиака вероятно осаждение растворимого в воде гидросульфида аммония на поверхности металла. Большой коррозионной активностью отличается жидкая фаза из воды, сероводорода и аммиака.

Металлическое оборудование в животноводческих помещениях подвергается интенсивному коррозионному разрушению (рисунок 1), поэтому исследование скорости коррозии на металлах в присутствии стимуляторов коррозии, характерных для животноводческих помещений, для последующего выбора средств противокоррозионной защиты, является актуальным.

Рисунок 1 – Коррозионные разрушения оборудования в животноводческих помещениях

Материалы и методы исследования. Исследовали коррозионные изменения на углеродистой стали Ст3, меди М1, латуни Л62 в присутствии стимуляторов коррозии CO_2, NH_3, H_2S в концентрациях, не меньших, чем предельно допустимые для животноводческих помещений: $C(CO_2)$ – не нормируется, поэтому была использована концентрация, превышающая на порядок фоновую, которая составляет порядка 0,02 об. %, $C(NH_3)$ – 20 мг/м^3 и $C(H_2S)$ – 10 мг/м^3 [1, 8].

Использовали электрохимические и гравиметрические методы исследования. В качестве герметичной емкости для исследований использовали эксикатор, объемом 7 литров, с притертой крышкой, в котором на капроновых нитях размещали металлические образцы. Для создания относительной влажности воздуха ~100%, в эксикатор помещали дополнительную емкость с дистиллированной водой или с - разбавленными растворами соединений, необходимых для плучения в газовой фазе СК в концентрациях, характерных для атмосфер животноводческих помещений [9, 10]. Для насыщения атмосферы эксикатора одновременно двумя или тремя стимуляторами коррозии (СК), дополнительные емкости с разбавленными растворами исходных веществ, используемых для получения СК, выносили из эксикатора, а полученный СК напускали в него с помощью шлангов с перекрывающими кранами, вводимых через отверстие в крышке [11].

Мгновенную скорость коррозии определяли на углеродистой стали в 0,1 М растворе NaCl, абсорбировавшем СК из газовой фазы эксикатора в течение 20 суток, с помощью коррозиметра «Эксперт-004, в основу работы которого заложен метод измерения линейного поляризационного сопротивления по двухэлектродной схеме.

Результаты и их обсуждение. Электрохимические исследования с использованием метода поляризационного сопротивления (рисунок 1) показывают, что скорость коррозии (К) незащищенной стальной поверхности снижается во времени, что логично связать с ростом или модификацией защитной оксидной пленки, всегда имеющейся на металлической поверхности.

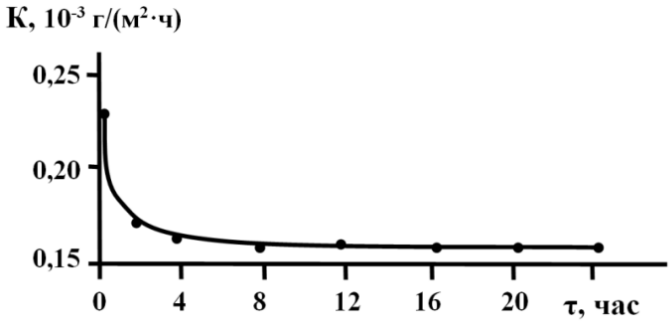


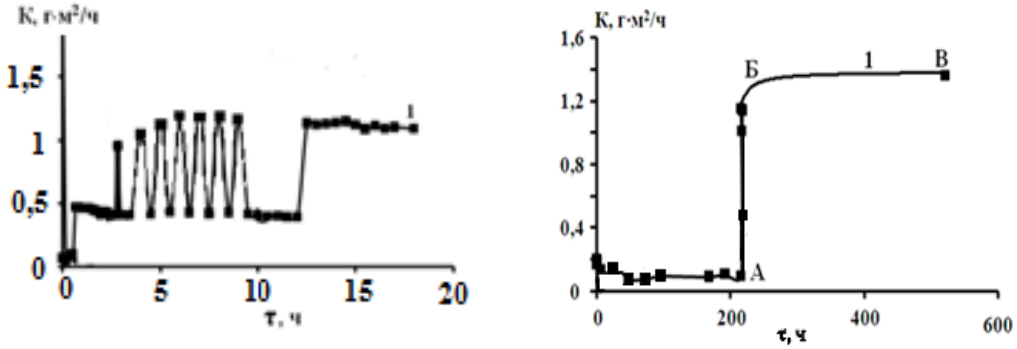
Рисунок 1 – Изменение скорости (К) коррозии незащищенной стали Ст3 в 0,5 М NaCl во времени по данным измерения поляризационного сопротивления

В таблице 1 приведены данные по изменению скорости коррозии на углеродистой стали, меди и латуни во времени при относительной влажности воздуха (Н), равной 100 %, полученные из гравиметрических измерений.

Таблица 1 – Изменение скорости коррозии во времени, Н = 100%.

Изменение скорости коррозии, К, во времени на металлах					
Сталь Ст3		Латунь Л62		Медь М1	
τ, час	К, г/(м^2·ч)	τ, час	К, г/(м^2·ч)	τ, час	К, г/(м^2·ч)
340	0,0120	340	0,0088	340	0,0039
680	0,0260	680	0,0014	680	0,0016
1360	0,0640	1360	0,0007	1360	0,0012

Углеродистая сталь Ст3 в большей степени подвержена коррозии в этих условиях, чем медь или латунь, причем скорость коррозии с течением времени возрастает. Рассмотрим этот процесс более подробно. Исследования мгновенной скорости коррозии на Ст3 показывают, что на начальном этапе при 100 % -ной влажности воздуха она невелика из-за защитных свойств формирующейся на поверхности металла воздушно-оксидной пленки (рисунок 2 а). В дальнейшем абсорбция пленкой влаги, видимо, приводит к изменению ее структуры и снижению защитной способности, из-за чего систематически повышается скорость коррозии (К) в первые 2 часа. Неустойчивость защитных свойств поверхностной пленки в пределах $2 \le \tau \le 10$ ч можно объяснить динамически неравновесным состоянием молекул воды, которые то адсорбируются, повышая скорость коррозии, то десорбируются, снижая ее. При $10 \le \tau \le 12$ ч наступает не очень стабильное стационарное состояние, с ростом $\tau > 12$ ч величина скорость коррозии вновь возрастает. На участке АБ (рисунок 2б, кривая 1) при $\tau > 200$ ч из-за структурных изменений в фазовой пленке ее защитная способность резко падает. Но относительно через небольшой промежуток времени, достигается стационарное состояние (рисунок 2б, участок БВ).



а) б)

Рисунок 2 – Изменение скорости коррозии стали Ст3 на начальном этапе воздействия воздушной среды при относительной влажности воздуха – 100 % и комнатной температуре

На основе использования закона Генри моделировали воздушные атмосферы с заданной равновесной концентрацией стимуляторов коррозии (СК) при 100%-ной относительной влажности. По закону Генри:

$$C_i = Кн \cdot (p_i / p_0), \quad (14)$$

где C_i - концентрация растворенного в чистой фазе (воде) i-го стимулятора коррозии. p_i и p_0 – парциальное давление i-го стимулятора в газовой фазе и общее давление в системе (принимали равным $1{,}013 \cdot 10^5$Па), $K_н$–константа Генри i-го продукта.

Проведем некоторые вычисления. Пусть объем (м^3) герметичной емкости для коррозионных испытаний- V_0, масса рассматриваемого СК в газовой фазе, приведенная к единице объема герметичной емкости - m_0, V_1 – объем (м^3) иных объектов (кроме рассматриваемого СК),

находящихся в емкости, необходимых для коррозионных испытаний. Тогда общая масса m_1 в газовой фазе емкости составит:

$$m_1 = m_0 (V_0 - V_1) \quad (15)$$

растворимость *i*-го СК в воде – *q*, (объемы выражены в м^3, а массы – в г).

При установлении в основную емкость V_0 дополнительной емкости V_2 с дистиллированной водой для повышения относительной влажности воздуха (объем V_2 учтен в V_1), масса СК в жидкой фазе, выраженная через растворимость *i*-го СК в воде – *q*, при парциальном давлении *i*-го СК ~ 10^5Па составит:

$$m_2 = 10^{-4} \cdot q \cdot V_2.$$

В таблице 2 показаны значения растворимости исследуемых СК в воде (*q*) при температуре 0 - 40^{0}С (величина их парциального давления составляла 1,013 ·10^5Па).

Таблица 2.1 – Значения критериев растворимости СК в воде при различных температурах [12]

СК	Значение q при различных температурах				
	0	10	20	30	40
H_2S	0.707	0.051	0.385	0.298	0.236
CO_2	0.335	0.232	0.169	0.125	0.097
NH_3	89.5	65.1	53.1	44.0	-
Примечание: q - масса газа (г), растворяющегося в 100 г H_2O при общем давлении газа и паров воды; P = 760 мм. рт. ст.					

Число молей *i*-го СК при равновесной концентрации:

$$n_{г.ф.} = m_1(V_0 - V_1) / M,$$

где М – молярная масса вещества *i*-го СК.

По уравнению Менделеева – Клапейрона:

$$p_\Sigma V_m = nRT$$

где p_Σ - суммарное давление всех газов, n - количество их моль, *R*–универсальная газовая постоянная, определяем молярный объем V_m газов при заданной температуре.

Для $p_\Sigma = 10^5$Па, n = 1, T = 293 К имеем:

$$V_m = RT/p = 0{,}024\ м^3$$

Суммарное количество всех компонентов воздуха в газовой фазе, составит в молях:

$$n_\Sigma = (V_0 - V_1)/0{,}024$$

Число моль *i*-го СК в газовой фазе

$$n_в = m_1(V_0 - V_1)/M$$

Тогда для $n_в/n_\Sigma$ имеем:

$$n_в/n_\Sigma = \frac{0{,}024 m_0}{M}$$

Учтем, что:

$$p_1/p_0 = n_в/n_\Sigma$$

Для *i*-го СК в газовой смеси (равновесное состояние):

$$m_3 = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-6} V_1 q m_0}{M} \quad (16)$$

Суммарную равновесную массу *i*-го СК в системе m_Σ находим суммированием (15) и (16), получим (17):

$$m_\Sigma = m_0(V_0 - V_1) + \frac{2{,}4 \cdot 10^{-6} V_1 q m_0}{M} \quad (17)$$

Стимуляторы коррозии легко синтезировать непосредственно в рассматриваемой замкнутой системе (в нашем случае – это герметичный эксикатор) :

$$NH_4Cl + NaOH = NH_3 + NaCl + H_2O \quad (18)$$

$$Na_2S + 2HCl = H_2S + 2NaCl \quad (19)$$

$$Na_2CO_3 + 2HCl = CO_2 + 2NaCl + H_2O \quad (20)$$

Учитывая суммарную равновесную массу (17) для любого из исследуемых симуляторов коррозии (NH_3, H_2S или CO_2) по уравнениям (18) - (20) можно определить массу исходных реагентов, вводимых в дополнительную емкость с водой.

Используя уравнения реакций (14) – (16), постулируя, что они протекают до конца, можно моделировать атмосферу для любых СК.

Рассмотрим это на примере аммиака для герметичной емкости (эксикатор), объемом 0,007 $м^3$ температуре 20°С и суммарном давлении газов в эксикаторе- 10^5 Па. Из таблицы 2 следует, что $q(NH_3)_{20}$ составляет 53,1 г. Объем воды в дополнительной емкости, поглощающей NH_3, равен 0,0005 $м^3$. При равновесной концентрации NH_3, соответствующей его максимально-допустимой концентрации в атмосфере животноводческих комплексов (0,020 г/$м^3$ [1]), масса аммиака в газовой фазе $m\ (NH_3)_{г.ф.}$ составит:

$m\ (NH_3)_{г.ф.} = 0{,}02 \cdot 0{,}007 = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ г,

что соответствует числу моль аммиака в газовой фазе

$n(NH_3)_{г.ф.} = 1{,}4 \cdot 10^{-4}/17 = 8{,}2 \cdot 10^{-6}$ моль

Масса аммиака в водной фазе $m\ (NH_3)_{в.ф.}$ фазе после установления равновесия при $p(NH_3) = 10^5$Па) составит:

$m(NH_3)_{в.ф.} = 53{,}1 \cdot 5 = 265{,}5$ г.

Молярный объем NH_3 при рассматриваемых условиях - $2{,}4 \cdot 10^{-2}$ $м^3$/моль. Тогда суммарное количество моль газов в воздушной атмосфере эксикатора составит:

$n_{\Sigma,г.ф.} = 7 \cdot 10^{-3}/2{,}4 \cdot 10^{-2} \approx 0{,}29$ моль

Отношение $n_{NH_3}/n_{\Sigma газа}$ близко к $2{,}8 \cdot 10^{-5}$.

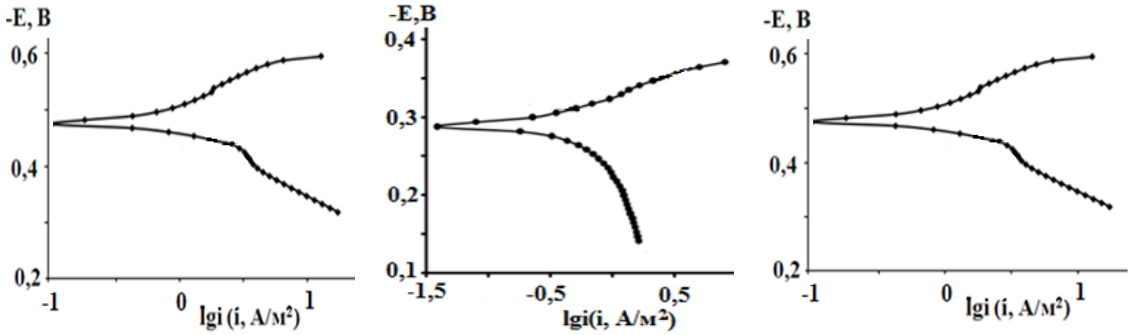
Необходимая исходная масса аммиака в водной фазе $m(NH_3)_{в.ф.}$ и его суммарная масса в системе должна быть:

$m(NH_3)_{в.ф.} = 265{,}5 \cdot 2{,}8 \cdot 10^{-5} = 7{,}4 \cdot 10^{-3}$ г .

$m(NH_3)_{\Sigma} = 1{,}4 \cdot 10^{-4} + 7{,}4 \cdot 10^{-3} \approx 7{,}4 \cdot 10^{-3}$ г.

По уравнению (18) определяем, сколько NH_4Cl и NaOH необходимо ввести в водную фазу дополнительной емкости, чтобы синтезировать необходимое количество аммиака. Это $-2{,}4 \cdot 10^{-2}$ г и $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ г, соответственно. Аналогично проводятся расчеты и для других СК.

На рисунке 3 приведены результаты потенциодинамических испытаний углеродистой стали для случаев, равновесия жидкой фазы с СК.



а б в

Рисунок 3 – Потенциодинамические кривые стали Ст3 в 0,1 М растворе NaCl, полученные при комнатной температуре и равновесии жидкой фазы с 0,3 об. % CO_2 (а), 0,03 мг/л NH_3 (б), 0,02 мг/л H_2S (в).

Из потенциодинамических кривых в присутствии углекислого газа в атмосфере определены потенциал коррозии стали Ст3 Екор = -0,52 В, величина тафелевского наклона анодной ветви (0,07 В), характерная для углеродистой стали в хлоридных средах. На катодной ветви поляризационной кривой (рисунок 3а) имеется тафелевский участок с наклоном 0,095 В, что близко к требованиям теории замедленного разряда для реакции выделения водорода, и участок, отвечающий разряду молекул воды по реакции (2). Для слабой угольной кислоты логично предположить, что основными донорами протонов будут служить гидрокарбонат-ионы. Параллельно возможен и разряд растворенного кислорода:

$$O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-.$$

Потенциал коррозии (Екор) стали Ст3 в присутствии аммиака составляет -0,28 В, а характер анодной и катодной поляризационных кривых (рисунок 3 б) подобен наблюдаемым в присутствии CO_2 (рисунок 3а). Рост потенциала коррозии, вероятнее всего, происходит из-за изменения природы поверхностной твердофазной пленки, в том числе, за счет роста pH среды в присутствии аммиака. В присутствии углекислого газа поверхностная твердофазная пленка носит карбонатный характер, а в присутствии аммиака, вероятно, имеет исключительно оксидную природу.

В присутствии сероводорода потенциал коррозии составляет - 0,48 В (рисунок 3 в), а рассчитанная через экстраполяцию поляризационных кривых на $E_{кор}$ скорость коррозии составит К ~ 0,49 А/м^2.

При гравиметрических испытаниях (таблица 3) образцов из стали Ст3 в атмосферах со 100% - ной влажностью и исходной объемной концентрацией CO_2 в воздухе – 0,3 об. % через 10 суток скорость коррозии составляла 0,64 г/(м^2·ч), через 22 суток -0,116 г/(м^2·ч). Концентрация углекислого газа могла несколько снижаться во время эксперимента из-за образования продуктов коррозии, содержащих производные угольной кислоты. В присутствии 0,03 мг/л аммиака (предельно допустимая концентрация для животноводческих помещений) и Н =100 % скорость коррозии углеродистой стали на 2 порядка меньше и составляет через 10 суток 0,0027г/(м^2·ч), а через 22 дня – 0,001г/(м^2·ч). В присутствии 0,03 мг/л сероводорода (предельно допустимая концентрация для животноводческих помещений) и Н =100 % через 10 суток составляла 0,025г/(м^2·ч), а через 20 – 0,001г/(м^2·ч). Снижение скорости коррозии очевидно происходит из-за защитного действия образующейся на поверхности стали полисульфидной пленки FeSn (n=1,2).

Таблица 3 – Изменение скорости коррозии стали Ст3 во времени при гравиметрических измерениях в присутствии стимуляторов коррозии в воздухе, Н = 100%.

Время коррозионного воздействия τ, час	Изменение скорости коррозии К, г/(м^2·ч) во времени на стали Ст3		
	0,2 об. % CO_2	20 мг/м^3 NH_3	10 мг/м^3 H_2S
240	0,640	0,0027	0,025
528 (480*)	0,116	0,0010	0,018
*- для равновесия жидкой фазы с H_2S			

В таблице 4 показано изменение скорости общей коррозии углеродистой стали, меди и латуни в атмосферах, содержащих стимуляторы коррозии в концентрациях, превышающих предельно допустимые для животноводческих помещений. Для углеродистой стали характерны максимальные скорости коррозии в атмосфере углекислого газа и сероводорода.

Таблица 4 – Скорость общей коррозии металлов в атмосферах, содержащих стимуляторы коррозии. Время коррозионного воздействия -10 суток

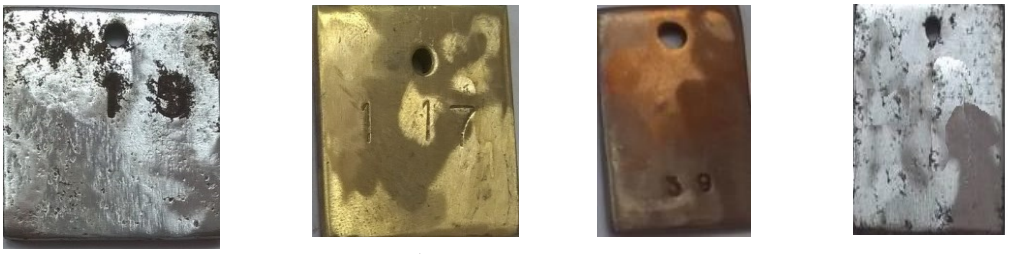
Поверхность металла	Скорость общей коррозии металлов, г/(м^2·ч) в атмосферах, содержащих				
	CO_2 (0,60 об. %)	H_2S (30 мг/м^3)	NH_3 (60 мг/м^3)	CO_2 (0,60 об. %) + NH_3 (60 мг/м^3)	CO_2 (0,60 об. %) + H_2S (30 мг/м^3)
Сталь Ст3	0,120	0,025	0,003	0,009	0,073
Медь М1	0,005	0,045	0,050	0,050	0,016
Латунь Л62	0,080	0,007	0,027	0,010	0,012

В атмосфере, содержащей аммиак максимальные скорости коррозии характерны для меди (таблица 4). Следует полагать, что коррозия меди протекает с образованием поверхностного оксида Cu_2O, который взаимодействует с аммиаком во влажной среде по реакции:

$$Cu_2O + NH_3 + H_2O = 2[Cu(NH_3)_2OH \text{ (фиолетового цвета)}.$$

На рисунке 4 можно увидеть характер коррозионного поражения образцов металла, полученных в атмосферах, содержащих два стимулятора коррозии, после смыва продуктов коррозии, которые на меди и латуни были фиолетового цвета.

Для металлического оборудования и техники, работающей в животноводческих помещениях должна быть предусмотрена усиленная противокоррозионная защита. В работах [10, 11, 13-17] показано, что в таких условиях хорошо работают летучие ингибиторы коррозии, если есть возможность герметизации защищаемых объемов.



а б в г

Рисунок 4 – Характер коррозионного поражения поверхности стали Ст3 (а, в) и латуни (б) в атмосферах: C_{CO2} = 0,60 об. % ; C_{NH3} = 60 мг/л; Н =100% (а, б, в) и C_{CO2} = 0,60 об. % ; C_{H2S}= 30 мг/м^3; Н =100 % (г)

Для защиты от коррозии стальных поверхностей, с которыми возможен контакт животных перспективны такие экологически чистые продукты, как отстои подсолнечного и рапсового масла [18], которые практически полностью защищают от коррозии стальные поверхности в 0,5 М растворе NaCl в течение полугода (таблица 5). Однако требуются дополнительные исследования в предложенных в работе модельных атмосферах. Перспективно использование цинк наполненных покрытий (цинковый порошок, как наполнитель, к рапсовому или любому другому маслу), потому что известно, что в качестве материала, для животноводческих помещений хорошо себя зарекомендовало оцинкованное железо [19], и масляные составы с цинковым наполнителем возможно могут быть использованы как ремонтные.

Таблица 5. Защитная эффективность отстоев рапсового(ОРМ) и подсолнечного (ОПМ) масел при ускоренных испытаниях в 0,5 М растворе NaCl

№ пп		Время выдержки в 0,5 М растворе NaCl, сутки											
		30		60		90		120		160		180	
		К·10^3, г/м^{2}ч	Z, %	К·10^3, г/м^{2}ч	Z, %	К·10^3, г/м^{2}ч	Z, %	К·10^3, г/м^{2}ч	Z, %	К·10^3, г/м^{2}ч	Z, %	К·10^3, г/м^{2}ч	Z, %
1	Контроль	18		23		37		50		60		58	
2	ОРМ	~0	~100	~0	~100	~0	~100	1,5	97	6,6	89	6,4	89
1	ОПМ	~0	~100	~0	~100	~0	~100	1,0	98	6,0	90	5,2	91
Примечания – Температура: нанесения пленки 20^{0}С. Толщина покрытия – 120 мкм.													

Заключение. Скорость коррозии (К) незащищенной стальной поверхности снижается во времени из-за роста или модификацией защитной оксидной пленки. В атмосфере со 100% - ной влажностью углеродистая сталь Ст3 в большей степени подвержена коррозии, чем медь или латунь, причем скорость коррозии с течением времени возрастает. Эта тенденция сохраняется в атмосфере, насыщенной углекислым газом и сероводородом. В присутствии аммиака максимальные скорости коррозии характерны для меди. Для борьбы с коррозией в местах контакта с животными необходимо исследовать в модельных атмосферах действие отстоев отработанных масел, в качестве ремонтных материалов рассмотреть действие цинк наполненных материалов, в местах, где возможна герметизация защищаемых объемов – летучие ингибиторы коррозии.

Список литературы

1. Мотес Э. Микроклимат животноводческих помещений. М.: Колос, 1976. – 190 с.

2. Плященко С.И., Хохлов И.И. Микроклимат и продуктивность животных. Л.: Агропромиздат, 1987. – 64 с.

3. Маркин А.Н., Низамов Р.Э. CO_2 – коррозия нефтепромыслового оборудования. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2003. – 188 с.

4. C de Waard, Milliams D.E. Carbonic Acid Corrosion of Steel // Corrosion. – 1975. – V.31. – No 5. – P.177.

5. C de Waard, Lotz U. and Milliams D.E. Predictive Model for CO_2. Corrosion Engineering in Wet Natural Gas Pipelines // Corrosion – 1991. – V.47 – 12 – h. 976.

6. Гоник А.А. Сероводородная коррозия и меры ее предупреждения. М.: Недра, – 1966. С. 178.

7. Цыганкова Л.Е., Костякова А.А., Вигдорович В.И., Вигдорович М.В. Замедление коррозии углеродистой стали в сероводородных средах в отсутствие и в присутствии ингибитора // Коррозия: материалы, защита. – 2019. – № 3. – С. 28-34.

8. Онегов А.П. Ярабустовский И.Ф., Черных В.И. Гигиена сельскохозяйственных животных. – М.: Колос, 1977. – 400 с.

9. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Князева Л.Г., Шель Н.В., Дорохова А.Н., Вигдорович М.В. Оценка защитной эффективности летучего ингибитора ИФХАН-114 посредством поляризационных измерений в условиях атмосферной коррозии меди // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2019. – № 1. – С. 25-31.

10. Вигдорович В.И., Князева Л.Г., Зазуля А.Н., Кузнецова Е.Г., Андреев Н.Н., Урядников А.А., Дорохов А.В. Использование летучего ингибитора ИФХАН-118 для защиты сельскохозяйственного оборудования от атмосферной коррозии // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 1. – С. 65 – 68.

11. Вигдорович В.И., Князева Л.Г., Зазуля А.Н., Прохоренков В.Д., Дорохов А.В., Кузнецова Е.Г., Урядников А.А. Использование летучих ингибиторов типа «ИФХАН» для защиты стального оборудования в атмосфере животноводческих помещений // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 1. – С. 55 – 58.

12. Пинчук Л.С., Неверов А.С. Полимерные пленки, содержащие ингибиторы коррозии – М.: Химия, 1993. – 194 с.

13. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Kuznetsova E.G., Andreev N.N., Uryadnikov A.A., Dorokhov A.V. Application of IFHAN-118 Volatile Inhibitor to Protect Agricultural Equipment Against Atmospheric Corrosion // Russian Agricultural Sciences. – 2016. – Т. 42. – № 2. – С. 196 – 199.

14. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Prokhorenkov V.D., Dorokhov A.V., Kuznetsova E.G., Uryadnikov A.A., Goncharova O.A. Suppresision of Atmospheric Corrosion of Brass Using Volatile Inhibitors // Russian Agricultural Sciences. – 2017. – Т. 43. – № 4. – С. 342 – 346.

15. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Dorohova A.N., Dorohov A.V., Knyazeva L.G., Uryadnikov A.A. Protective Ability of Volatile Inhibitors of Ifkhan Series in Atmospheric Corrosion of Brass and Copper at High Concentrations of CO_2, NH_3 and H_2S in Air // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2018. – Т. 7. – № 3. – С. 331 – 339.

16. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V., Dorokhova A.N., Vigdorowitsch M.V. Evaluation of the Protective Efficiency of IFKhAN-114 Volatile Inhibitor against Atmospheric Corrosion of Copper by Polarization Measurements // Polymer Science. – Series D. – 2019. – Vol. 12. – Issue 2. – Pp. 162 – 166.

17. Tsygankova L.E., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Vigdorowitsch M.V. Suppression of local corrosion of steel, brass and copper with IFKhAN-114 volatile inhibitor // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2019. – Vol. 8. – N. 1. – Pp. 42 – 49.

18. Князева Л.Г., Прохоренков В.Д. Растительные масла для противокоррозионной защиты // Практика противокоррозионной защиты. – 2009. – № 2 (52). – С. 22 – 27.

19. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorowitsch M.V. Using data of weight tests and impedance spectroscopy to evaluate the protective effectiveness of zinc-rich oil coatings in corrosion of carbon steel // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2019. – Vol. 8. – N. 2. – Pp. 212 – 224.

References

1. Motes E'. Mikroklimat zhivotnovodcheskix pomeshhenij. M.: Kolos, 1976. – 190 s.

2. Plyashhenko S.I., Xoxlov I.I. Mikroklimat i produktivnost' zhivotnyx. L.: Agropromizdat, 1987. – 64 s.

3. Markin A.N., Nizamov R.E'. SO2 – korroziya neftepromyslovogo oborudovaniya. M.: OAO «VNIIOE'NG». – 2003. – 188 s.

4. C de Waard, Milliams D.E. Carbonic Acid Corrosion of Steel // Corrosion. – 1975. – V.31. – No 5. – P.177.

5. C de Waard, Lotz U. and Milliams D.E. Predictive Model for SO2. Corrosion Engineering in Wet Natural Gas Pipelines // Corrosion – 1991. – V.47 – 12 – h. 976.

6. Gonik A.A. Serovodorodnaya korroziya i mery ee preduprezhdeniya. M.: Nedra, – 1966. S. 178.

7. Cygankova L.E., Kostyakova A.A., Vigdorovich V.I., Vigdorovich M.V. Zamedlenie korrozii uglerodistoj stali v serovodorodnyx sredax v otsutstvie i v prisutstvii ingibitora // Korroziya: materialy, zashhita. – 2019. – № 3. – S. 28-34.

8. Onegov A.P. Yarabustovskij I.F., Chernyx V.I. Gigiena sel'skoxozyajstvennyx zhivotnyx. – M.: Kolos, 1977. – 400 s.

9. Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel' N.V., Doroxova A.N., Vigdorovich M.V. Ocenka zashhitnoj e'ffektivnosti letuchego ingibitora IFXAN-114 posredstvom polyarizacionnyx izmerenij v usloviyax atmosfernoj korrozii medi // Vse materialy. E'nciklopedicheskij spravochnik. – 2019. – № 1. – S. 25-31.

10. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Kuznecova E.G., Andreev N.N., Uryadnikov A.A., Doroxov A.V. Ispol'zovanie letuchego ingibitora IFXAN-118 dlya zashhity sel'skoxozyajstvennogo oborudovaniya ot atmosfernoj korrozii // Rossijskaya sel'skoxozyajstvennaya nauka. – 2016. – № 1. – S. 65 – 68.

11. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Proxorenkov V.D., Doroxov A.V., Kuznecova E.G., Uryadnikov A.A. Ispol'zovanie letuchix ingibitorov tipa «IFXAN» dlya zashhity stal'nogo oborudovaniya v atmosfere zhivotnovodcheskix pomeshhenij // Rossijskaya sel'skoxozyajstvennaya nauka. – 2017. – № 1. – S. 55 – 58.

12. Pinchuk L.S., Neverov A.S. Polimernye plenki, soderzhashhie ingibitory korrozii – M.: Ximiya, 1993. – 194 s.

13. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Kuznetsova E.G., Andreev N.N., Uryadnikov A.A., Dorokhov A.V. Application of IFHAN-118 Volatile Inhibitor to Protect Agricultural Equipment Against Atmospheric Corrosion // Russian Agricultural Sciences. – 2016. – T. 42. – № 2. – S. 196 – 199.

14. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Prokhorenkov V.D., Dorokhov A.V., Kuznetsova E.G., Uryadnikov A.A., Goncharova O.A. Suppresision of Atmospheric Corrosion of Brass Using Volatile Inhibitors // Russian Agricultural Sciences. – 2017. – T. 43. – № 4. – S. 342 – 346.

15. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Dorohova A.N., Dorohov A.V., Knyazeva L.G., Uryadnikov A.A. Protective Ability of Volatile Inhibitors of Ifkhan Series in Atmospheric Corrosion of Brass and Copper at High Concentrations of CO2, NH3 and H2S in Air // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2018. – T. 7. – № 3. – S. 331 – 339.

16. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V., Dorokhova A.N., Vigdorowitsch M.V. Evaluation of the Protective Efficiency of IFKhAN-114 Volatile Inhibitor against Atmospheric Corrosion of Copper by Polarization Measurements // Polymer Science. – Series D. – 2019. – Vol. 12. – Issue 2. – Pp. 162 – 166.

17. Tsygankova L.E., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Vigdorowitsch M.V. Suppression of local corrosion of steel, brass and copper with IFKhAN-114 volatile inhibitor // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2019. – Vol. 8. – N. 1. – Pp. 42 – 49.

18. Knyazeva L.G., Proxorenkov V.D. Rastitel'nye masla dlya protivokorrozionnoj zashhity // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. – 2009. – № 2 (52). – S. 22 – 27.

19. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorowitsch M.V. Using data of weight tests and impedance spectroscopy to evaluate the protective effectiveness of zinc-rich oil coatings in corrosion of carbon steel // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2019. – Vol. 8. – N. 2. – Pp. 212 – 224.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Дорохов Андрей Валерьевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Курьято Николай Алексеевич – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: cska-sparta@yandex.ru.

Прохоренков Вячеслав Дмитриевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Author credentials

Affiliations

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

Dorokhov Andrey V. – Junior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: dorokhov.andryusha@mail.ru.

Kuryato Nikolay A – Master student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin", Russia, Tambov, e-mail: cskasparta@yandex.ru.

Prokhorenkov Vyacheslav D. – Full Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov.

Поступила в редакцию (Received): 21.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 18.02.2020

УДК 621.892.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-80-87

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОСА И НЕОБХОДИМОСТИ ЗАМЕНЫ ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА В СИЛОВЫХ МЕХАНИЗМАХ

[1]Родионов Юрий Викторович
[1]Филатов Иван Сергеевич
[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Никитин Дмитрий Вячеславович
[2]Остриков Валерий Васильевич
[3]Ломовских Александр Егорович

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

Реферат. *В данной работе изучалась возможность определения степени износа и необходимости замены трансмиссионных масел в силовых передачах автотракторных машин и механизмов. Проведенный анализ существующих методов определения качества трансмиссионных масел показал, что большинство из них являются лабораторными и неприменимы в полевых условиях из-за высокой сложности как самого метода, так и применяемого оборудования. Исследования проводились с пробой трансмиссионного масла Shell Spirax 80W, слитой после пробега 2000 километров из картера коробки передач мотоцикла CZ 350 «Sport». Для выявления влияния продуктов износа на параметры планарной индуктивности изготовлены два датчика в виде спиралей, размещённые на фольгированном текстолите. Для моделирования динамики износа деталей трансмиссии и оценки чувствительности датчика использовались насыпки ультрадисперсного порошка железа на бумаге. Предложен метод контроля трансмиссионного масла, основанный на изменении индуктивности датчика при попадании в зону его действия металлических частиц вследствие износа трансмиссии. Показано, что при увеличении количества частиц износа изменяется значение измеряемого с помощью созданных датчиков-прототипов показателя. Это определило базовую работоспособность метода. Была продемонстрирована возможность экспресс–контроля степени износа трансмиссионных масел и выдачи сигнала о необходимости его замены по изменению параметров*

планарного индуктивного датчика. Дальнейшее развитие метода с изменением используемой основы позволит расширить спектр контролируемых в полевых условиях технических жидкостей в автотракторных машинах и механизмах.

Ключевые слова: *износ машин и механизмов, продукты износа деталей машин, смазочные материалы, трансмиссионное масло, силовые механизмы, планарная катушка, изменение индуктивности.*

METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF WEAR AND THE NEED TO REPLACE TRANSMISSION OIL IN POWER MECHANISMS

[1]Rodionov Yury
[1]Filatov Ivan
[1]Voronin Nikolay
[1]Nikitin Dmitry
[2]Ostrikov Valery
[3]Lomovsky Alexander

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

Abstract. *The possibility of determining the degree of wear and the need to replace gear oils in power transmissions of automotive tractors and mechanisms was studied in this work. The analysis of the existing methods for determining the quality of gear oils has shown that most of them are laboratory and not applicable in the field due to the high complexity of both the method and the equipment used. The studies were carried out with a sample of Shell Spirax 80W gear oil, drained after running 2000 kilometers from the gearbox housing of the CZ 350 Sport motorcycle. Two sensors in the form of spirals placed on a foil PCB are made to detect the effect of wear products on the planar inductance parameters. A transmission oil control method is proposed based on a change in the sensor inductance when metal particles get into the zone of its action due to transmission wear. It is shown that with an increase in the number of wear particles, the value of the indicator measured using the created prototype sensors changes. This determined the basic performance of the method. The possibility of express control of the degree of wear of gear oils and the generation of a signal about the need for its replacement by changing the parameters of a planar inductive sensor was demonstrated. Further development of the method with a change in the basis used will allow us to expand the range of field-controlled technical fluids in automotive tractors and mechanisms.*

Keywords: *wear of machine sand mechanisms, wear products of machine parts, lubricants, transmission oil, lift mechanism, planar coil, inductance change.*

Введение. Износ смазочных масел и определение необходимости их замены в автотракторной технике и транспортных машинах можно вести по изменению их физических характеристик и по увеличению в них продуктов износа механизмов [1]. В случае масел, работающих в двигателях, определение необходимости их замены по продуктам износа затруднено вследствие наличия в двигателях масляных фильтров, задерживающих эти продукты (металлическая пыль и частицы сколов). Поэтому определение работоспособности моторных масел целесообразно вести по изменению их физических или химических характеристик. В силовых механизмах автотракторной техники и транспортных машин нагрев масел гораздо меньше, чем в двигателях, и изменение физических характеристик гораздо менее выражено. Вместе с тем отсутствие масляных фильтров вызывает постоянную циркуляцию продуктов износа деталей трансмиссии и ведёт к еёускоренному выходу из строя. Зачастую в случае интенсивной эксплуатации в тяжёлых условиях необходима замена масла гораздо раньше регламентированного срока.

В настоящий момент существует большое количество методов контроля качества трансмиссионных масел, которые охватывают весь спектр предъявляемых к маслам эксплуатационных свойств [2].

Количественные методы, работающие в соответствии с ГОСТ 6370—83 и ГОСТ 12275—66, позволяют с различной точностью определить массу частиц износа в отработанном масле. При

определении гранулометрического состава используют седиментационные и микроскопические методы. Весьма широкое применение нашли оптические методы седиментационного анализа, позволяющие установить дисперсный состав частиц износа. В меньшей степени распространены ультразвуковые методы контроля гранулометрического состава.

Существуют также и методы контроля таких параметров, как кислотное число, щелочное число, кинематическая вязкость и др. Все они регламентируются соответствующими ГОСТами. Чтобы провести более глубокий анализ, применяют такие методы, как электрохимический анализ продуктов гидролиза и масс-спектроскопия на уровне структуры углеводородов.

Немаловажным фактором качества трансмиссионного масла является наличие в нем воды в растворенном, эмульсионном либо свободном состоянии. Для ее определения применяют как более простые методы – например, использование реакции взаимодействия пробы масла с гидридом кальция, так и более сложные, к примеру, инфракрасная Фурье-спектроскопия.

Еще одним важным параметром качества трансмиссионных масел является их термоокислительная стабильность. Она определяется методами и регламентами, описанными в ГОСТ 18136—72, ГОСТ 11063—77, ГОСТ 13300—67 и др.

Подавляющее большинство упомянутых выше методов являются лабораторными и неприменимы в полевых условиях из-за высокой сложности как самого метода, так и оборудования, поэтому необходимо разработать максимально простой и точный метод определения необходимости замены трансмиссионных масел, которую можно использовать как в лаборатории, так и в полевых условиях.

Цель исследования. Предложен экспериментальный метод определения необходимости замены трансмиссионного масла в зависимости от изменения параметров планарной индуктивности и проведена экспериментальная проверка, подтверждающая это предположение.

Материалы и методы. Для разработки теоретических основ определения загрязнения трансмиссионного масла использовались основные положения теоретической физики, связанные с взаимодействием электромагнитного поля планарных индуктивностей с внешними средами, исходя из базовых физических постулатов [3]. Исследовалось влияние пробы трансмиссионного масла Shell Spirax 80W, слитой после пробега 2000 километров из картера коробки передач мотоцикла CZ 350 «Sport». В стеклянной ёмкости с пробой на дне отчётливо видны следы износа деталей коробки в виде стальной пыли (рисунок 1).

Рисунок 1 – Внешний вид осадка на дне ёмкости с трансмиссионным маслом

Для выявления влияния продуктов износа на параметры планарной индуктивности изготовлены два датчика в виде спиралей, размещённые на фольгированном текстолите.

Для расчёта параметров датчика в качестве плоской катушки представляется идеализированная катушка (рисунок 2).

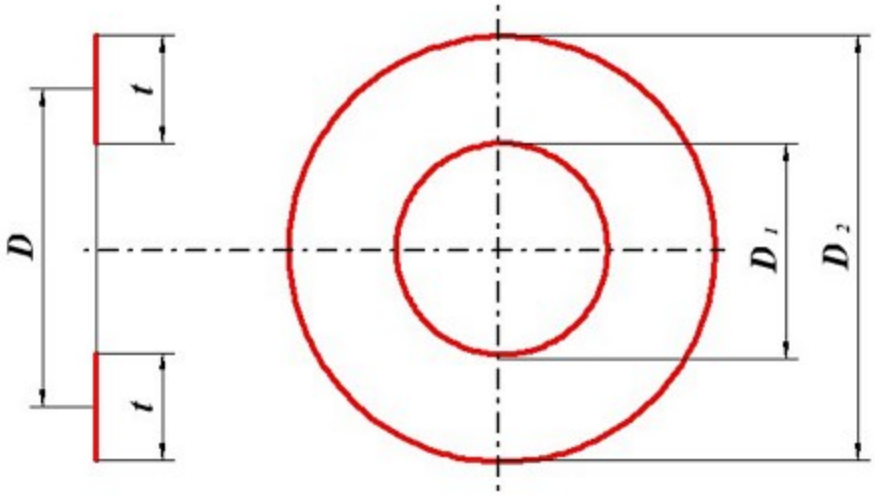


Рисунок 2 – Схема идеализированной плоской катушки

Длину намотки катушки приняли равной нулю $l = 0$, тогда индуктивность такой катушки можно вычислить по следующей формуле[3, 4]:

$$L_P = \frac{\mu_0}{8\pi}\omega^2 D\Psi\ , \tag{1}$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; ω – число витков; D – средний диаметр катушки, м; Ψ – коэффициент отношения толщины намотки к среднему диаметру катушки, который зависит от отношения, рассчитываемого по формуле:

$$\rho = t/D, \tag{2}$$

где t – толщина намотки катушки, м.

Тогда коэффициент Ψ зависит от соотношения толщины намотки t и среднего диаметра катушки D, определяемого:

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2}\ . \tag{3}$$

При небольшой толщине намотки, когда ρ < 0,5, данный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\Psi = 4\pi\left[\left(1+\frac{\rho^2}{24}\right)\ln\frac{4}{\rho} - \frac{1}{2} + \frac{43\rho^2}{288}\right]. \tag{4}$$

При большой толщине намотки, когда ρ > 0,5, данный коэффициент рассчитывается по формуле:

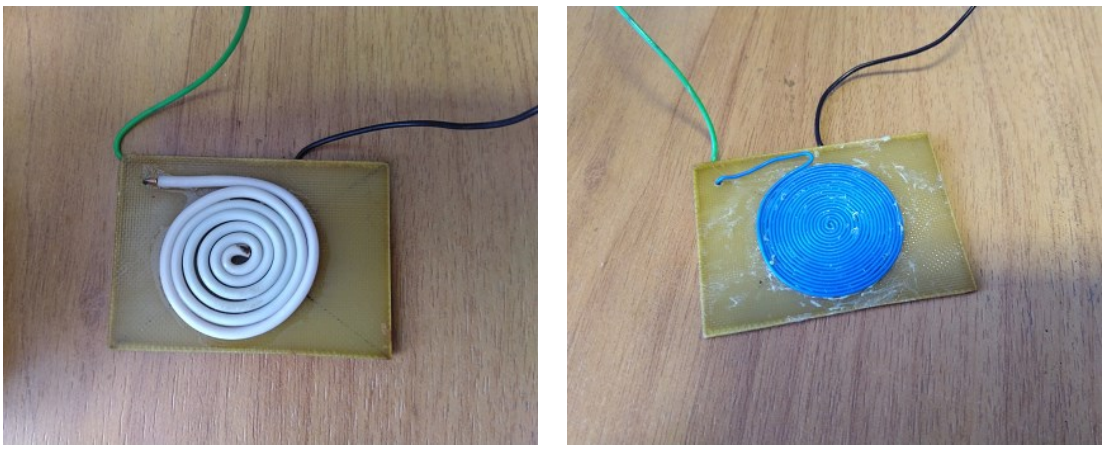
$$\Psi = \frac{(1+\rho)^3}{\rho^2}\left(1{,}7424 + 3{,}29\gamma^3\ln\gamma - 2{,}27\gamma^3\right), \tag{5}$$

где γ – коэффициент, учитывающий соотношение внешнего и внутреннего диаметров обмотки катушки, рассчитываемый по формуле:

$$\gamma = \frac{D_2}{D_1} = \frac{1-\rho}{1+\rho}\ . \tag{6}$$

Датчик № 1 (рисунок 3а) имеет 8 витков и начальную индуктивность 7 мкГн, датчик № 2 (рисунок 3б) имеет 19 витков и начальную индуктивность 20,3мкГн соответственно, измерения велись измерителем высокочастотным Е 7…9.

Для определения расстояния чувствительности датчиков к ним подносилась пластина из стали 10, при этом изменение индуктивности на 1мкГн датчика №1 происходило на расстоянии в 9 мм, а для датчика № 2 то же изменение индуктивности происходило на расстоянии в 20 мм. Вид экспериментальных датчиков показан на рисунке 3.



а) датчик №1 б) датчик №2

Рисунок 3 – Внешний вид экспериментальных датчиков для определения содержания продуктов износа в трансмиссионном масле

В результате экспериментов лучшие результаты чувствительности и стабильности показаний были у датчика № 2, поэтому дальнейшие эксперименты проводились с ним.

Результаты и их обсуждение. Для моделирования динамики износа деталей трансмиссии и оценки чувствительности датчика использовались насыпки ультрадисперсного порошка железа на бумаге [5 – 7]. В таблице 1 приведены данные об изменении индуктивности датчика при изменении массы насыпки.

Таблица 1 – Изменение индуктивности датчика с изменением массы насыпки железного порошка

Масса насыпки, (г)	Индуктивность датчика L, (мкГн)	Изменение индуктивности ΔL, (мкГн)
0	20,3	0
0,05	20,9	0,6
0,16	21,3	1,0
0,22	22,8	2,5
0,3	23,1	2,8
0,38	24,3	4,0
0,40	24,8	4,5

Исходя из этого видно, что даже небольшие количества железного порошка вызывают заметное изменение индуктивности датчика. Для проверки достоверности метода из ёмкости с пробой масла из коробки передач мотоцикла CZ 350 «Sport» был извлечён осадок с частицами износа трансмиссии (рисунок 4), его масса составила 0,7 г.

Индуктивность датчика составила 27,7 мкГн, что даёт абсолютное изменение индуктивности в 7,4 мкГн. Данное изменение может легко преобразоваться в сигнал, подаваемый на панель управления транспортными машинами и силовым оборудованием.Это даёт возможность прогнозировать износ коробок передач и трансмиссионных приводов машин и механизмов и осуществлять меры по предупреждению выхода из строя деталей машин по сигналам соответствующих индикаторов, установленных в кабинах автотракторных средств, на панелях бортовых компьютеров автомобилей и в других местах [8 – 10].

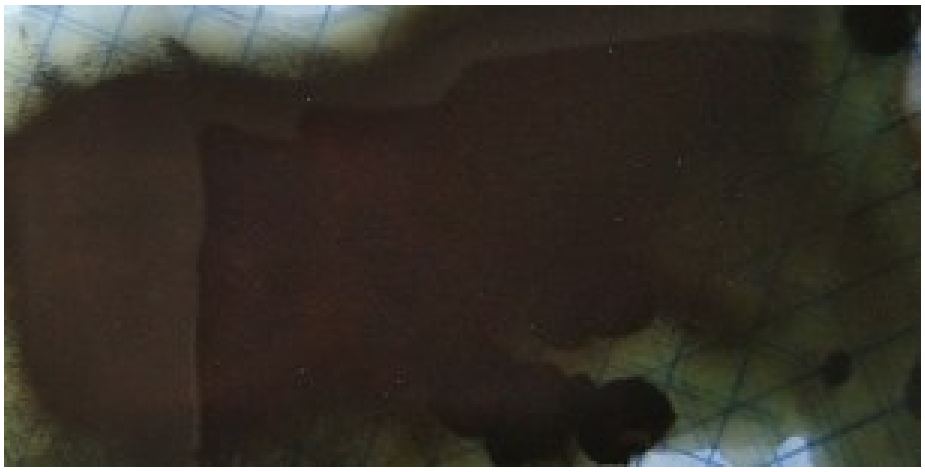


Рисунок 4 – Осадок с частицами износа на поверхности бумаги

Выводы.

1. Проведен краткий обзор и анализ существующих методов контроля качества трансмиссионного масла. Большинство из них неприменимы в полевых условиях.
2. Предложен метод контроля трансмиссионного масла, основанный на изменении индуктивности датчика при попадании в зону его действия металлических частиц вследствие износа трансмиссии.
3. Результаты первых экспериментов показали, что предложенный метод применим для экспресс-контроля вследствие простоты и возможностей доработки и адаптации под конкретные трансмиссионные механизмы.
4. Предложена конструкция прототипов датчиков для лабораторных измерений. Но эта же конструкция позволяет с учетом доработки встроить его в трансмиссию автотракторных машин и механизмов.

В дальнейшем при доработке первичных измерительных преобразователей и совершенствовании метода станет возможным прогноз неблагоприятных режимов работы трансмиссии и необходимости замены трансмиссионных жидкостей в зависимости от режимов эксплуатации и качества этих жидкостей.

Список литературы

1. Иванов Е.И. Изменения в трансмиссионном масле в процессе эксплуатации // В мире научных открытий. Материалы IV Всероссийской студенческой научной конференции (с международным участием). – 2015. – С. 103 – 105.
2. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография / В.И. Верещагин, В.С. Янович, Б.И. Ковальский [и др.]. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.
3. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 488 с.
4. Yue C.P. and Wong S.S. On-Chip Spiral Inductorswith Paterned Ground Shields for Si Based RFIC's. IEEE J.Solid State Circuit, vol. 33, no. 5, p.p. 743-752, may 1999.
5. Корнев А.Ю., Вязинкин В.С., Остриков В.В., Шихалев И.Н. Испытания трибодатчика для контроля уровня деградации масла // Наука в центральной России. – 2013. – №2. – С. 10 – 14.
6. О применении и экономии горюче-смазочных материалов на все виды автотранспорта / Ишмаков Р.М., Тухватуллин Р.А., Губайдуллин Н.М., Газиев В.Х. Уфа: Б.и., 1993. 103 с.
7. Сафонов В.В. Влияние добавок наноразмерных порошков металлов в трансмиссионное масло на ресурс силовых передач сельскохозяйственной техники/ В.В. Сафонов [и др.] // Научная жизнь. – 2016. – №2. – С. 6 – 21.
8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorowitsch M.V. Using data of weight tests and impedance spectroscopy to evaluate the protective effectiveness of

zinc-rich oil coatings in corrosion of carbon steel. // International Journal Of Corrosion And Scale Inhibition. – 2019, ppg. 212 – 224.

9. Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I., Safonov V.V., Kartoshkin A.P. Development of a technological process and composition of flushing oil for diesel engines // Chemistry And Technology Of Fuels And Oils. – 2018, – ppg. 24-28.

10. Остриков В.В., Афанасьев Д.И. Теоретический анализ физико-химических процессов, происходящих на поверхностях трения прирабатываемых деталей двигателей // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 82 – 87.

References

1. Ivanov E.I. Izmeneniya v transmissionnom masle v processe e'kspluatacii // V mire nauchnyx otkrytij. Materialy IV Vserossijskoj studencheskoj nauchnoj konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem). – 2015. – S. 103 – 105.

2. Metody kontrolya i rezul'taty issledovaniya sostoyaniya transmissionnyx i motornyx masel pri ix okislenii i tribotexnicheskix ispytaniyax: monografiya / V.I. Vereshhagin, V.S. Yanovich, B.I. Koval'skij [i dr.]. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2017. – 208 s.

3. Kalantarov P.L., Cejtlin L.A. Raschet induktivnostej: Spravochnaya kniga. 3-e izd., pererab. i dop. L.: E'nergoatomizdat. Leningr. otd-nie, 1986. 488 s.

4. Yue C.P. and Wong S.S. On-Chip Spiral Inductorswith Paterned Ground Shields for Si Based RFIC's. IEEE J.Solid State Circuit, vol. 33, no. 5, p.p. 743-752, may 1999.

5. Kornev A.Yu., Vyazinkin V.S., Ostrikov V.V., Shixalev I.N. Ispytaniya tribodatchika dlya kontrolya urovnya degradacii masla // Nauka v central'noj Rossii. – 2013. – №2. – S. 10 – 14.

6. O primenenii i e'konomii goryuche-smazochnyx materialov na vse vidy avtotransporta / Ishmakov R.M., Tuxvatullin R.A., Gubajdullin N.M., Gaziev V.X. Ufa: B.i., 1993. 103 s.

7. Safonov V.V. Vliyanie dobavok nanorazmernyx poroshkov metallov v transmissionnoe maslo na resurs silovyx peredach sel'skoxozyajstvennoj texniki/ V.V. Safonov [i dr.] // Nauchnaya zhizn'. – 2016. – №2. – S. 6 – 21.

8. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorowitsch M.V. Using data of weight tests and impedance spectroscopy to evaluate the protective effectiveness of zinc-rich oil coatings in corrosion of carbon steel. // International Journal Of Corrosion And Scale Inhibition. – 2019, ppg. 212 – 224.

9. Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I., Safonov V.V., Kartoshkin A.P. Development of a technological process and composition of flushing oil for diesel engines // Chemistry And Technology Of Fuels And Oils. – 2018, – ppg. 24-28.

10. Ostrikov V.V., Afanas'ev D.I. Teoreticheskij analiz fiziko-ximicheskix processov, proisxodyashhix na poverxnostyax treniya prirabatyvaemyx detalej dvigatelej // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 2 (32). – S. 82 – 87.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Филатов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: ridder@mail.ru.

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

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

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

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

Author credentials

Affiliations

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

Philatov Ivan – Candidate of Technical Sciences, associate professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: ridder@mail.ru.

Voronin Nikolay – post graduate student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: voronin.nikolay.1994@yandex.ru.

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

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

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

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2020

УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2020-1-87-94

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА ПРОМЫВОЧНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА

[1]Жерновников Дмитрий Николаевич
[1]Забродская Алла Владимировна
[1]Вязинкин Виктор Сергеевич
[1]Остриков Валерий Васильевич

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *В процессе работы двигателей внутреннего сгорания в системе смазки образуются отложения, снижающие эксплуатационные показатели тракторов и уменьшающие срок службы свежезаправленного масла до замены. На основании имеющей место проблемы проведены исследования по моделированию процесса удаления отложений из системы смазки промывочным маслом. Представлены схема устройства для определения эффективности процесса удаления загрязнений из масляных каналов и методика проведения испытаний. Установлено, что в качестве основы промывочного масла может быть использовано очищенное, по технологии ФГБНУ ВНИИТиН, отработанное моторное масло. Определено, что очищенное отработанное моторное масло имеет характеристики, близкие к индустриальным маслам, использующегося при приготовлении промывочных масел. Установлена зависимость изменения загрязнённость поверхности маслопровода и содержания нерастворимого осадка в масле от времени промывки системы смазки очищенным отработанным маслом. Определено снижение загрязнённости*

поверхности маслопровода с 10 до 7 баллов и увеличение содержания нерастворимых примесей в масле с 0,01 % до 0, 20%. Выявлено, что добавление в очищенное отработанное масло дизельного топлива в количестве 3% к объёмы не приводит к значительному повышению моющих свойств масла. Дополнительное обогащение моющей смеси, состоящей из очищенного отработанного моторного масла, 3% дизельного топлива и изопропилата калия 3% масс, 3 % масс диметилсульфоксида позволяет снизить балл загрязнённость поверхности маслопровода с 10 до 1 балла. Установлено, что внесение всего комплекса добавок в масло приводит к увеличению содержания загрязнения в разрабатываемом составе масла после 40 минут промывки с 0,01 % до 0,45%. Данная характеристика подтверждает высокие моющие свойства состава масла и возможность его использования для промывки системы смазки.

Ключевые слова: *двигатель, система смазки, устройство, состав, очищенное масло, моющие добавки, промывочное масло.*

RESULTS OF RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF COMPOSITION OF FLUSHING OIL BASED ON WASTE MOTOR OIL

[1]Zhernovnikov Dmitry
[1]Zabrodskaya Alla
[1]Vyazinkin Viktor
[1]Ostrikov Valery
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract: *Deposits that reduce the performance of tractors and reduce the service life of freshly refilled oil before replacement are formed during the operation of internal combustion engines in the lubrication system. Studies to simulate the process of removing deposits from the lubrication system with flushing oil were carried out on the basis of the problem taking place. A diagram of a device for determining the effectiveness of the process of removing contaminants from oil channels and a test procedure are presented. It has been established that the refined, used FGBNU VNIITiN technology, used motor oil can be used as a base for flushing oil. It has been determined that refined used engine oil has characteristics similar to industrial oils used in the preparation of flushing oils. The dependence of the change in the contamination of the surface of the oil pipe and the content of insoluble sediment in the oil on the time of washing the lubrication system with purified used oil is established. The decrease in the contamination of the oil pipe surface from 10 to 7 points and the increase in the content of insoluble impurities in the oil from 0.01% to 0, 20% were determined. It was revealed that the addition of diesel fuel in the amount of 3% to the volumes of refined waste oil does not lead to a significant increase in the washing properties of the oil. Additional enrichment of the washing mixture, consisting of purified used engine oil, 3% diesel fuel and potassium isopropylate 3% by weight, 3% by weight of dimethyl sulfoxide, allows to reduce the oil surface contamination score from 10 to 1 point. It was found that the introduction of the entire complex of additives in the oil leads to an increase in the pollution content in the developed oil composition after 40 minutes of washing from 0.01% to 0.45%. This characteristic confirms the high washing properties of the oil and the possibility of its use for flushing the lubrication system.*

Keywords: *engine, lubrication system, device, composition, refined oil, detergents, flushing oil.*

Введение. В моторных маслах двигателей внутреннего сгорания тракторов, работающих при высоких нагрузках и температурных режимах, по мере наработки накапливаются продукты сгорания топлива и старения масла.

К моменту замены отработавшего свой срок масла содержание различного рода загрязнений варьируется в нём от 1 до 1,5 процентов. При сливе масла из картера и системы смазки основная масса загрязнений удаляется вместе с маслом. Однако часть из них остаётся в масляных каналах, на дне картера, под маслосъёмными кольцами [1].

Далее, попадая в свежезаправленное масло, данные виды загрязнений в определённой степени ухудшают свойства масла и, соответственно, отрицательно влияют на эксплуатационные показатели двигателя и срок службы масла до замены. Особое влияние оказывают смолистые отложения, которые удалить возможно только промывкой системы смазки.

В составах промывочных масел присутствуют моющие присадки, способствующие растворению твёрдых отложений и их последующему удалению вместе с промывочным маслом [2]. Операции технологического процесса промывки нашли применение при промывке систем смазки двигателей автомобилей и почти не применяются при замене масел в двигателях тракторов из-за высокой цены на промывочные масла при их недостаточно высокой эффективности при удалении смолистых твёрдых отложений из систем смазки двигателей тракторов.

ФГБНУ ВНИИТиН, начиная с 2018 года, проводит исследования по разработке ресурсосберегающей технологии промывки системы смазки составом масла, состоящего из очищенного отработанного моторного масла и специальных добавок к нему.

Методика проведения исследований. На первом этапе проводится очистка отработанного моторного масла от всех видов загрязнений по специально разработанным способам очистки с использованием разделяющих агентов [3].

В таблице 1 представлены физико-химические характеристики загрязнённого и очищенного отработанного моторного масла.

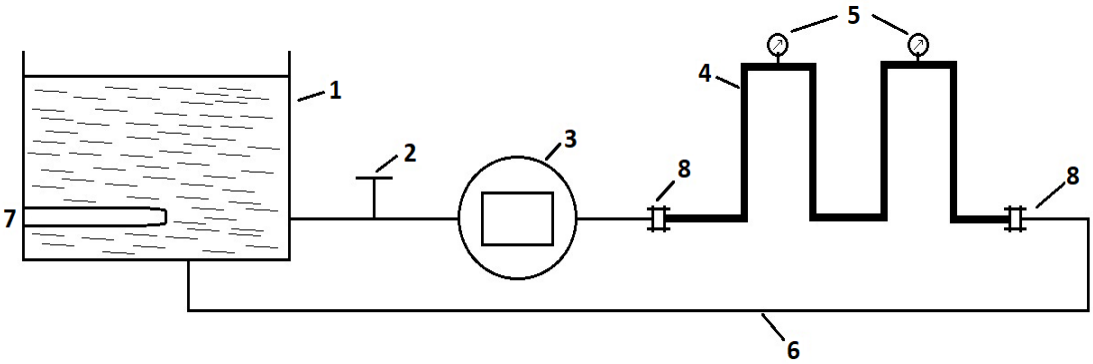
Таблица 1 - Физико-химические характеристики отработанного моторного масла до и после очистки

Показатели	Отработанное моторное масло	Отработанное моторное масло после очистки
1. Вязкость кинематическая при 100 ^{o}C, мм^{2}/с	9,1	8,9
2. Содержание мех. примесей, %	0,85	Отсутствие
3. Содержание нерастворимого осадка, %	0,75	0,01
4. Температура вспышки, ^{o}C	195	190
5. Щелочное число, мг КОН/г	2,6	3,5
6. Цвет, ед. ЦНТ	9	4,5

Очищенное отработанное моторное масло по своим свойствам близко к значениям некоторых видов базовых минеральных масел, используемых при изготовлении промывочных масел.

При этом, очищенное масло превосходит, например, масло И-20А по содержанию щелочных присадок, имеет более высокую вязкость, но более тёмный цвет.

На следующем этапе проведения исследований по разработке состава промывочного масла на основе очищенного отработанного масла разработана методика и устройство, моделирующее систему смазки с загрязнениями и отложениями и циркулирующей по ней промывочной жидкости (рисунок 1).

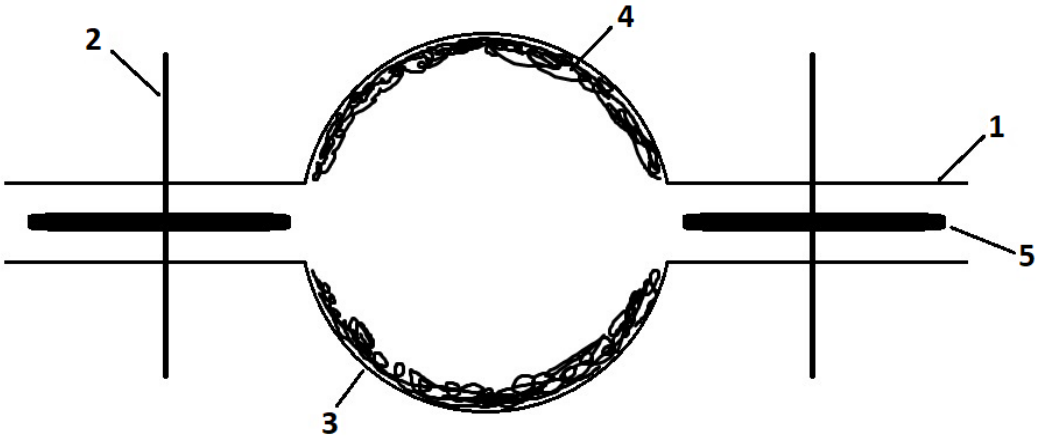


1 – ёмкость для масла; 2- кран; 3 – насос НШ-32 с приводом от электродвигателя;
4 – маслопровод; 5 – датчик давления масла в системе; 6 – сливной шланг;
7 – нагревательный элемент ТЭН; 8 – муфты

Рисунок 1 – Схема устройства для определения эффективности удаления загрязнений из масляных каналов

Устройство состоит из ёмкости для масла 1, крана 2 регулировки подачи масла в систему, насоса НШ-32 с приводом от электродвигателя 3, маслопровода 4 с встроенными датчиками давления (манометров) 5 и сливного шланга 6.

Маслопровод 4 представляет собой разрезанную металлическую трубу, скреплённую болтами 2 через уплотнительные прокладки 5.



1 – фланцы, крепления; 2 – стяжка; 3 – металлическая труба Ø 32 мм; 4 – загрязнения, смолы; 5 – уплотнительная прокладка

Рисунок 2 – Маслопровод, моделирующий масляные каналы системы смазки

В трубу 3, разделённую на две половины, по всей длине закладываются мазеподобные загрязнения.

В качестве загрязнений использовались осадки, образующиеся в процессе очистки отработанных масел. Для придания более естественных условий загрязнения и повышения их адгезии на поверхности металла проводится прогрев трубы открытым пламенем по наружной поверхности трубы после закладки загрязнений.

Далее труба скрепляется болтами 2 и через муфту 8 устанавливается в общую систему.

Загрязнённость каналов оценивается в баллах от 1 до 10. Принимается, что 1 балл соответствует абсолютной чистоте поверхности, 10 баллов – полностью загрязнена.

Вместе с балльной оценкой загрязнённости поверхности проводится анализ изменения содержания нерастворимого осадка в масле после включения каждого нового элемента в состав промывочного масла.

Нагрев масла в системе осуществляется с помощью ТЭН-а 7, установленного в ёмкости 1 (рисунок 1).

Давление масла в системе поддерживается постоянным и не превышает 2,5 кгс/см^2.

В качестве добавок к маслу используется диметисульфоксид 1…3 % масс, изопропилат калия 1…3 % масс и дизельное топливо 1…3 % масс.

Каждая из добавок вносится в масло (ёмкость 1) поочерёдно.

Время промывки принималось 40 минут с каждым из внесённых компонентов добавки, при этом, через каждые 10 минут промывки маслопровод разбирался, и оценивалось состояние его загрязнённости.

Результаты и их обсуждение. В результате экспериментальных исследований установлено, что промывка масляных каналов очищенным отработанным маслом без моющих добавок позволяет удалить часть загрязнений с поверхности канала, снизив данный показатель с 10 до 7 баллов, а содержание нерастворимых загрязнений в масле, через 40 минут промывки, изменилось с 0,01 % до 0,2 % (рисунок 3).

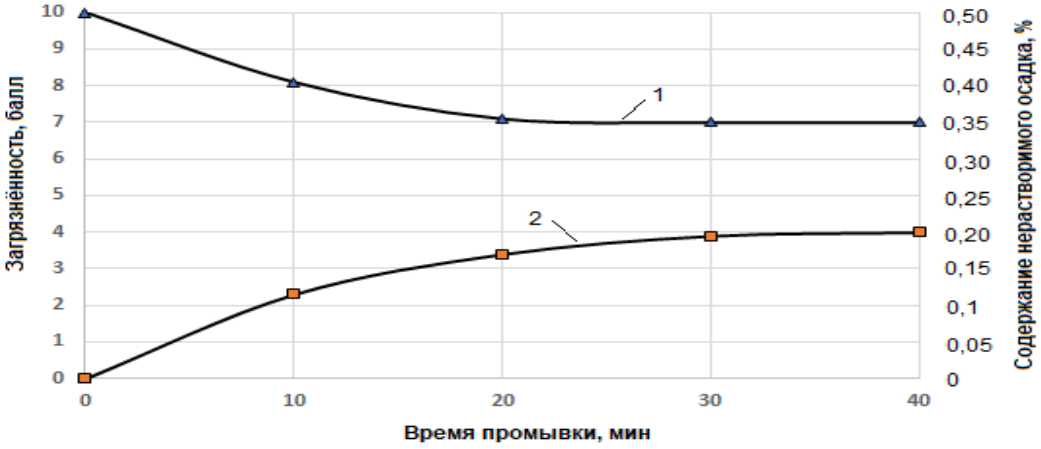


Рисунок 3 – Зависимость изменения загрязнённости поверхности маслопровода 1 и содержания нерастворимого осадка в масле 2 от времени промывки системы

Относительно высокие моющие свойства очищенного отработанного моторного масла возможно объяснить остаточным содержанием моющих присадок в отработанном моторном масле и действием моноэтаноламина и изопропанола, которые использовались при очистке отработанного моторного масла.

Оценивая загрязнённость поверхностей маслопровода, следует отметить некоторую неравномерность удаления смолистых отложений. Большая часть удалённых отложений отмечена в первом колене (рисунок 1) несмотря на то, что давление масла в системе было одинаковым и в 1-м колене, и во 2-м.

На следующем этапе исследовании, в отработанное моторное масло вносилось дизельное топливо в процентном соотношении 1…3 к объёму.

Установлено, что внесение топлива снижает вязкость масла на 5…10 %.

Дизельное топливо, на основании сделанных предположений и известных составов промывочных масел, способствует активизации процесса смыва загрязнений с поверхностей металла.

На рисунке 4 представлена зависимость изменения загрязнённости поверхностей маслопровода и содержания нерастворимого осадка в масле в зависимости от концентрации дизельного топлива за период промывки 40 минут.

Анализируя полученные зависимости, установлено, что добавка дизельного топлива 2…3 % масс позволяет незначительно повысить моющие свойства состава масла.

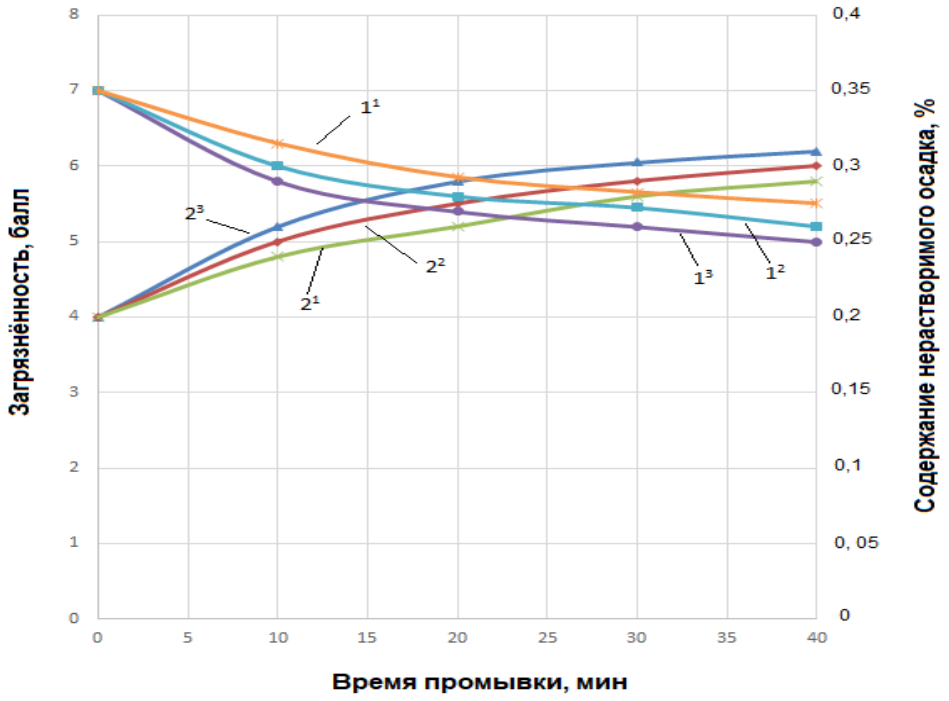
Однако данная добавка не решает принципиально вопрос улучшения эффекта удаления загрязнений, что предопределило необходимость введения в состав промывочного масла специфических моющих препаратов, способных в определённой степени растворять уплотнившиеся смолистые отложения.

На основании анализа добавок к маслу, представленных в научной литературе и патентах на изобретения [4, 5, 6] в качестве компонентов, повышающих моющие свойства масла определены диметилсульфоксид и изопропилат калия. Изопропилат калия готовится путём смешивания изопропанола 92 % и гидроксида калия 8 % при температуре 20…25 ^{o}C. Полученная смесь вносилась к уже полученному составу масла в соотношении 1…3 % масс.

На рисунке 5 показано изменение моющих свойств состава масла с добавкой 3 % изопропилата калия.

Отмечено снижение загрязнённость поверхностей маслопровода с 5 баллов до 3 баллов.

Далее, для определения моющих свойств состава, маслопровод вновь покрывался смолистыми загрязнениями в соответствии с принятой методикой и проводилась промывка «чистым» составом.



1^1, 1^2, 1^3 – загрязнённость при концентрации добавки дизельного топлива в масло соответственно 1, 2, 3 % масс.; 2^1, 2^2, 2^3 – содержание нерастворимого осадка в масле при промывке с добавкой дизельного топлива соответственно 1, 2, 3 % масс.

Рисунок 4 - Зависимость изменения загрязнённости маслопровода 1 и содержания нерастворимого осадка 2 от времени промывки

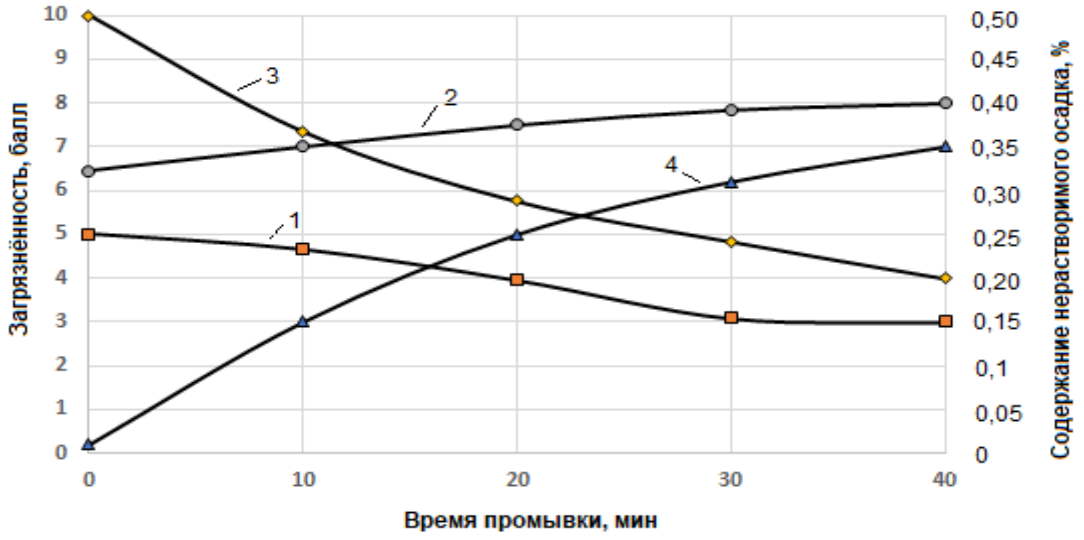


Рисунок 5 - Зависимость изменения загрязнённости поверхностей металла маслопровода (1) и масла (2) от времени промывки

Установлено, что состав, состоящий из очищенного масла, дизельного топлива и изопропилата калия, позволяет сократить загрязнённость каналов маслопровода в 2,5 раза по сравнению с исходным состоянием (линия 3 рисунок 5), при этом содержание нерастворимого осадка в масле увеличивается с 0,01 до 0,35 %.

Аналогичный эксперимент был проведён при добавлении в очищенное масло, помимо вышеперечисленных составляющих, диметилсульфоксида в количестве 3 % масс.

Внесение диметилсульфоксида проводилось при предварительном нагреве масла до температуры 50 ^{o}C и общая смесь перемешивалась в течение 10 мин.

На рисунке 6 показана зависимость изменения загрязнённости поверхностей маслопровода и содержание нерастворимых загрязнений, смол, осадков в масле после промывки масляной системы устройства.

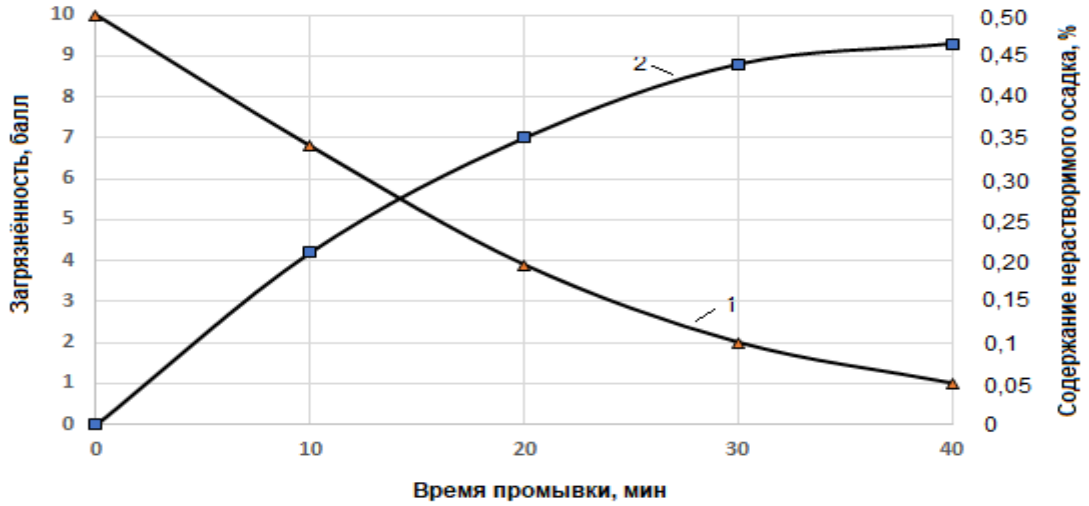


Рисунок 6 – Зависимость изменения загрязнённости каналов маслопровода (1) и содержания нерастворимого осадка в масле (2) от времени промывки

Выводы. В результате проведённых исследований установлено, что разрабатываемый состав промывочного масла позволяет снизить загрязнённость маслопровода в 9 раз. Для подтверждения результатов экспериментальных исследований необходимо проведение производственных испытаний непосредственно в двигателях внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Гуреев А.А., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химмотологимя. М.: Химия – 1986, – 368 с.
2. Венцель С.М. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания // М.: Химия – 1979, – 238 с.
3. Остриков В.В., Афанасьев Д.И., Кругов В.Ф., Сазонов С.Н. Способ очистки отработанных минеральных моторных масел // Патент РФ № 2614244. 24.03.2017.
4. Кириллов В.В., Шумовский А.В., Данилов А.М. Промывочные масла для двигателей внутреннего сгорания // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний – 2005. – № 1. – С. 12 – 13.
5. Фомин В.Н., Суздальцев Н.И., Типушко Е.В., Тарасов А.В., Катренко Т.И., Школьников В.М., Колесник И.О., Трофимова Г.Л. Промывочное масло // Патент РФ № 2218383. 15.11.2002.
6. Шафранский Е.Л., Катков И.Н., Дорошенко А.Н., Суздальцев Н.И., Скольдицкий С.В., Ряузова И.О., Катренко Т.И., Минскер Я.Д., Трофимова Г.Л. Присадка к промывочному маслу и промывочное масло // Патент РФ № 2057791. 10.05.1994.

References

1. Gureev A.A., Fuks I.G., Lashxi V.L. Ximmotologimya. M.: Ximiya – 1986, – 368 s.
2. Vencel' S.M. Primenenie smazochnyx masel v dvigatelyax vnutrennego sgoraniya // M.: Ximiya – 1979, – 238 s.

3. Ostrikov V.V., Afanas'ev D.I., Krugov V.F., Sazonov S.N. Sposob ochistki otrabotannyx mineral'nyx motornyx masel // Patent RF № 2614244. 24.03.2017.

4. Kirillov V.V., Shumovskij A.V., Danilov A.M. Promyvochnye masla dlya dvigatelej vnutrennego sgoraniya // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyx kompanij – 2005. – № 1. – S. 12 – 13.

5. Fomin V.N., Suzdal'cev N.I., Tipushko E.V., Tarasov A.V., Katrenko T.I., Shkol'nikov V.M., Kolesnik I.O., Trofimova G.L. Promyvochnoe maslo // Patent RF № 2218383. 15.11.2002.

6. Shafranskij E.L., Katkov I.N., Doroshenko A.N., Suzdal'cev N.I., Skol'dickij S.V., Ryauzova I.O., Katrenko T.I., Minsker Ya.D., Trofimova G.L. Prisadka k promyvochnomu maslu i promyvochnoe maslo // Patent RF № 2057791. 10.05.1994.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Жерновников Дмитрий Николаевич – старший лаборант-исследователь Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Забродская Алла Владимировна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Вязинкин Виктор Сергеевич – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

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

Author credentials

Affiliations

Zhernovnikov Dmitry – Senior Laboratory Assistant of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

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

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

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

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2020 Принята к публикации (Accepted): 10.02.2020

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 28.02.2020. Заказ № 10.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 9.87 усл. печ. л. Тираж 100 экз.