ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2023 № 1 (61)

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

С Днем российской науки!

Глубокоуважаемые ученые, преподаватели, аспиранты и студенты, коллеги, читатели и авторы журнала «Наука в центральной России»!

Поздравляем Вас с профессиональным праздником!

С Днем Российской науки!

Это великий праздник новаторских идей, открытий и знаний.
Будни ученого – это сложный, ответственный, но очень интересный труд, наполненный новыми достижениями.
Пусть Ваша упорная, скрупулезная работа не останется незамеченной, будет по достоинству отмечена всемирным признанием!

Желаем Вам творческой энергии, оптимизма и уверенности,
новых научных идей и их успешного воплощения!
Крепкого здоровья, сил и благополучия.

Наш журнал будет рад рассказать о Ваших достижениях и победах, взлетах творческой мысли научному сообществу.

Редакция журнала «Наука в центральной России»!

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine

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

№ 1 (61), 2023 г.

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

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

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

АФОНИЧЕВ Дмитрий Николаевич - заведующий кафедрой «Электротехники и автоматики» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор
БАЛАБАНОВ Виктор Иванович – заведующий кафедрой «Организации и технологии гидромелиоративных и строительных работ» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук, профессор
ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. отделом ФГБНУ «Росинформагротех»
ЖАЛНИН Эдуард Викторович – заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор
ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович – главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ
КАЗАКЕВИЧ Пётр Петрович – заместитель председателя президиума Национальной академии наук Республики Беларусь, член-корреспондент национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, иностранный член РАН
КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник
КАРТОШКИН Александр Петрович – профессор кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор
КОВАЛЕВ Михаил Михайлович – доктор технических наук, заслуженный изобретатель РСФСР, академик российской академии естественных наук, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ
КОРНЕВ АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ – зам. главного редактора, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН
КРАСНЯНСКИЙ Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ЛАРЮШИН Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»
ЛОБАЧЕВСКИЙ Яков Петрович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН
МАНАЕНКОВ Константин Алексеевич – директор Инженерного института ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет, доктор технических наук, профессор
МАШКОВ Алексей Николаевич – главный редактор, кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН
ОРОБИНСКИЙ Владимир Иванович – декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор сельскохозяйственных наук, профессор
САФОНОВ Валентин Владимирович – профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В.Вавилова», доктор технических наук, профессор
ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – и.о. директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
ФЕДОРЕНКО Вячеслав Филиппович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
BIANCO Vincenzo – Department of mechanical, energy, management end transportation engineering, Univercity of Genoa, Italy, Ph.D., Associate Professor
VIGDOROVITSCH Michael – Geschäftsführer ANGARA GmbH, Düsseldorf, Deutschland, doktor fiziko-matematicheskih nauk (Doktor der physikalischen und mathematischen Wissenschaften) Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry Russian Academy of Sciences

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2023

«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 (61), 2023 г.

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

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

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

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

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

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

ЕРОХИН Геннадий Николаевич – заведующий лабораторией использования зерноуборочной техники ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

НАГОРНОВ Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

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

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

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

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

ЧЕРНИКОВ Дмитрий Вячеславович – ведущий системный администратор ФГБНУ ВНИИТиН

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

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

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: Машков А.Н.; заместитель главного редактора: Корнев А.Ю.
№1 (61). Дата выхода в свет 28.02.2023. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.
Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская обл., г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.
Печатное издание журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

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

Тишанинов Н.П., Емельянович С.В.
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНОГО ПИТАТЕЛЯ ДЛЯ ПОДАЧИ ПРИМЕСИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТРИЕР 5

Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В.
ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНОВОК ПРИ СТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ.....14

Петрашев А.И., Клепиков В.В.
СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ НАГРЕВА ГЕНЕРАТОРА Г1000В ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ПРИМЕНЕНИИ.....23

Кузнецов Н.Н., Вершинин В.Н., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СУШИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННОГО АГЕНТА СУШКИ 34

Родионов Ю.В., Данилин С.И., Ломовских А.Е., Черноиванов В.И., Денисов И.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСМИССИИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ.....43

Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Зорина О.А., Кольцов В.А., Рыбин Г.В., Скоморохова А.И.
ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВ И ЭКСТРАКТОВ ИЗ ОВОЩЕЙ, ПЛОДОВ И ЯГОД ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ.....55

Астахов М.В., Славкина Е.В., Сорокина И.И.
К ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРИЦЕПОВ 66

Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Комогорцев В.Ф., Синяя Н.В.
К ОБОСНОВАНИЮ СПОСОБА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ СВОБОДНОГО ЗЕРНА ПРИ ОЧЕСЕ РАСТЕНИЙ НА КОРНЮ 77

Родионов Ю.В., Данилин С.И., Могутнов Р.В., Ломовских А.Е., Армянинов И.С.
СПОСОБ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ.....85

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

Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ 100

Купреенко А.И., Кузнецов В.В., Исаев Х.М., Исаев С.Х.
ФОРМАЛИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПРЫСКИВАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ РАСХОДОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ 108

Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Смирнов А.И., Антипов А.О., Малько И.В.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ «КУБАНЬ-ЛК1» ПРИ ЗАРАВНИВАНИИ КОЛЕИ 116

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

Улюкина Е.А., Львов В.А., Шарыкин Ф.Е.
СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ В МНОГОКАНАЛЬНОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ..... 124

Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А.
К ОЦЕНКЕ ИНГИБИТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ 133

CONTENTS

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

Tishaninov N., Emelyanovich S.
JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE BELT FEEDER TO SUPPLY THE IMPURITY TO THE EXPERIMENTAL TRIER 5

Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovich S.
INSTRUMENT FOR INVESTIGATION OF DEFORMATION AND FRACTION OF CERIPS UNDER STATIC COMPRESSION 14

Petrashev A., Klepikov V.
REDUCING OF THE HEATING LEVEL FOR THE G1000V GENERATOR IN REVERSE APPLICATION 23

Kuznetsov N., Vershinin V., Nikiforov V., Simonov G., Filippova O.
IMPROVING THE EFFICIENCY OF DRYING DEVICES BY USING THE HEAT OF THE SPENT DRYING AGENT 34

Rodionov Y., Danilin S., Lomovskih A., Chernoivanov V., Denisov I.
IMPROVING THE TRANSMISSION OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT IN ORDER TO INCREASE CROSS-COUNTRY CAPABILITY 43

Rodionov Y., Nikitin D., Zorina O., Koltsov V., Rybin G., Skomorokhova A.
VACUUM TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF POWDERS AND EXTRACTS FROM VEGETABLES, FRUIT AND BERRIES FOR FUNCTIONAL FOOD 55

Astakhov M., Slavkina E., Sorokina I.
TO INCREASE THE RELIABILITY OF AGRICULTURAL TRAILERS 66

Ozherelev V., Nikitin V., Komogortsev V., Sinyaya N.
TO THE SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF PRELIMINARY SEPARATION OF FREE GRAIN IN THE ROOT OF PLANTS 77

Rodionov Y., Danilin S., Mogutnov R., Lomovskih A., Armyaninov I.
METHOD AND DEVICE FOR INCREASING THE SERVICE LIFE OF AUTOMOTIVE MACHINERY ENGINES 85

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

Tishaninov N., Anashkin A., Emelyanovich S.
RESULTS OF INVESTIGATIONS OF AERODYNAMIC PROPERTIES OF GRAIN MATERIALS 100

Kupreenko A., Kuznetsov V., Isaev K., Isaev S.
FORMALIZATION OF NONLINEAR CHARACTERISTICS OF THE SPRAYER IN THE PROCESS OF WORKING FLUID CONSUMPTION 108

Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Smirnov A., Antipov A., Malko V.
EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE RUNNING SYSTEM “KUBAN-LK1” WHEN LEVELING THE TRACK 116

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

Ulyukina E., Lvov V., Sharykin F.
STOCHASTIC MODEL OF DIESEL FUEL PRETREATMENT IN A MULTICHANNEL HYDRODYNAMIC FILTER 124

Knyazeva L., Dorokhov A., Kur`yato N.
TO THE EVALUATION OF INHIBITOR PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINERY AND EQUIPMENT 133

Тип статьи: научная
УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-5-13

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНОГО ПИТАТЕЛЯ ДЛЯ ПОДАЧИ ПРИМЕСИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТРИЕР

Николай Петрович Тишанинов[1], Сергей Владимирович Емельянович[2]
[1,2]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]seruvarovo@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Сергей Владимирович Емельянович, seruvarovo@yandex.ru
Corresponding author: Sergey Emelyanovich, seruvarovo@yandex.ru

Реферат. *Обоснованы требования и технические возможности обеспечения воспроизводимости условий экспериментов при исследовании триерных технологий очистки зерносмесей по устойчивости во времени их компонентного состава, путем раздельной подачи компонентов в триер. Для примесных компонентов, обладающих высокой связностью частиц (овес, овсюг) предложен ленточный питатель, позволяющий обеспечивать воспроизводимость экспериментов при исходной засоренности зерносмеси в диапазоне* $З_и$ *= 1 - 3% и производительности триера* W_T *= 1,2 - 4,35 т/ч. Распределение примесного компонента по длине ленты осуществляется посредством короба без днища. Параметры сечения короба приняты на основе анализа противоречия, состоящего в том, что увеличение горизонтального сечения короба (*$S_к$*) приводит к росту относительной погрешности распределения примесного компонента при его укладке, а снижение* $S_к$ *увеличивает динамику формирования слоя примеси на ленте, снижая эффективность использования ее ширины. Предпочтительными для условий опытов при* $З_и$ *= 1 - 3% и* W_T *= 1,2 - 4,35 т/ч оказались параметры короба: ширина - 60 мм; высота - 70 мм. Экспериментально установлено весомое влияние динамики формирования примесного слоя на ленте: угол естественного откоса уменьшается в 2,5 раза (30° до 12°); ширина слоя увеличивается в 1,6 раза (с 170 мм до 270 мм). Снижение динамического воздействия на примесный компонент за счет уменьшения высоты короба приводит к снижению эффективности использования ширины ленты – поперечное сечение примесного слоя становится трапецеидальным. Предотвращение потерь примеси в работе питателя обеспечивается гибкими буртиками, закрепленными на краях ленты. Качественное распределение примеси по длине короба в опытах с частичной загрузкой триера осуществляется специальным разравнивателем – вертикальным шибером, размещенным в ползуне с возможностью корректировки положения и фиксации зажимом. Для контроля распределения примеси в коробе целесообразно хотя бы одну из его боковых стенок изготовить из прозрачного материала.*

Ключевые слова: *зерносмесь, триер, примесь, питатель, раздельная подача компонентов, качество дозирования, воспроизводимость условий опытов.*

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE BELT FEEDER TO SUPPLY THE IMPURITY TO THE EXPERIMENTAL TRIER

Nikolay Tishaninov[1], Sergey Emelyanovich[2]
[1,2]All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]seruvarovo@yandex.ru

Abstract. *The requirements and technical possibilities for ensuring the reproducibility of experimental conditions in the study of screener technologies for cleaning grain mixtures in terms of the*

stability of their component composition over time, by means of separate feeding of components into the screener, are substantiated. A belt feeder that makes it possible to ensure the reproducibility of experiments with the initial clogging of the grain mixture in the range Zi = 1 - 3% and the productivity of the trier WT = 1.2 - 4.35 t / h is proposed for impurity components with high particle cohesion (oats, wild oats). The distribution of the impurity component along the length of the tape is carried out by means of a box without a bottom. The parameters of the box section were adopted based on the analysis of the contradiction, which consists in the fact that an increase in the horizontal section of the box (S_k) leads to an increase in the relative error in the distribution of the impurity component during its laying, and a decrease in S_k increases the dynamics of the formation of an impurity layer on the tape, reducing the efficiency of using its width. The box parameters turned out to be preferable for the experimental conditions at Z_i = 1 - 3% and W_t = 1.2 - 4.35 t/h: width - 60 mm; height - 70 mm. A significant influence of the dynamics of the formation of an impurity layer on the tape was experimentally established: the angle of repose decreases by a factor of 2.5 (30° to 12°); the layer width increases by 1.6 times (from 170 mm to 270 mm). Reducing the dynamic impact on the impurity component by reducing the height of the box leads to a decrease in the efficiency of using the width of the tape - the cross section of the impurity layer becomes trapezoidal. Prevention of impurity losses in the feeder operation is ensured by flexible collars fixed on the edges of the belt. The qualitative distribution of impurities along the length of the box in experiments with partial loading of the trier is carried out by a special leveler - a vertical gate placed in a slider with the possibility of adjusting the position and fixing it with a clamp. To control the distribution of impurities in the box, it is advisable to make at least one of its side walls from a transparent material.

Keywords: *grain mixture, trier, impurity, feeder, separate supply of components, dosing quality, reproducibility of experimental conditions.*

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Емельянович С.В. Обоснование параметров ленточного питателя для подачи примеси в экспериментальный триер // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 5-13. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-5-13.

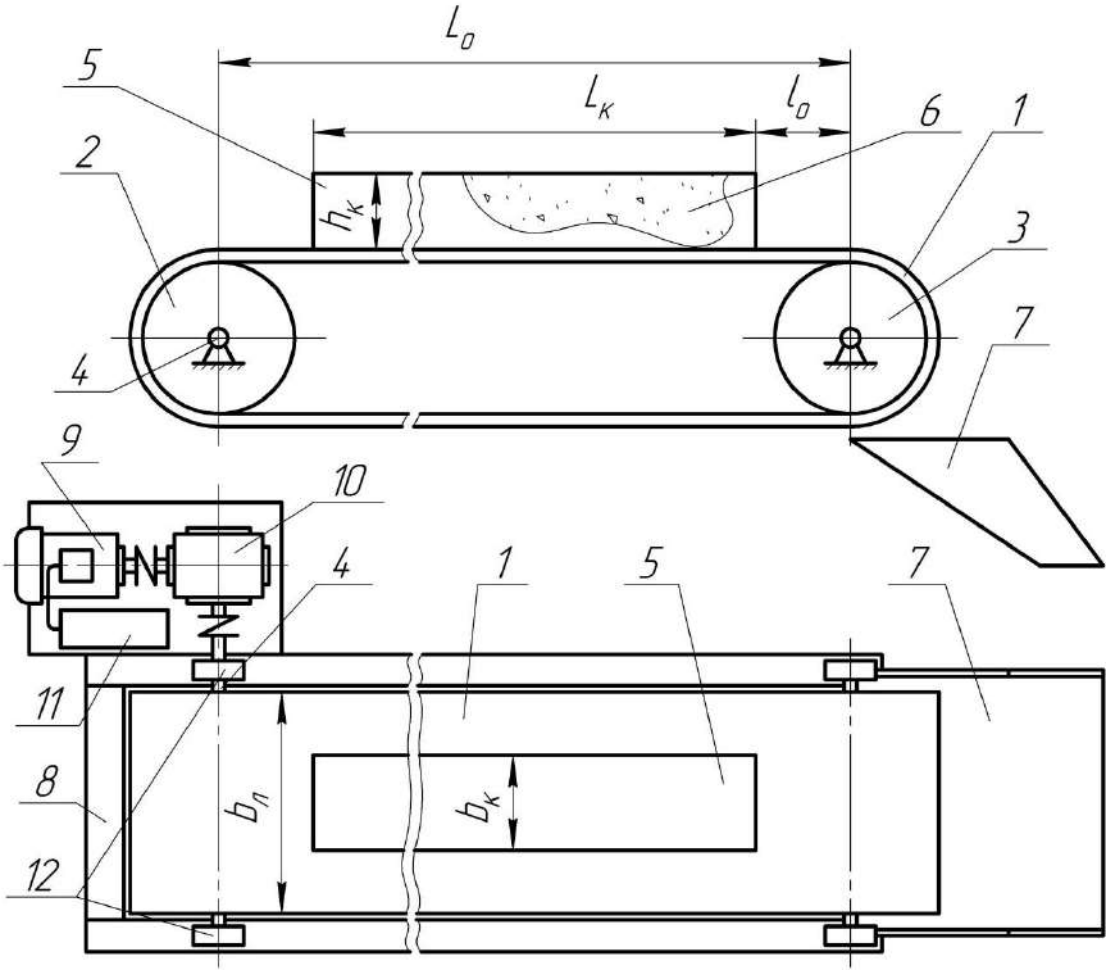
For citation: Tishaninov N., Emelyanovich S. Justification of the parameters of the belt feeder to supply the impurity to the experimental trier. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 5-13. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-5-13.

Введение. Известны основные требования к экспериментальным исследованиям, состоящие в обеспечении воспроизводимости условий опытов и управляемости экспериментом. Применительно к исследованиям процессов триерной очистки зерносмесей основная проблема выполнения указанных требований заключается в необходимости сохранения во времени массовых соотношений разделяемых компонентов. Бункерные питатели, использованные для исследования триеров авторами работ [1-3], не удовлетворяют указанным требованиям из-за разновекторной сегрегации компонентов зерносмеси − «осаждения» или «всплытия» частиц примесей в основной культуре. Исследования процессов сегрегации примесных компонентов в бункерных питателях [4, 5] показали, что массовые соотношения компонентов зерносмесей при этом изменяются в несколько раз, что исключает объективность получаемых результатов. В диапазоне исходной засоренности $З_и$ = 1 – 11% основной культуры примесными компонентами (просо, овес, горох), кратность изменения их содержания составляла соответственно – 1,5; 2,3 и 4,0 раза [3]. При меньшей исходной засоренности зерносмеси ($З_и$ = 0,5%) наблюдается 6-ти кратное изменение содержания примесных компонентов в навесках, отводимых из бункерных питателей. Разработанное в ФГБНУ ВНИИТиН техническое решение [6] для раздельной подачи примесных компонентов в экспериментальный триер обеспечивает регламентацию их содержания в зерносмеси на протяжении опытов, но качество его работы и технологические параметры изучены недостаточно [7-9]. В работах [8, 9] авторы исследуют ограниченный диапазон производительности триера ($W_т$ < 1,5 т/ч), который является первичным звеном малотоннажной технологии переработки гречихи в крупу. Авторы не рассматривают вариативность формирования слоя примеси на ленте питателя в зависимости от параметров короба и степени его заполнения и

обусловленное этими факторами влияние на равномерность подачи примеси в технологический поток.

Материалы и методы. Экспериментальное оборудование для исследований ячеистых поверхностей, приборы для определения физико-механических свойств сыпучих материалов, измерительные приборы, решетный классификатор. Расчетно-конструктивные методы.

Результаты и их обсуждение. Ленточный питатель в составе экспериментального оборудования для исследований ячеистых поверхностей предназначен для подачи в триер примесных компонентов синхронно с подачей основной культуры, обеспечивая заданные планом эксперимента их массовые соотношения в зерносмеси. Для крупноячеистых цилиндров зерновых триеров характерными примесными компонентами являются овес и овсюг (поэтому цилиндр называется овсюжным). Овес и овсюг имеют ограниченную текучесть, что ограничивает применение для их дозирования активных рабочих органов (с заполнением их объемов самотеком – шнеки, скребки и др.) по критериям качества процесса. Это предопределило выбор конструктивного исполнения питателя, общий вид которого представлен на рисунке 1.



1 – лента; 2, 3 – барабаны; 4 – приводной вал; 5 – короб; 6 – примесь; 7 – лоток; 8 – рама; 9 – электродвигатель; 10 – редуктор; 11 – частотный преобразователь; 12 − подшипник

Рисунок 1 – Общий вид питателя

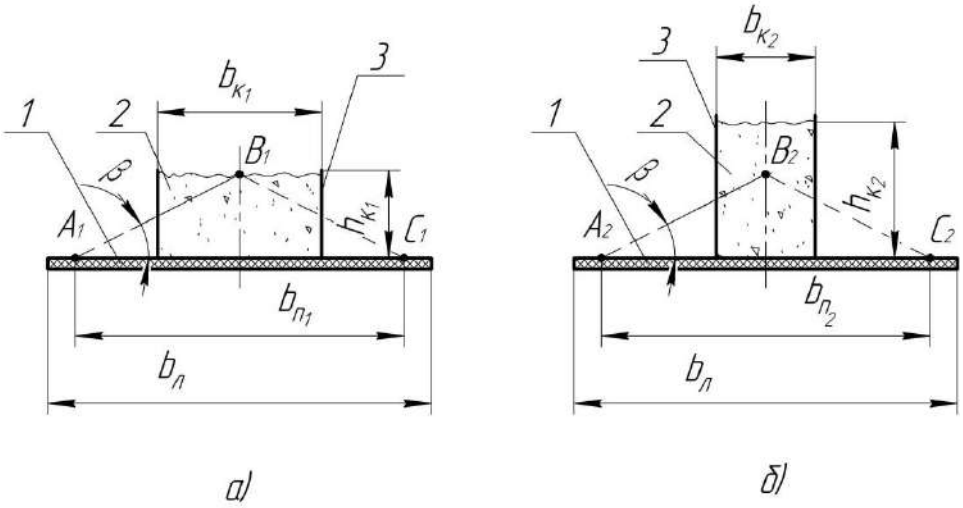
Питатель включает ленту 1, установленную на барабанах 2 и 3, приводной вал 4, короб 5 для формирования слоя примеси 6, лоток 7 для отвода примеси 6, раму 8, электродвигатель 9, редуктор 10, частотный преобразователь 11 и подшипник 12.

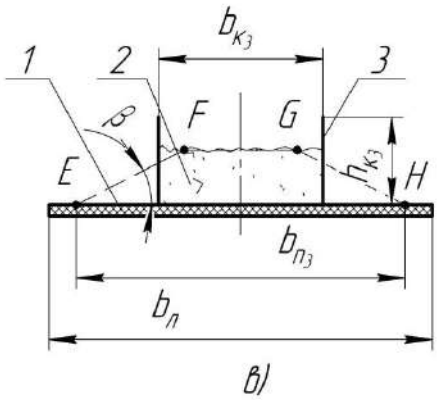
Работает питатель следующим образом. Перед началом его включения на ленту 1, размещенную горизонтально на барабанах 2 и 3, устанавливают симметрично по ее ширине короб 5 на некотором расстоянии ($l_о$) от вертикальной оси барабана 3. Далее в коробе 5 равномерно по высоте распределяют расчетное количество ($M_п$) примеси 6. Затем частотным преобразователем 11 устанавливают скоростной режим привода по условиям конкретного опыта и посредством электродвигателя 9 и редуктора 10 передают вращательное движение на приводной вал 4, размещенный в подшипниках 12, закрепленных на раме 8. После этого медленно поднимают короб 5 и полностью удаляют его с ленты 1. Осыпаясь, примесь 6 занимает большую часть ширины ленты ($b_л$) и заполняет участок $l_о$ в продольном направлении под углом естественного откоса (β). Далее включают привод питателя синхронно с подачей в триер основной культуры, который обеспечивает заданное соотношение компонентов зерносмеси в течение времени опыта ($t_{оп}$).

Для расчета параметров питателя в качестве исходных данных приняты характеристики области экспериментов по основным факторам: производительность триера − $W_т$ = 1,2 − 4,35 т/ч; продолжительность опытов − $t_{оп}$ = 50 − 80с; насыпная плотность примесного компонента (овса) – ρ = 435 кг/м^3; угол естественного откоса примеси − β = 21°; содержание примеси в зерносмеси $З_и$ = 1 – 3%.

С учетом конструктивных и практических соображений величина ленты выбрана равной $L_о$ = 2 м, которая обеспечивает диапазон $t_{оп}$ на двух скоростных режимах работы питателя − $V_л$ = 0,02 и 0,04 м/с. Увеличение скорости ленты 1 до $V_л$ = 0,04 м/с возможно при $t_{оп} = t_{оп\ min}$ и целесообразно с точки зрения снижения погрешности дозирования примеси за счет снижения относительной ошибки при росте базы сравнения.

Варианты формирования поперечного сечения примеси на ленте определяются параметрами короба 5 и степенью его заполнения при реализации программы экспериментов, рисунок 2.





1 – лента; 2 – примесь; 3 – короб
Рисунок 2 – Варианты формирования поперечного сечения примеси на ленте питателя

На рисунках 2а и 2б представлены варианты равномерного погонного (по длине ленты 1) распределения примеси 2 с использованием коробов 3 равного поперечного сечения, но с разными размерами по высоте и ширине: $b_{к1} \cdot h_{к1} = b_{к2} \cdot h_{к2}$; $b_{к1} > b_{к2}$; $h_{к1} < h_{к2}$. Оба короба 3 при медленном подъеме формируют слой примеси 2 на ленте 1 одинакового поперечного сечения: $\Delta A_1B_1C_1 = \Delta A_2B_2C_2$. Высота короба $h_{к1}$ является минимально достаточной, при котором сечение ($\Delta A_1B_1C_1$) является рациональным с точки зрения эффективности использования ширины ленты 1 при угле естественного откоса (β) примеси 2. Дальнейшее снижение $h_к$ и увеличение $b_к$ приведет к формированию слоя примеси 2 трапецеидальной формы с меньшей площадью поперечного сечения.

Кроме того увеличение $b_к$ приведет к росту погрешности дозирования примеси 2, так как при равной погрешности выравнивания верхнего слоя примеси в коробе 3 относительная погрешность ее распределения по длине ленты 1 вырастает. Аналогичная ситуация наблюдается при частичной загрузке короба (например при меньшей дозировке примеси в триер – рисунок 2в). В этом варианте сечение примесного слоя становится трапецеидальным (*EFGH*), что снижает эффективность использования ширины ленты.

Поэтому вариант 2б является предпочтительным. Однако, завышение $h_к$ относительно минимально достаточного уровня усиливает динамику формирования примесного слоя на ленте 1, что ухудшает эффективность использования ширины ($b_л$) ленты за счет динамического снижения угла β. Вместе с тем этот недостаток уступает по весомости качеству дозировки, а эффективность использования ширины ($b_л$) ленты может быть компенсирована размещением гибких буртиков по краям ленты 1.

Принимая во внимание исходные данные, изложенные выше, можно определить максимальную производительность питателя ($W_{п\,max}$) для $W_т = W_{т\,max} = 4{,}35$ т/ч и $З_{и\,max} = 3\%$:

$$W_{п\,max} = W_{т\,max} \cdot З_{и\,max} / 100 = 4{,}35 \cdot 3/100 = 0{,}1305 \text{ т/ч} = 0{,}03625 \text{ кг/с}. \quad (1)$$

Учитывая взаимосвязь насыпной плотности овса (ρ) с натурой (H), можно записать для определения объемной подачи питателя:

$$q_{v\,max} = W_{п\,max} / H = 0{,}03625/0{,}435 = 0{,}084 \text{ л/с} = 84000 \text{ мм}^3\text{/с}. \quad (2)$$

В тоже время секундный объем примеси ($V_{п\,max}$) при скорости ленты $V_л = 0{,}02$ м/с (20 мм/с) можно определить по формуле:

$$V_{п\,max} = h_{п\,max} \cdot b_{п\,max} / 2 \text{x} V_л \cdot t_{(1)} = h_{п\,max} \cdot b_{п\,max} / 2 \text{ x } 20 = 10\, h_{п\,max}\, b_{п\,max} = 84000 \text{ мм}^3\text{/с}. \quad (3)$$

где $h_{п\,max}$ – высота $\Delta A_2B_2C_2$, мм;

$t_{(1)}$ – время, равное 1 с.

Формула (3) справедлива для рационального варианта формирования поперечного сечения примесного слоя на ленте питателя (рисунок 2б). Из рисунка 2б следует взаимосвязь:

$$b_{п\,max} = 2\,h_{п\,max} / \; tg\beta \qquad (4)$$

Подставляя значение $b_{п\,max}$ из уравнения (4) в уравнение (3), получим:

$$h_{п\;max} = \sqrt{4200 \cdot tg\beta} = \sqrt{4200 \cdot 0,38386} = 40,15 \text{ мм.} \qquad (5)$$

Тогда ширина слоя примеси ($b_п$) на ленте 1 питателя (основание Δ ABC – отрезок AC) будет с учетом формулы (4):

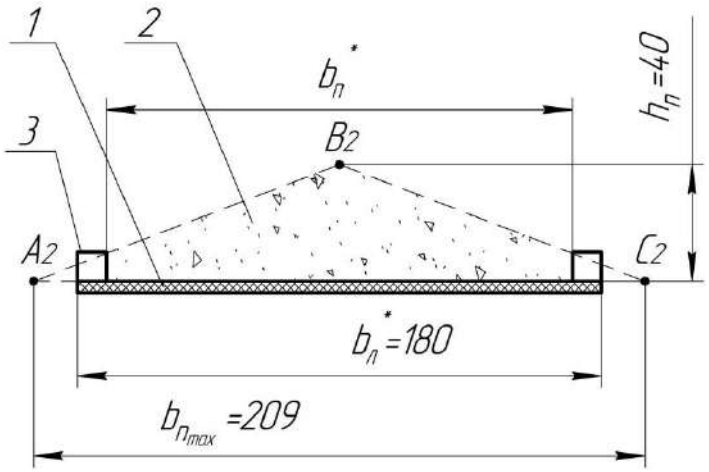
$$b_{п\,max} = 2 \cdot 40,15 / 0,38386 \approx 209 \text{ мм.} \qquad (6)$$

Из уравнения (3) следует, что максимальная площадь (S_{max}) сечения слоя примеси, необходимая для обеспечения $З_{и\;max}$ = 3% при $W_{т\;max}$ = 4,35 т/ч и скорости ленты $V_л$ = 0,02 м/с будет:

$$S_{max} = V_{max} / 20 = 84000 / 20 = 4200 \text{ мм}^2. \qquad (7)$$

Принимая во внимание рациональное соотношение размеров короба 3 (рисунок 2б), можно принять: $h_{к2}$ = 70 мм; $b_{к2}$ = 60 мм.

Сокращение $b_{к2}$ относительно $b_{к1}$ позволит снизить погрешность дозирования примеси 2 в зерносмесь за счет более качественного ее разравнивания в коробе 3. Наличие гибких компенсирующих буртиков по краям ленты 1 позволит балансировать возрастающую динамику формирования слоя примеси при сокращении $b_{к2}$, и уменьшить ширину ленты 1. Возможности сокращения $b_л$ до 180 мм подтверждены расчетной схемой, представленной на рисунке 3.



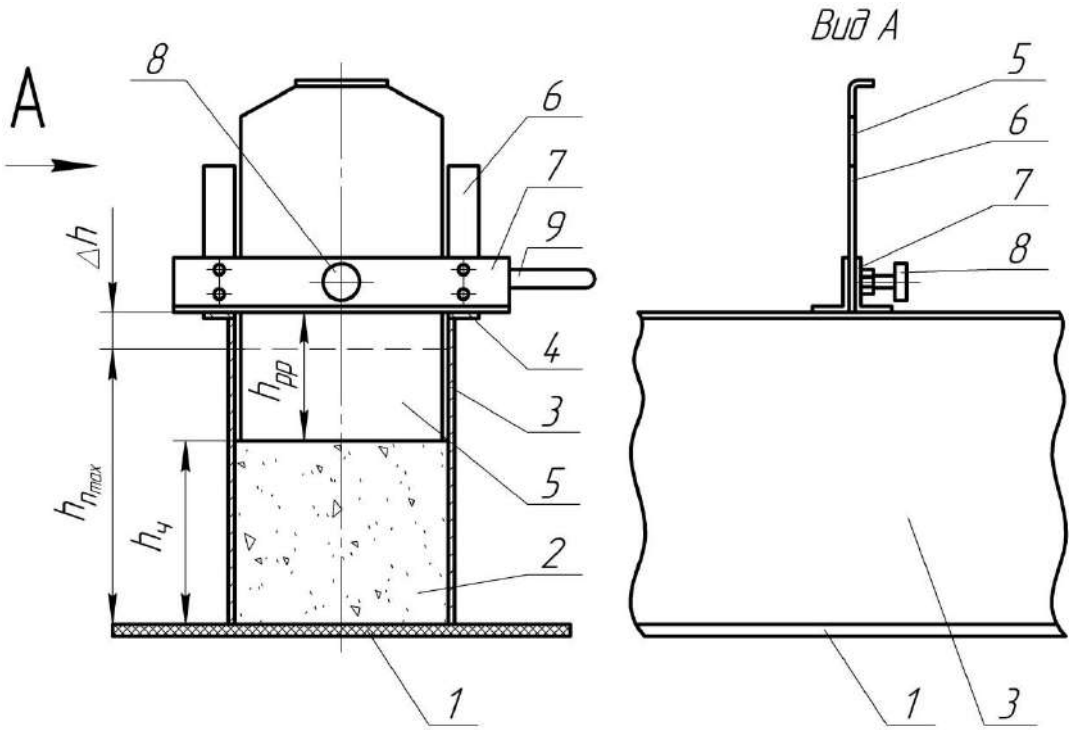
1 – лента; 2 – примесь; 3 – гибкие буртики
Рисунок 3 – Схема ленты с гибкими буртиками

На рисунке 3 представлен рациональный вариант формирования (2б) поперечного слоя примеси 2 на ленте 1 сокращенной ширины ($b_П^*$) за счет использования гибких буртиков 3 по краям ленты 1. Ширина буртиков выбрана равной 10 мм, а высота ($h_Б$) обоснована расчетным путем по толщине слоя ($h_{сл}$) примеси 2 в продольном сечении Δ $A_2B_2C_2$ плоскостью, сопряженной с внутренней стенкой буртиков 3:

$$h_{сл} = (b_{п_{max}} - b_п^*) / 2 \cdot tq\beta = 9,4 \text{ мм.} \qquad (8)$$

С учетом величины $h_{сл}$ при максимальной загрузке ленты 1 ($З_и$ = 3% · $W_т$ = 4,35 т/ч) высота гибких буртиков может быть равной 10-12 мм.

Выше отмечалось, что погрешность дозирования примеси 2 в триер возрастает при частичных загрузках короба, обеспечивающих условия опытов, когда $З_и$ = 1 и 2%. Снижение погрешности возможно за счет качественного разравнивания слоя примеси в коробе с использованием специального устройства, общий вид которого представлен на рисунке 4.



1 – лента; 2 – примесь; 3 – короб; 4 – опорные планки; 5 – шибер; 6 – направляющие; 7 − ползун; 8 – зажим; 9 − рукоятка

Рисунок 4 – Общий вид разравнивателя шиберного типа

Разравниватель работает следующим образом. В короб 3, размещенный на ленте 1 симметрично относительно ее продольной оси, насыпают расчетное количество (по массе) примеси 2 согласно плану экспериментов. Затем по величине $h_{п\ max}$, определяемой по формуле (5), и коэффициенту загрузки ($K_з$) короба 3 для заданного значения $З_{иi}$ в конкретном опыте определяют расчетное значение высоты слоя примеси 2 – $h_ч$:

$$\begin{cases} h_ч = h_{п_{max}} \cdot K_з; \\ K_з = З_{иi} / З_{и_{max}}, \end{cases} \quad (9)$$

где $З_{иi}$ – заданная условиями i-го опыта исходная засоренность зерносмеси, %.

Далее определяют расчетную величину рабочей части ($h_{рр}$) шибера 5 по формуле:

$$h_{рр} = h_{п\ max} + \Delta h - h_ч, \quad (10)$$

где Δh – запас высоты короба 3, обеспечивающий предотвращение потерь примеси в опытах при $З_и = З_{и\ max}$ (Δh = 5-7 мм), мм.

Для установки расчетной величины $h_{рр}$ рабочей части шибера 5 ослабляют зажим 8 перемещают шибер 5 по направляющим 6 на величину $h_{рр}$ от нижней плоскости ползуна 7 и фиксируют его зажимом 8 в ползуне 7. Затем ползун 7 с шибером 5 посредством рукоятки 9 перемещают вдоль короба 3 по опорным планкам 4. Возвратно-поступательные движения ползуна 7 производят до полного и качественного разравнивания примеси 2 в коробе 3.

Учитывая, что в рациональном варианте (рисунок 2б) исполнения короба 3 величина ($h_{п\ max}$ + Δh) = 77 мм, а $h_{п\ min} \approx$ 20 мм при $З_и$ = 1%, высота рабочей части шибера 5 должна быть:

$$h_{рр} = (h_{п\ max} + \Delta h) - h_{п\ min} = 77 - 20 = 57 \text{ мм}. \quad (11)$$

Расчетную величину ($h_{рр}$) контролируют линейкой. Ширина шибера 5 при $b_{к2}$ = 60 мм должна быть 58-59 мм с тем, чтобы исключить заклинивание зерновок примеси при ее разравнивании в коробе и обеспечить качество подготовительной операции. С целью дополнительного контроля

качества распределения примеси 2 в коробе 3 следует хотя бы одну из боковых его стенок изготовить из прозрачного материала.

Выводы. Воспроизводимость условий опытов по компонентному составу при исследовании триерных технологий обеспечивается за счет их раздельной подачи в триер с качественной дозировкой. Для примесных компонентов, обладающих высокой связностью (овес, овсюг), предпочтительным средством подачи является ленточный питатель с буртиками по краям ленты. Распределение примеси по длине ленты целесообразно производить с помощью короба без днища высотой, превышающей положение вершины треугольного сечения слоя примеси при максимальной загрузке триера и верхнего уровня засоренности зерносмеси. При частичной загрузке триера снижение погрешности дозирования примеси обеспечивается специальным разравнивателем с регулируемым по высоте шибером.

Список источников

1. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос – 1983. − 495 с.

2. А.с. СССР № 566636, МКИ В07В 13/02. Лабораторный триер / Ю.Т. Ячменев, Г.З. Файбушевияч, С.Б. Сычева. – № 2317317/13; заявл. 23.01.1976; опубл. 15.08.1977, Бюл. № 21.

3. Патент РФ № 2275242 . МПК В02В 1/02. Триерный комплекс / Л.Н. Бурков. – № 2004121266; заявл. 12.07.2004, опубл. 27.04.2006, Бюл. № 12.

4. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Новые резервы управления качеством очистки зерна / В сборнике: Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Материалы Международной научно-технической конференции: в 3-х томах. − 2014. − С. 266-272.

5. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Растюшевский К.А. Обоснование параметров стенда для исследования ячеистых поверхностей // Техника в сельском хозяйстве.− 2013. − № 2. − С. 18-21.

6. Патент РФ № 2492940. МПК В07В 13/02. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, А.Г. Амельянц, М.А. Тишанинов, К.А. Растюшевский. – № 2012112301/03; заявл. 29.03.2012, опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.

7. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Результаты исследований процесса триерной сепарации зерносмесей // Наука в центральной России. − 2013. − №6. − С. 37-45.

8. Амельянц А.Г. Тишанинов М.А. Частные методики исследований процессов очистки зерна. – Тамбов: ВИИТиН, 2003. − 49 с.

9. Тишанинов М.А. Новый методический подход к исследованиям процесса сепарации зерносмесей // Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Вып. 15. – Тамбов, ТГТУ. − 2004. − С. 78-81.

References

1. Karpenko A.N., Khalansky V.M. Agreecultural machines. Agreecultural equipment. 5th ed. revised and additional. − M.: Kolos − 1983. − 495 p.

2. A.s. USSR No. 566636, MKI V07V 13/02. Laboratory trier / Yu.T. Yachmenev, G.Z. Faybushevyach, S.B. Sychev. − No. 2317317/13; dec. 01.23.1976; publ. 08.15.1977, Bull. N 21.

3. RF patent N 2275242. IPC B02B 1/02. Trierny complex / L.N. Burkov. – N 2004121266; dec. 07.12.2004, publ. 27.04.2006, Bull. N 12.

4. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. New reserves of grain cleaning quality management / In the collection: Scientific and technological progress in agricultural production. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference: in 3 volumes. − 2014. − S. 266-272.

5. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Rastyushevsky K.A. Justification of the parameters of the stand for the study of cellular surfaces // Technique in agriculture. - 2013. − N. 2. − P. 18-21.

6. RF patent N 2492940. IPC V07V 13/02. Stand for testing cellular surfaces / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, A.G. Ameliants, M.A. Tishaninov, K.A. Rastyushevsky. − N 2012112301/03; dec. 03.29.2012, publ. 20.09.2013, Bull. N 26.

7. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Results of studies of the process of trier separation of grain mixtures // Science in Central Russia. − 2013. − N 6. − S. 37-45.

8. Ameliants A.G. Tishaninov M.A. Private methods of research of grain cleaning processes. −Tambov: VIITin, 2003. − 49 p.

9. Tishaninov M.A. A new methodological approach to the study of the process of separating grain mixtures // Proceedings of the TSTU: Collection of scientific articles of young scientists and students. Issue. 15. − Tambov, TSTU. − 2004. − S. 78-81.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник; С.В. Емельянович – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher; S. Emelyanovich – junior research fellow.

Вклад авторов: Н.П. Тишанинов – выполнил теоретический анализ формирования примесного слоя на ленте с использованием коробов различных форм и размеров, предложил конструктивное решение разравнивателя шиберного типа, сформулировал выводы; С.В. Емельянович – обосновал конструктивно-технологическую схему питателя, выполнил анализ работы ленты, обосновал необходимость ограничения динамического воздействия на примесный слой, выполнил поисковые исследования влияния динамики подъема короба на параметры примесного слоя.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: N. Tishaninov - performed a theoretical analysis of the formation of an impurity layer on a tape using boxes of various shapes and sizes, proposed a constructive solution for a slide-type leveler, formulated conclusions; S. Emelyanovich - substantiated the design and technological scheme of the feeder, performed an analysis of the operation of the tape, substantiated the need to limit the dynamic impact on the impurity layer, performed exploratory studies of the influence of the duct lifting dynamics on the parameters of the impurity layer.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 13.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 16.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.362.36
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-14-22

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНОВОК ПРИ СТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ

Николай Петрович Тишанинов[1], Александр Витальевич Анашкин[2], Сергей Владимирович Емельянович[3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Витальевич Анашкин, av-anashkin@mail.ru
Corresponding author: Alexander Anashkin, av-anashkin@mail.ru

Реферат. *Прочностные свойства зерновок необходимо учитывать при разработке и модернизации машин и оборудования для реализации многих технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. Рассмотрены известные устройства и методы определения усилий разрушения зерновок при внешних воздействиях. Разработан прибор для исследований процесса деформации и разрушения зерновок при статическом сжатии, позволяющий установить прочностные свойства различных зерновых материалов. Приведены результаты исследований по деформации и разрушению зерна пшеницы при статическом сжатии. Установлено, что независимо от пространственной ориентации зерновки зависимость деформации от усилия нагружения имеет прямолинейные участки, свидетельствующие о равномерном ее спрессовывании. При ориентации зерновки пшеницы бороздкой вверх и нагрузке Р = 10,37 кгс происходит скачкообразное увеличение деформации, после чего не наблюдается существенного приращения деформации с увеличением Р до 11,67 кгс. При дальнейшем нагружении в пределах Р = 12,04 – 15,18 кгс снова происходит увеличение деформации зерновки с ее уплотнением. При нагрузке Р = 15,55 кгс вновь наблюдается скачкообразное повышение деформации, после чего произошло разрушение зерновки. В случае ориентации зерновки бороздкой вниз характерное скачкообразное увеличение ее деформации произошло при усилии 17,31 кгс, что на 6,94 кгс больше, чем в противоположном варианте размещения. После этого динамика деформации существенно возросла, и разрушение зерновки произошло при усилии 19,25 кгс, что только на 3,51 кгс превышает аналогичное значение для зерновки, ориентированной бороздкой вверх.*

Ключевые слова: *прибор, зерновка, исследование, деформация, разрушение, статическое сжатие.*

INSTRUMENT FOR INVESTIGATION OF DEFORMATION AND FRACTION OF CERIPS UNDER STATIC COMPRESSION

Nikolai Tishaninov[1], Alexander Anashkin[2], Sergey Emelyanovich[3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Abstract. *The strength properties of grains must be taken into account in the development and modernization of machinery and equipment for the implementation of many technological processes in agricultural production. Known devices and methods for determining the forces of destruction of grains under external influences are considered. A device has been developed for studying the process of deformation and destruction of grains under static compression, which makes it possible to establish the strength properties of various grain materials. The results of studies on the deformation and destruction*

of wheat grain under static compression are presented. It has been established that, regardless of the spatial orientation of the grain, the dependence of the deformation on the loading force has straight sections, indicating its uniform compaction. An abrupt increase in deformation occurs when the grain of wheat is oriented with the groove up and the load P = 10.37 kgf, after which there is no significant increase in deformation with an increase in P to 11.67 kgf. With further loading within P = 12.04 - 15.18 kgf, the grain deformation increases again with its compaction. At a load P = 15.55 kgf, an abrupt increase in deformation is again observed, after which the grain was destroyed. In the case of grain orientation with a groove down, a characteristic jump-like increase in its deformation occurred at a force of 17.31 kgf, which is 6.94 kgf more than in the opposite placement. After that, the dynamics of deformation increased significantly, and the destruction of the grain occurred at a force of 19.25 kgf, which is only 3.51 kgf higher than the similar value for the grain oriented with the groove up.

Keywords: *device, weevil, research, deformation, destruction, static compression*.

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Прибор для исследований деформации и разрушения зерновок при статическом сжатии// Наука в Центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 14-22. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-14-22.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A., Emelyanovisch S. Instrument for investigation of deformation and fraction of cerips under static compression. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 14-22. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-14-22.

Введение. В мукомольном и комбикормовом секторах промышленности, животноводстве, в сфере общественного питания возникает необходимость измельчения зерновых культур в огромных объемах при мировом их производстве 2,7 млрд. тонн в год. Дробление зерна является энергоемким процессом, и его эффективность во многом связана с физико-механическими свойствами материала. Кроме того при разработке и эксплуатации зерноочистительных машин необходимо учитывать прочностные свойства зерна, которые определяют предельные воздействия рабочих органов на него. Особенно велики потери от силового воздействия рабочих органов в технологиях подработки семян сельскохозяйственных культур.

Теоретическое описание процесса разрушения зерна под воздействием внешних сил [1-5] не позволяет учитывать влияние множества факторов: вид материала, сортовые особенности, влажность и температура зерновки, форма и строение зерновки, соотношение ее составных частей [6] и т.д. Поэтому необходимо экспериментально определять реальные усилия деформации и разрушения частиц зерновых материалов. Наиболее достоверные результаты исследований прочностных свойств зерновок могут быть получены при статическом сжатии. В этом случае можно добиться высокой воспроизводимости условий опытов в отличие от исследований процесса разрушения зерновок под воздействием динамических нагрузок.

В литературных источниках имеется информация об исследованиях усилий разрушения зерновок при статическом и динамическом сжатии [7-10], разрушения резанием [11], скалыванием [12, 13], ударных и вибрационных воздействиях [14-15]. Вместе с тем вариативность физико-механических свойств зерновых материалов и их индивидуальность для каждой партии зерна сохраняют актуальность исследований направленных на установление прочностных свойств зерна и семян сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы. Исследования процесса деформации и разрушения зерновок сельскохозяйственных культур путем статического сжатия проводились с использованием разработанного специального прибора, схема которого представлена на рисунке 1.

Результаты исследований обрабатывались статистическими методами и подвергались графическому анализу.

Прибор для определения параметров деформации зерна содержит динамометр сжатия механический ДОСМ-3-0.05 1 с противоскользящей пластиной 2, нажимной диск 3, верхнюю пластину 4, винт 5, центрирующий шарик 6, рукоятку 7, диск 8 со шкалой 9 и указателем 10, нижнюю пластину 11, стяжные шпильки 12, основание 13, индикатор 14, силовой упругий элемент 15, корпус динамометра 16.

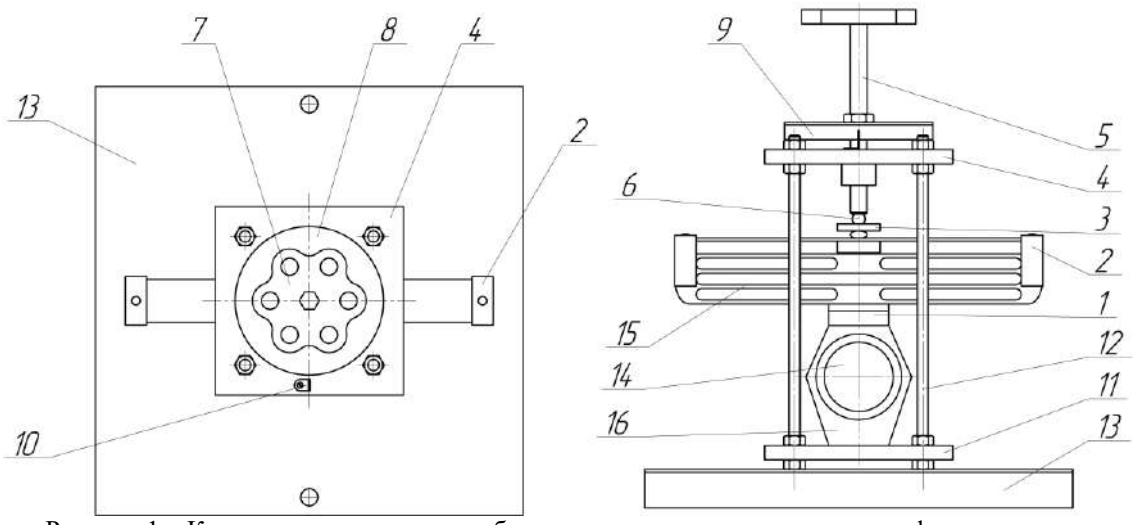


Рисунок 1 – Конструктивная схема прибора для определения параметров деформации зерна

Принцип работы прибора основан на определении усилия по величине деформации силового упругого элемента 15 специальной формы. У динамометра ДОСМ-3-0.05, представленного на рисунке 1, упругий элемент 15 воспринимает нагрузку, создаваемую винтом 5, через нажимной диск 3 и шарик 6. Упругий элемент 15 деформируется и передает величину прогиба на индикатор 14, закрепленный в корпусе 16 динамометра.

При разработке прибора обеспечены условия стабильности и точности замеров: опорные поверхности, между которыми устанавливают динамометр, перпендикулярны к его силовой оси и параллельны между собой; выполнены контрольные риски, по которым устанавливается динамометр.

Общий вид прибора представлен на рисунке 2.

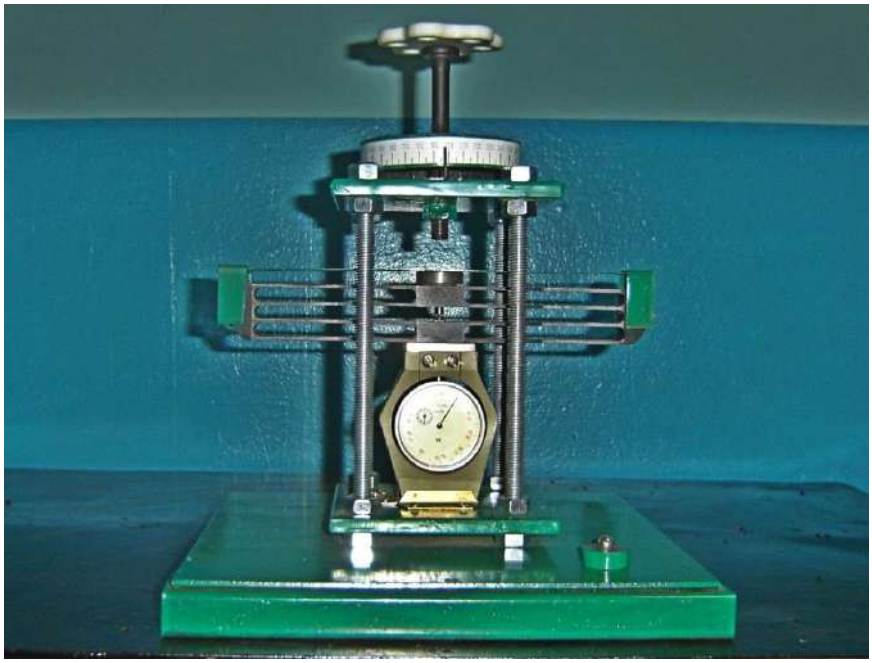


Рисунок 2 – Общий вид прибора для определения параметров деформации зерна

Перед началом проведения эксперимента прибор необходимо протарировать с помощью разработанного нами приспособления (рисунок 3), состоящего из стойки 1, закрепленной на столе 2 болтами 3, винта 4 с гайкой 5, соединительного звена 6, электронных весов WeiHeng WH-A08 7, планки 8, нижней пластины 9, верхней пластины 10, шпилек 11, индикатора 12.

Для проведения тарировки с прибора демонтируется винт 5 (рисунок 1) диск 8, рукоятка 7, указатель 10, шарик 6, нажимной диск 3, противоскользящая пластина 2, основание 13. На нижнюю пластину 11 устанавливается планка 8 для крепления электронных весов 7.

Тарировку осуществляют следующим образом. Подготовленный прибор устанавливают на стойку 1, (рисунок 3) закрепленную на столе 2. На планке 8 закрепляют электронные весы 7, через соединительное звено 6 крепится винт 4 с гайкой 5. При вращении гайки 5 винт 4 смещается вниз, создавая нагрузку на динамометре сжатия через электронные весы 7, нижнюю 9 и верхнюю 10 пластины и стяжные шпильки 11. При этом показания индикатора и электронных весов 7 фиксируют в таблице.

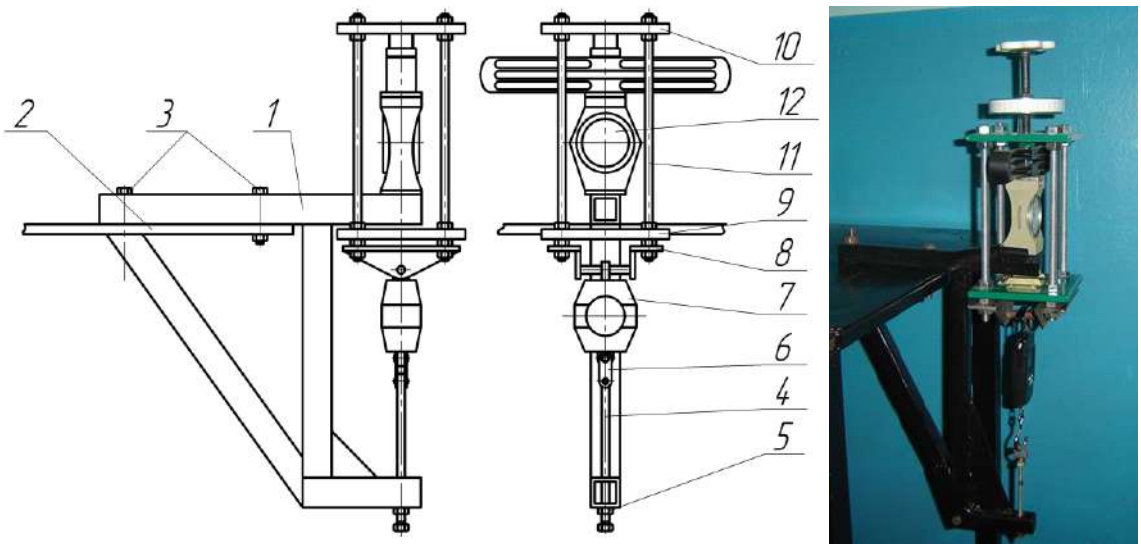


Рисунок 3 – Приспособление для калибровки прибора

Замеры повторяют согласно принятым интервалам варьирования нагрузки, а по полученным данным строят тарировочный график, рисунок 4.

Экспериментальные исследования прочностных свойств зерновок проводят в следующем порядке. Из партии исследуемого материала с известными физико-механическими свойствами отбирают несколько зерен, проводят измерения геометрических размеров. Далее зерно укладывают на противоскользящую пластину 2 (рисунок 1), сверху устанавливают нажимной диск 3 с шариком 6. Вращением рукоятки 7 опускают винт 5 до соприкосновения с зерном. С помощью шкалы 9 на диске 8 и указателя 10 фиксируют начальный угол поворота винта 5. Далее вращением рукоятки 7 через выбранные угловые интервалы создают нагрузку на зерновку, фиксируя смещение стрелки индикатора 14 динамометра. При этом необходимо учитывать упругую деформацию зерновки, проявляющуюся в отклонении стрелки индикатора в обратную сторону после приложения необходимой нагрузки. Нагрузку увеличивают до разрушения зерновки.

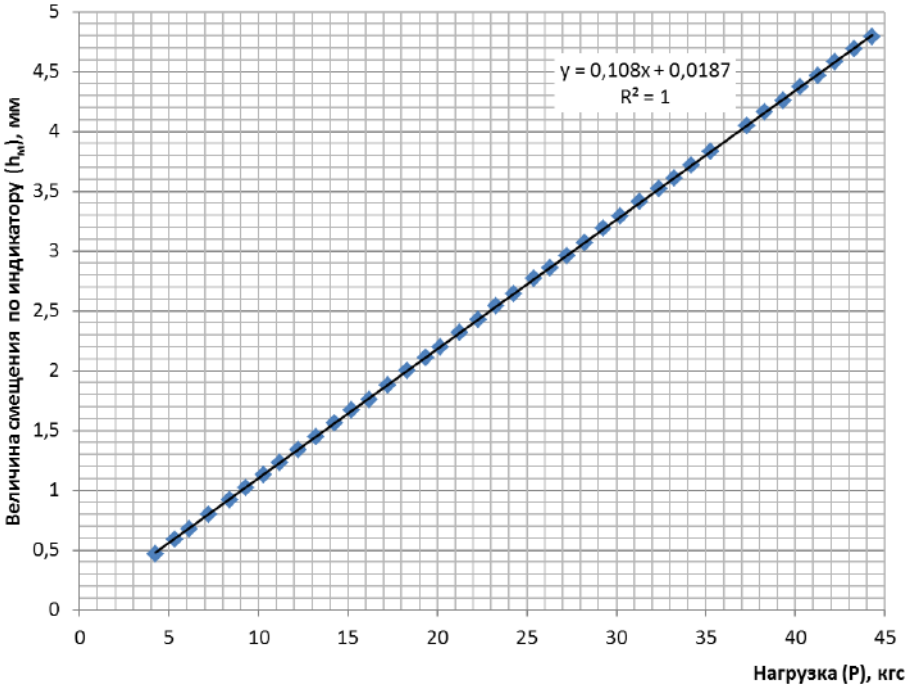


Рисунок 4 – Зависимость величины деформации упругого элемента динамометра от нагрузки

Результаты и их обсуждение.

Для исследований из партии зерна были отобраны две зерновки пшеницы, имеющие следующие линейные размеры: длина - 6,3 и 6,7 мм, ширина – 4,4 и 3,3 мм, толщина – 4,3 и 3,1 мм. Опыты проводили при ориентации одной из зерновок бороздкой вверх, другой – бороздкой вниз. Полученные результаты для первого случая представлены в таблице 1 и на рисунке 5.

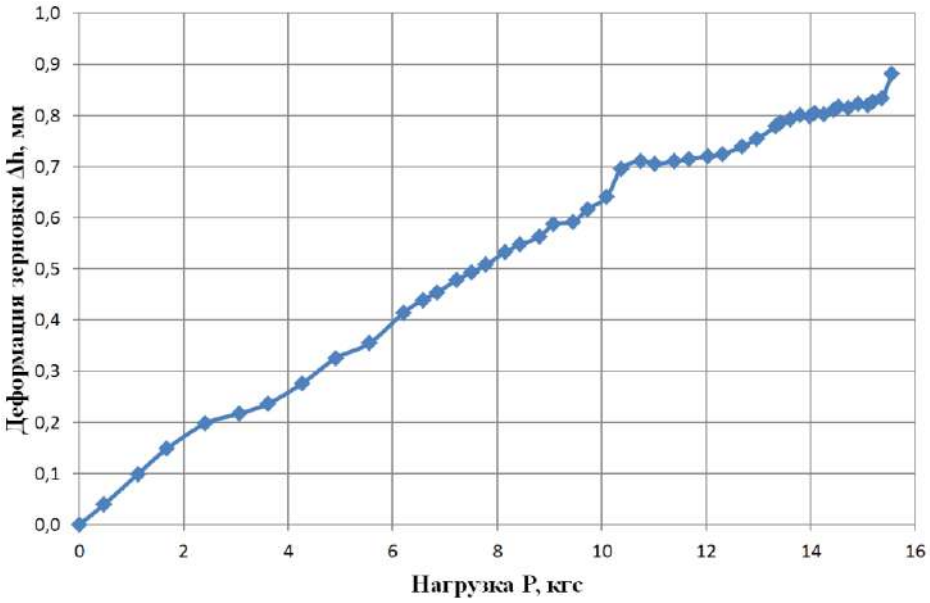


Рисунок 5 – Деформация зерновки пшеницы при ориентации бороздкой вверх

В результате исследований процесса деформации зерновки при ее ориентации бороздкой вверх установлено, что при нагрузке в диапазоне от 0 до 1,68 кгс взаимосвязь деформации с прилагаемой нагрузкой имеет линейный характер. При этом происходит появление микротрещин в зерновке и ее уплотнение. При нагрузке на зерновку Р = 2,42 – 3,62 кгс приращение величины деформации заметно снижается, что вызвано достижением предела прочности и разрывом оболочки частицы. При увеличении нагрузки от 3,62 до 10,1 кгс взаимосвязь $\Delta h = f(P)$ вновь становится линейной, что свидетельствует о равномерном спрессовывании зерновки от сжатия. При нагрузке 10,37 кгс произошло скачкообразное увеличение деформации зерновки, что связано с разрушением внутренних связей вдоль бороздки, после чего наблюдается отсутствие приращения деформации при увеличении нагрузки до 11,67 кгс. При дальнейшем увеличении нагрузки Р = 12,04 – 15,18 кгс вновь наблюдается увеличение деформации зерновки с уплотнением. При нагрузке 15,55 кгс выявлено скачкообразное повышение деформации с последующим разрушением зерновки.

Таблица 1 – Параметры деформации зерновки пшеницы при ориентации бороздкой вверх

№ п/п	Угол поворота винта, °	Показания индикатора, мм	Смещение винта, мм	Нагрузка, кг	Деформация зерна, мм	№ п/п	Угол поворота винта, °	Показания индикатора, мм	Смещение винта, мм	Нагрузка, кг	Деформация зерна, мм
1	0	0	0,00	0	0,00	25	340	0,47	1,181	10,742	0,71
2	20	0,03	0,069	0,475	0,04	26	350	0,51	1,215	11,020	0,71
3	40	0,04	0,139	1,122	0,10	27	360	0,54	1,250	11,390	0,71
4	60	0,06	0,208	1,677	0,15	28	370	0,57	1,285	11,667	0,71
5	80	0,08	0,278	2,417	0,20	29	380	0,60	1,319	12,037	0,72
6	100	0,13	0,347	3,065	0,22	30	390	0,63	1,354	12,315	0,72
7	120	0,18	0,417	3,620	0,24	31	400	0,65	1,389	12,685	0,74
8	140	0,21	0,486	4,267	0,28	32	410	0,67	1,424	12,962	0,75
9	160	0,23	0,556	4,915	0,33	33	420	0,68	1,458	13,332	0,78
10	180	0,27	0,625	5,562	0,36	34	425	0,69	1,476	13,425	0,79
11	200	0,28	0,694	6,210	0,41	35	430	0,70	1,493	13,610	0,79
12	210	0,29	0,729	6,580	0,44	36	435	0,71	1,510	13,795	0,80
13	220	0,31	0,764	6,857	0,45	37	440	0,73	1,528	13,980	0,80
14	230	0,32	0,799	7,227	0,48	38	445	0,74	1,545	14,072	0,81
15	240	0,34	0,833	7,505	0,49	39	450	0,76	1,563	14,257	0,80
16	250	0,36	0,868	7,782	0,51	40	455	0,77	1,580	14,442	0,81
17	260	0,37	0,903	8,152	0,53	41	460	0,78	1,597	14,535	0,82
18	270	0,39	0,938	8,430	0,55	42	465	0,80	1,615	14,720	0,81
19	280	0,41	0,972	8,800	0,56	43	470	0,81	1,632	14,905	0,82
20	290	0,42	1,007	9,077	0,59	44	475	0,83	1,649	15,090	0,82
21	300	0,45	1,042	9,447	0,59	45	480	0,84	1,667	15,182	0,83
22	310	0,46	1,076	9,725	0,62	46	485	0,85	1,684	15,367	0,83
23	320	0,47	1,111	10,095	0,64	47	490	0,82	1,701	15,552	0,88
24	330	0,45	1,146	10,372	0,70						

При ориентации зерновки бороздкой вниз характер деформации зерновки от величины нагрузки несколько отличается, рисунок 6.

На начальном участке нагружения (до 1,67 кгс) деформация зерновки незначительна. При увеличении нагрузки с 2,33 до 3,62 кгс приращение деформации составило 0,08 мм. В диапазоне нагрузки 4,27 – 17,03 кгс наблюдается стабильное увеличение деформации зерновки с некоторым снижением ее приращения при нагрузке 7,69 – 10,56 кгс. При Р = 17,31 кгс произошло скачкообразное увеличение деформации, что на 6,94 кгс больше, чем для аналогичной характерной точки при исследовании зерновки, ориентированной бороздкой вверх. После этого динамика деформации существенно возросла, и разрушение зерновки произошло при усилии Р = 19,25 кгс, что только на 3,51 кгс превышает аналогичное значение для зерновки, ориентированной бороздкой вверх.

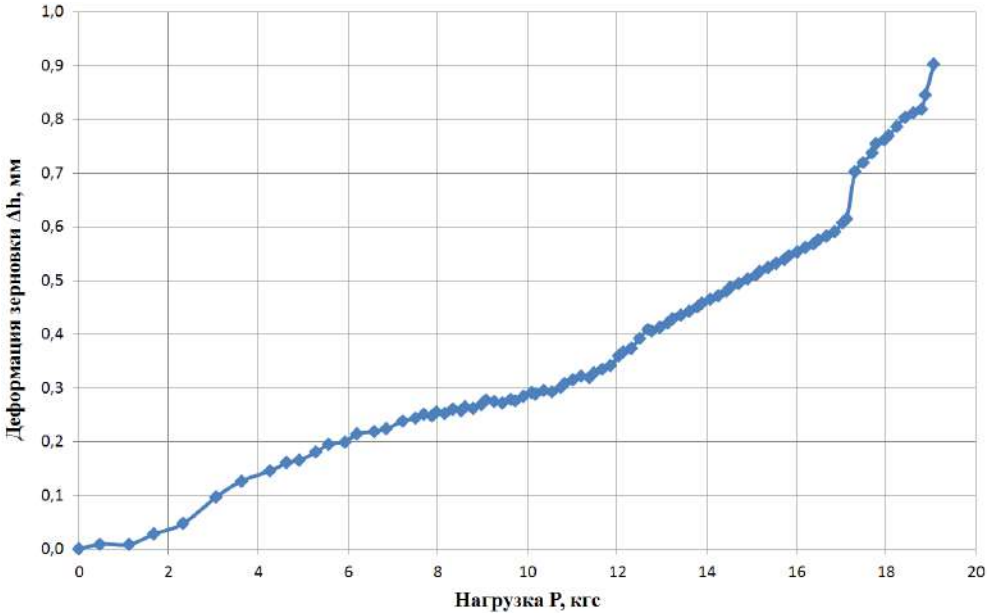


Рисунок 6 – Деформация зерновки пшеницы при ориентации бороздкой вниз

Заключение. Разработанный прибор для исследований процесса деформации и разрушения зерновок при статическом сжатии позволяет установить прочностные свойства различных зерновых материалов, которые необходимо учитывать при оценке эффективности технологических процессов в мукомольном и комбикормовом секторах промышленности, животноводстве, в сфере общественного питания, а также при эксплуатации зерноочистительных технологий при подработке зерна и подготовке семенного материала.

Список источников

1. Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В., Халиуллин Д.Т., Маланичев И.В. Моделирование разрушения оболочки зерна крупяных культур и семян подсолнечника / В сборнике: Циркулярная экономика в сельском хозяйстве: международный опыт для республики Татарстан. – Казань, Казанский ГАУ, 2022. – С. 217-227.

2. Забудский А.И., Данникер А.А., Зимин А.К. Математическая модель разрушения зерна ячменя при его механической обработке / В сборнике: Единство и идентичность науки: проблемы и пути решения. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. Тюмень. – 2018. – С. 43-46.

3. Курилович Н.Н., Харкевич В.Г. Энергетический критерий для оценки разрушения зерна // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2015. – № 1 (18). – С. 70-75.

4. Солнцев Р.В. Моделирование процесса разрушения зерна с использованием ЭВМ // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 12. – С. 38-39.

5. Сухарев А.В., Скрябин В.А., Максимчук Б.М. Теоретические предпосылки предварительного разрушения зерна // Труды ВНИИЗ. – 1982. – № 99. – С. 47-51.

6. Воробьев, Н. А., Стрельченко В. С. Влияние физико-механических свойств зерна на величину разрушающих его сил / Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: Сборник статей IV Международной научно-практической конференции, Минск: БГАТУ, 2019. – С. 188-190.

7. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – Ленинград: Колос, 1978. – 560 с.

8. Воробьев Н. А., Дрозд С. А. Экспериментальное исследование разрушения зерна при статическом сжатии / Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой

комплексной переработки сельскохозяйственного сырья [Электронный ресурс] : материалы I Всерос. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Ю. В. Родионова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». – 2019. – с.45-50

9. Воробьев Н.А., Дрозд С.А., Ванькович Л.Г., Паромчик Т.В. К вопросу об исследовании разрушения зерна при динамическом и статическом сжатии / Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей II Междунар. науч.-практ. конф., Минск: БГАТУ, 2015. - С. 153-156.

10. Дрозд, С. А., Воробьев Н. А. Экспериментальные исследования разрушения зерна при динамическом воздействии / Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 2. - Минск : БГАТУ, 2019. - С. 141-143.

11. Острецов В.Н., Сухляев В.А. Исследование энергосберегающего метода разрушения зерна // Молочнохозяйственный вестник. – 2013. – № 1 (9). – С. 29-36.

12. Солнцев Р.В. Определение энергозатрат процесса разрушения зерна скалыванием // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (24). – С. 39-42.

13. Гуцуляк А.В. Устройство для определения силы разрушения зерна кукурузы / В сборнике: Молодёжь XXI века: шаг в будущее. Материалы XVIII региональной научно-практической конференции. – 2017. – С. 611-612.

14. Фёдоров Д.Г., Дмитриев А.В., Денисов Е.С. Определение средней силы удара для разрушения структурных элементов зерна гречихи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (148). – С. 151-155.

15. Федоренко И.Я., Левин А.М., Табаев А.В. Механизм разрушения фуражного зерна вибрационными рабочими органами / В сборнике: Аграрная наука - сельскому хозяйству. Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции в 2 кн. – Барнаул. – 2020. – С. 84-86.

References

1. Nurullin E.G., Dmitriev A.V., Khaliullin D.T., Malanichev I.V. Modeling the destruction of the grain shell of cereal crops and sunflower seeds / In the collection: Circular economy in agriculture: international experience for the Republic of Tatarstan. - Kazan, Kazan State Agrarian University, 2022. - S. 217-227.

2. Zabudsky A.I., Danniker A.A., Zimin A.K. Mathematical model of the destruction of barley grain during its mechanical processing / In the collection: Unity and identity of science: problems and solutions. Collection of articles following the results of the International Scientific and Practical Conference. Tyumen. - 2018. - S. 43-46.

3. Kurilovich N.N., Kharkevich V.G. Energy criterion for assessing the destruction of grain // Bulletin of the Mogilev State University of Provisions. - 2015. - No. 1 (18). - S. 70-75.

4. Solntsev R.V. Simulation of grain destruction process using computers // Tractors and agricultural machines. - 2009. - No. 12. - S. 38-39.

5. Sukharev A.V., Skryabin V.A., Maksimchuk B.M. Theoretical prerequisites for the preliminary destruction of grain // Proceedings of VNIIZ. - 1982. - No. 99. - P. 47-51.

6. Vorobyov, N. A., Strelchenko V. S. Influence of physical and mechanical properties of grain on the magnitude of its destructive forces / Processing and quality management of agricultural products: Collection of articles of the IV International scientific and practical conference, Minsk: BGATU, 2019. - C 188-190.

7. Melnikov, S. V. Mechanization and automation of livestock farms. - Leningrad: Kolos, 1978. - 560 p.

8. Vorobyov N. A., Drozd S. A. Experimental study of grain destruction under static compression / Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials [Electronic resource]: materials of I All-Russian. conf. with international participation / under total. ed. Yu. V. Rodionova; FGBOU VO "TSTU". - Tambov: Publishing Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "TSTU". – 2019. – p.45-50

9. Vorobyov N.A., Drozd S.A., Vankovich L.G., Paromchik T.V. To the question of the study of grain destruction under dynamic and static compression / Processing and quality management of

agricultural products: collection of articles II Intern. scientific-practical. Conf., Minsk: BGATU, 2015. - S. 153-156.

10. Drozd, S. A., Vorobyov N. A. Experimental studies of grain destruction under dynamic impact / Technical and staffing of innovative technologies in agriculture: materials of the International scientific and practical conference: in 2 hours. Part 2. - Minsk: BGATU, 2019. - S. 141-143.

11. Ostretsov V.N., Sukhlyaev V.A. Investigation of the energy-saving method of grain destruction // Dairy Bulletin. - 2013. - No. 1 (9). - S. 29-36.

12. Solntsev R.V. Determining the energy consumption of the grain destruction process by shearing // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2010. - No. 1 (24). – S. 39-42.

13. Gutsulyak A.V. A device for determining the force of destruction of corn grain / In the collection: Youth of the XXI century: a step into the future. Materials of the XVIII regional scientific-practical conference. - 2017. - S. 611-612.

14. Fedorov D.G., Dmitriev A.V., Denisov E.S. Determination of the average impact force for the destruction of the structural elements of buckwheat grain // Bulletin of the Altai State Agrarian University. - 2017. - No. 2 (148). - S. 151-155.

15. Fedorenko I.Ya., Levin A.M., Tabaev A.V. The mechanism of the destruction of feed grain by vibrating working bodies / In the collection: Agrarian science - agriculture. Collection of materials of the XV International Scientific and Practical Conference in 2 books. - Barnaul. - 2020. - S. 84-86.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор; А.В. Анашкин - доктор технических наук; С.В. Емельянович – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N.P. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A.V. Anashkin - Doctor of Technical Sciences; S.V. Emelyanovich – junior researcher.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 17.12.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.313.12: 621.635
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-23-33

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ НАГРЕВА ГЕНЕРАТОРА Г1000В ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ПРИМЕНЕНИИ

***Александр Иванович Петрашев*[1], *Виктор Валерьевич Клепиков*[2]**
[1, 2] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, [2]viktrikt@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Петрашев, vitin-10.pet@mail.ru
Corresponding author: Alexander Petrashev, vitin-10.pet@mail.ru

Реферат. *Тракторный отечественный генератор Г1000В выбран в качестве мобильного источника энергии для нагрева вязких защитных материалов при консервации сельскохозяйственных машин. Привод генератора от ВОМ трактора с реверсивным вращением вала влево отрицательно влияет на вентиляцию и охлаждение его корпуса, приводит к снижению мощности. Исследования теплового режима работы генератора под нагрузкой 620 Вт показали, что при нормальном (правом) вращении колеса вентилятора корпус генератора нагревается на 10 ^{o}С. При реверсивном (левом) вращения колеса корпус нагревается до 60 ^{o}С, а мощность снижается на 4 %. При реверсивном применении эффективность охлаждения генератора радиальными лопатками практически не отличается от охлаждения лопатками с наклоном вперед. Для улучшения охлаждения корпуса генератора Г1000В при реверсивном применении выполнены изменения конфигурации и параметров колеса с радиальными лопатками. Обрезка ребер колеса на 1/3 высоты и выступов на периферии фланца со сгибом лопаток на 20° влево позволили снизить температуру нагрева генератора на 13 ^{o}С. Загиб назад концов радиальных лопаток под углом 40-45° к радиусу колеса способствовал уменьшению температуры корпуса генератора на 18 ^{o}С. В результате проведенных исследований получены параметры рациональной конфигурации колеса вентилятора для генератора Г1000В. Применение такого колеса обеспечило снижение в 2,8 раза тепловой нагрузки на генератор при реверсивном применении на навесном консервационном агрегате.*

Ключевые слова: *тракторный генератор, температурный режим, реверсивное применение, встроенный вентилятор.*

REDUCING OF THE HEATING LEVEL FOR THE G1000V GENERATOR IN REVERSE APPLICATION

***Alexander Petrashev* [1], *Viktor Klepikov* [2]**
[1, 2] *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, [2]viktrikt@mail.ru

Abstract. *Tractor domestic generator G1000V was chosen as a mobile power source for heating viscous protective materials during conservation of agricultural machines. Generator drive from tractor PTO with the reverse rotation of the shaft to the left negatively affects the ventilation and cooling of its body, and leads to a decrease in power. Studies of the thermal mode of operation of the generator under a load of 620 W showed that during normal (right) rotation of the fan wheel, the generator housing heats up by 10 °C. The wheel casing heats up to 60 °C during reverse (left) rotation, and the power is reduced by 4%. P The cooling efficiency of the generator with radial blades is practically the same as cooling with forward inclined blades in reverse application. Changes in the configuration and parameters of the impeller with radial blades are made in reverse application to improve the cooling of the G1000V*

generator housing. Cutting the wheel ribs by 1/3 of the height and the protrusions on the periphery of the flange with the blades bent by 20° to the left made it possible to reduce the generator heating temperature by 13°C. The backward bending of the ends of the radial blades at an angle of 40-45° to the radius of the wheel contributed to a decrease in the temperature of the generator housing by 18°C. The parameters of the rational configuration of the fan wheel for the G1000V generator were obtained as a result of the research. The use of such a wheel provided a 2.8-fold reduction in the thermal load on the generator during reverse use on a mounted conservation unit.

Keywords: *tractor generator, temperature regime, reverse application, built-in fan.*

Для цитирования: Петрашев А.И., Клепиков В.В. Снижение уровня нагрева генератора Г1000В при реверсивном применении // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 23-33. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-23-33.

For citation: Petrashev A., Klepikov V. Reducing of the Heating Level for the G1000V generator in reverse application. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 23-33. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-23-33.

Введение. При постановке сельскохозяйственных машин и орудий на хранение их рабочие узлы покрывают консервационными составами для защиты от коррозии [1]. Механизированное нанесение жидкого консервационного состава посредством пневматического краскораспылителя невозможно без применения компрессорной установки для производства сжатого воздуха, напорного бака с регуляторами давления, кранами и шлангами для подачи состава и воздуха на распыление [2]. В случае нанесения загущенного состава, особенно, в условиях пониженной до 5 ^{o}C температуры воздуха, напорный бак должен быть оснащен ТЭН (220 В), а шланг для подачи состава – электрической спиралью [3]. Система управления нагревом ТЭН и спирали должна иметь пульт с автоматическими выключателями, сигнальными индикаторами, термометром и понижающим трансформатором для питания электроспирали. В такой комплектации консервационное оборудование можно использовать для нагрева и нанесения загущенного состава только при подключении к распределительным устройствам электросети 380/220 В [4] или к трехфазному бензогенератору мощностью не менее 4 кВт (на открытых площадках хранения). Для оперативного перемещения компрессорной установки, бензогенератора и консервационного оборудования к консервируемой технике потребуется привлечение трактора с тележкой. Подобная комплектация технических средств, необходимая для механизации консервационных работ на площадках хранения, представляется нерациональной и неудобной в обслуживании.

На площадках хранения более эффективным является применение навесного консервационного агрегата модели НКУ-50.3Н, оснащенного компрессором, обогреваемым напорным баком, обогреваемым шлангом с электроспиралью, генератором Г1000В (28-30 В, 1000 Вт) и валом приема мощности (ВПМ) для ременного привода компрессора и генератора. Электрическая энергия от генератора направляется на нагрев загущенного состава в напорном баке и в шланге при подаче на распыление [5].

Для работы агрегат навешивается на заднюю навеску колесного трактора, а его ВПМ посредством телескопического карданного вала соединяется с ВОМ трактора. Так как направление вращения ВОМ левое (со стороны мотора), то для агрегата выбран компрессор с левым вращением вала. Чтобы не усложнять кинематику привода и компоновку оборудования, генератор Г1000В предлагается установить идентично компрессору, при этом его ротор с колесом вентилятора будут вращаться тоже влево. В инструкции по эксплуатации [6] отсутствует запрет на использование генератора при левом вращении ротора. Однако, при левом вращение колеса вентилятора ожидается ухудшение охлаждения корпуса генератора и повышение его температуры. Перегрев генератора может отрицательно повлиять на его токоскоростную характеристику. Допустимые рабочие температуры эксплуатации генератора находятся в диапазоне от минус 40 до плюс 80 ^{o}C. Согласно сведениям из инструкции [6], в холодном состоянии генератор Г1000В при частоте вращения 3000 об/мин и напряжении 26,5 В должен обеспечивать ток нагрузки 32 А. В горячем состоянии при тех же показателях частоты вращения и напряжения генератор может обеспечивать ток нагрузки 24 А (на 6 А меньше). Эти расчеты подтверждают реальность снижения

мощности генератора на 18,7 % при его нагреве. Длительная работа силового электрооборудования в нагретом состоянии отрицательно влияет на качество изоляции обмоток и их ресурс.

Обмотки генератора выполнены из медного провода, удельное электрическое сопротивление которого $\rho_о$ = 0, 0175 Ом·м/мм^2 при 20 ^{o}C [7]. В процессе нагрева генератора сопротивление медной обмотки возрастает, ее температурный коэффициент сопротивления α = 0,0039 1/^{o}C. Из-за нагрева температура обмотки может увеличиться на ΔT, а удельное электрическое сопротивление возрастет до величины:

$$\rho_т = \rho_о(1 + \alpha \cdot \Delta T).$$

Потери мощности $\Delta P_о$ (Вт) генератора в проводах обмотки при температуре 20 ^{o}C:

$$\Delta P_о = \frac{U^2 S_п}{\rho_о L_п},$$

где $L_п$, $S_п$ – приведенные параметры длины (м) и площади сечения (мм^2) обмотки генератора, U – напряжение на клеммах генератора, В.

Потери мощности $\Delta P_т$ генератора в нагревающейся обмотке при увеличении ее температуры на ΔT:

$$\Delta P_т = \frac{U^2 S_п}{\rho_о(1 + \alpha \cdot \Delta T) L_п}.$$

Дополнительный прирост потерь мощности (%) на нагрев обмотки генератора при увеличении ее температуры на ΔT составит:

$$\frac{\Delta P_т - \Delta P_о}{\Delta P_о} \cdot 100\% = \alpha \cdot \Delta T \cdot 100\%.$$

Расчеты показывают, что при нагреве медной обмотки генератора от 20 до 70 ^{o}C (это допустимый температурный диапазон эксплуатации генератора) затраты мощности на преодоление возросшего электрического сопротивления увеличатся на 19,5 %. Затраченная энергия выделится из обмотки в виде теплоты, которая дополнительно повысит температуру генератора, если не будет эффективного охлаждения его корпуса.

Для того, чтобы силовая электрическая машина работала в номинальном тепловом режиме, применяют системы охлаждения, на работу которых тоже расходуют электроэнергию. Например, на современных электровозах расход электроэнергии на охлаждение тяговых двигателей составляет до 15 % от расхода энергии на тягу [8].

В зависимости от исполнения электрической машины поток охлаждающего воздуха может быть направлен либо на внешнюю поверхность машины (внешний обдув асинхронных электродвигателей), либо в вентиляционные каналы внутрь машины (внутреннее охлаждение автотракторных генераторов) к обмоткам, магнитопроводу и другим нагревающимся деталям [9, 10]. В асинхронном электродвигателе применена напорная система вентиляции [11]. Для создания напора охлаждающего воздуха, которым обдувается оребренный корпус статора, служит центробежный вентилятор, закрепленный на валу ротора. Радиальное исполнение лопаток вентилятора позволяет одинаково эффективно обдувать электродвигатель независимо от направления вращения ротора. В автотракторном генераторе применена вытяжная система вентиляции. В генератор встроен центробежный вентилятор, создающий разрежение у переднего (со стороны привода) подшипникового щита. Внешний воздух под действием разрежения протягивается через выпрямительный блок с регулятором напряжения, вентиляционные каналы статора и ротора, охлаждая обмотку и магнитопровод.

Встроенный вентилятор связан с ротором генератора, что накладывает определенные ограничения на его исполнение [11]:

- частота вращения колеса вентилятора зависит от частоты вращения ротора;
- параметры колеса вентилятора ограничены размерами генератора и местом его крепления на роторе генератора;
- протяжка охлаждающего воздуха через каналы генератора зависит от исполнения лопаток на колесе вентилятора.

Для реверсивной работы генератора рекомендуется [11] применение центробежного вентилятора с радиальными лопатками. Расчет вентилятора для генератора представляет собой решение системы двух уравнений, учитывающих аэродинамическую характеристику охлаждающих каналов генератора и аэродинамику вентилятора:

$$\begin{cases} H = A_{эк.}Q^2, \\ H = f(Q). \end{cases}$$

где H – давление (напор) воздушного потока; $A_{эк.}$ – аэродинамическое сопротивление охлаждающих каналов генератора; Q – расход воздуха.

Ограниченность данного подхода к расчету вентилятора для вытяжных систем вентиляции электромашин заключается в том, что в расчете учитывается напор вентилятора, а не разрежение, создаваемое им. Уместно полагать, что между напором и разрежением центробежного вентилятора существует определенная связь, но степень их корреляции авторами [11] не показана. Поэтому влияние параметров и конфигураций лопаток колеса вентилятора на температурный режим реверсивно работающего генератора приходится оценивать экспериментально.

Для охлаждения электродвигателей и генераторов применяют [11, 12] встроенные центробежные вентиляторы, содержащие колеса с лопатками различной конфигурации (рисунок 1). На высокооборотных нереверсивных электромашинах применяют лопатки с наклоном назад, на низкооборотных – лопатки с наклоном вперед, на реверсивных – радиальные лопатки.

Рисунок 1 – Конфигурация и параметры лопаток на колесе вентилятора: D – наружный диаметр колеса; L – длина лопатки; β_1 – угол наклона на входе; β_2 – угол наклона на выходе

Виноградов П.И. [12, 13] экспериментально установил, что для электромашин с небольшим аэродинамическим сопротивлением подходят вентиляторы, имеющие радиальные лопатки (β_2 = 90°) и лопатки с наклоном назад (β_2 = 140°). Автор считает, что для увеличения расхода охлаждающего воздуха применимы вентиляторы, оснащенные лопатками с наклоном вперед (β_2 = 40°), давление которых может в 2 раза превысить давление вентиляторов с радиальными лопатками.

Проведенный анализ позволяет полагать, что рациональное решение задачи охлаждения корпуса генератора Г1000В, устанавливаемого на консервационном агрегате НКУ-50Н, возможно путем замены (или реконструкции) имеющегося колеса вентилятора на колесо с иной конфигурацией лопаток, соответствующей левому вращению ротора. В связи с отсутствием в серийном производстве колес вентиляторов с лопатками для левого вращения ротора генератора, предлагается оценить эффективность изменения конфигурации лопаток колес правого вращения.

Цель исследования – оценка динамики изменения температурного режима корпуса генератора Г1000В под нагрузкой при изменении параметров конфигурации лопаток на колесе его вентилятора.

Материалы и методы. В генераторе Г1000В вентилятор выполнен в виде колеса, содержащего 11 лопаток с наклоном назад. Это колесо взаимозаменяемо с колесом, имеющим 10 радиальных лопаток. На рисунке 2 показаны генератор Г1000В и оба колеса, вид колес со стороны заднего подшипникового щита генератора. Стрелкой указывается нормальное направление вращения колес (со стороны заднего подшипникового щита) при работе генератора в составе дизельного двигателя.

Рисунок 2 – Исполнение колес вентилятора для генератора Г1000В

Для экспериментального исследования режимов охлаждения корпуса генератора при работе под нагрузкой изготовлен испытательный стенд, схема которого показана на рисунке 3.

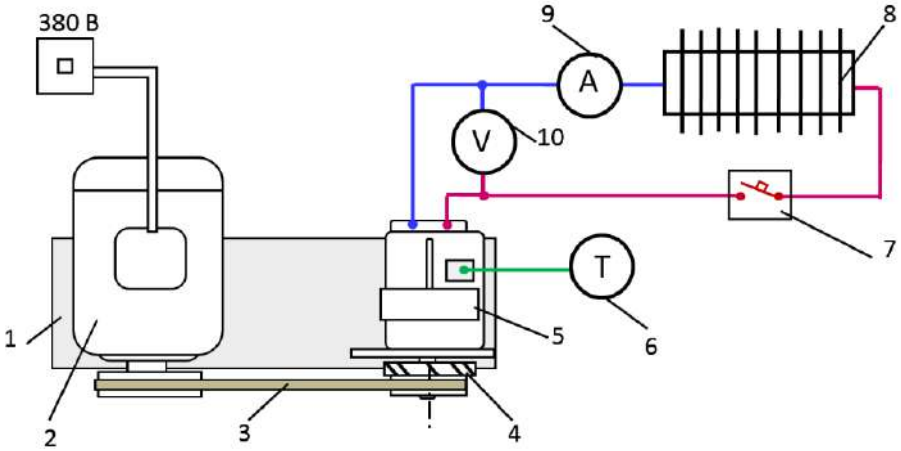


Рисунок 3 – Схема стенда для исследования режимов охлаждения корпуса генератора Г1000В:
1 – платформа; 2 – электродвигатель; 3 – ременная передача; 4 – колесо вентилятора;
5 – генератор; 6 – термометр электронный; 7 – выключатель; 8 – нагрузочное сопротивление;
9 – амперметр; 10 – мультиметр

Стенд состоит из платформы 1, на которой размещены электродвигатель 2 и генератор 5, соединенные клиноременной передачей 3. На корпусе генератора закреплен и внешне теплоизолирован датчик электронного термометра 6. К выводным контактам генератора подключена электрическая цепь с выключателем 7 и нагрузочным сопротивлением 8 на 20 Ом из нихромовой проволоки. В электрическую цепь также включены лабораторный аналоговый амперметр 10 для измерения силы тока и мультиметр 10 для измерения напряжения. Для измерения частоты вращения валов электродвигателя и генератора использовали механический тахометр часового типа.

В процессе исследования изменяли направление вращения валов электродвигателя и генератора путем переключения обмоток электродвигателя; механически изменяли конфигурацию радиальных лопаток на колесе вентилятора; меняли колеса 4 вентилятора на валу генератора. При включении стенда регистрировали показания температуры по термометру 6, силы тока – по амперметру 9, напряжения – по мультиметру 10, частоты вращения валов – по тахометру.

Мощность $P_н$ (Вт), затрачиваемую на нагрев нагрузочного сопротивления, рассчитывали по формуле:

$$P_н = I_н U_н,$$

где $I_н$ – ток нагрузки, А; $U_н$ – напряжение на клеммах генератора, В.

Результаты и их обсуждение

В процессе исследования привод генератора осуществлялся от электродвигателя АИР 80, номинальная мощность которого $P_{эл}$ = 2,2 кВт, номинальное число оборотов вала $n_{эл}$ = 2850 об/мин. Фактическое число оборотов вала под нагрузкой 0,62 кВт составило $n_{эл.н}$ = 2980 об/мин. Благодаря повышающей ременной передаче число оборотов вала генератора под нагрузкой увеличилось до $n_г$ = 3750 об/мин. Этим оборотам вала по токоскоростной характеристике [6] соответствовал ток генератора $I_г$ = 32 А и мощность $P_г$ = 900 Вт (рисунок 4).

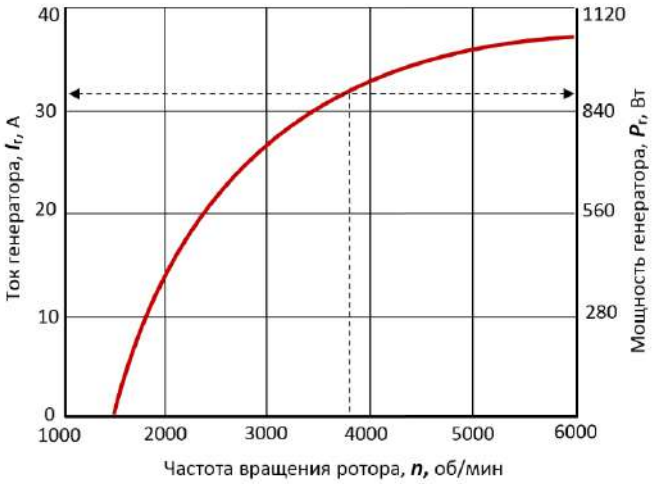


Рисунок 4 – Токоскоростная характеристика генератора Г1000В

Во время опытов регистрируемая сила тока, протекавшего через нагрузочное сопротивление, изменялась в диапазоне 20 А ≤ $I_н$ ≤ 21 А, а напряжение на клеммах генератора 29,6 В ≤ $U_н$ ≤ 30,2 В. Колебания тока и напряжения были обусловлены изменением теплового состояния корпуса генератора. На рисунке 5 отражены параметры нагрева корпуса генератора Г1000В при работе под нагрузкой в зависимости от времени работы, наклона лопаток на колесе вентилятора и направления вращения вала генератора.

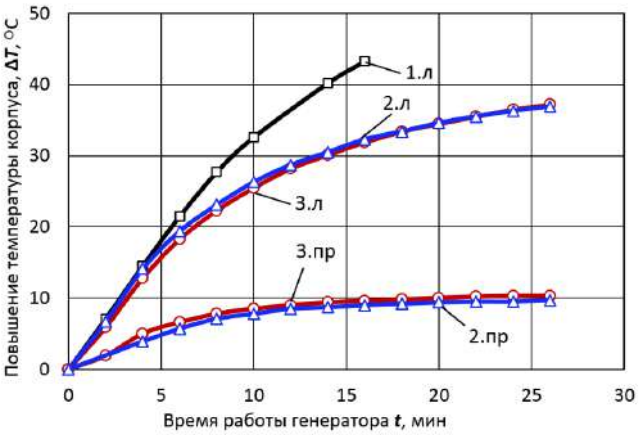


Рисунок 5 – Динамика повышения температуры корпуса генератора Г1000В в зависимости от исполнения вентилятора (1.л – без колеса вентилятора; 2.л – лопатки колеса наклонены вперед, 2.пр – лопатки колеса наклонены назад; 3.л, 3.пр – радиальные лопатки) и направления вращения колеса (2.л, 3.л – левое вращение; 2.пр, 3.пр – правое вращение)

Исследование показало, что при работе генератора без вентилятора в течение 15 мин (график 1.л), температура его корпуса повысилась от 22 до 65 °С (на 43 °С). В случае работы генератора с разными колесами вентилятора, на интенсивность нагрева корпуса практически не влияли углы β_2

наклона их лопаток. В большей мере интенсивность нагрева зависела от направления вращения колес. При правом (нормальном) вращении колес температура корпуса за 15 мин поднялась на 8-9 °С, а за 27 мин. вышла на стабильный температурный уровень, который в дальнейшем на 9-10 °С превышал температуру окружающего воздуха (графики 2.пр и 3.пр). Если правое направление вращения колес изменяли на левое (реверсивное), то степень охлаждения генератора существенно ухудшалась: по истечении 15 мин. работы температура корпуса повысилась на 31 °С, а через 27 мин. с начала опыта – на 37-38 °С (графики 2.л и 3.л) и сохранила тенденцию к росту.

Мощность, потребляемая нагрузочным сопротивлением, снижалась в процессе нагрева корпуса генератора. На рисунке 6 сгруппированы данные по потребляемой мощности для различных вариантов охлаждения корпуса генератора, и проведены линии тренда в каждой группе. Влияние температуры корпуса генератора на мощность, потребляемую нагрузочным сопротивлением, в общем виде описывалось степенной функцией:

$$P_{н} = aT^{-b},$$

где a – эмпирический коэффициент, $a > 600$; b – эмпирический показатель степени, $b < 0{,}07$.

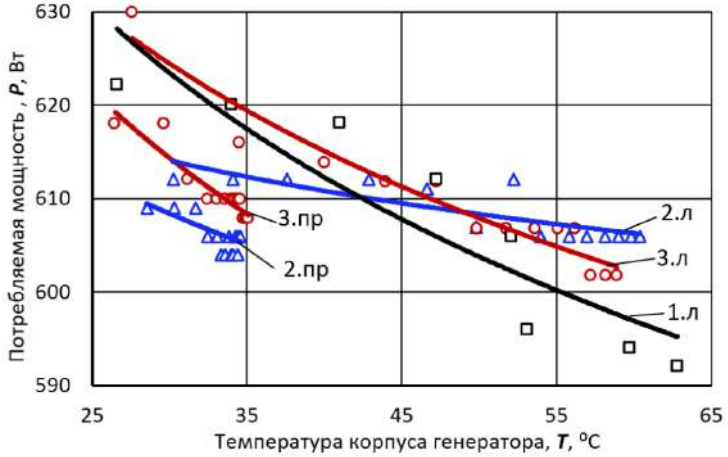


Рисунок 6 – Влияние температуры корпуса генератора на мощность, потребляемую нагрузочным сопротивлением, при работе генератора: без вентилятора (1.л); для левого вращения колеса, лопатки с наклоном вперед (2.л) и радиальные (3.л); для правого вращения колеса, лопатки с наклоном назад (2.пр) и радиальные (3.пр)

Установлено, что при работе генератора без вентилятора, его корпус за 15 мин. нагрелся до 65 °С, а величина потребляемой мощности снизилась на 5,5 %. При работе с нормальным правым вращением обоих колес вентилятора, корпус генератора в течение 27 мин. нагревался до 31-32 °С, а потребляемая мощность снижалась всего на 1,0-1,8 %. Если направление вращения вала с колесами меняли на левое, то корпус за 27 мин. нагревался до 59-60 °С, а мощность снижалась на 1,4-4 %. Полученные данные, отражающие способность вентилятора с радиальными лопатками охлаждать корпус генератора при реверсивном применении, несколько отличались от рекомендаций источников [12, 13]. Оказалось, что при реверсивном (левом) вращении колеса вентилятора, эффективность охлаждения радиальными лопатками практически не отличалась от охлаждения лопатками, вращающимися с наклоном вперед (см. рисунок 5).

Конструктивно, с тыльных сторон радиальных лопаток выполнены ребра, которые могли бы повлиять на отток воздуха из вентилятора при левом вращении колеса. По всей видимости, при вращении колеса вправо лопатки гонят воздух не только в радиальном направлении, но и в осевом, в сторону шкива привода генератора. Так как диаметр шкива равен $d_{ш}$ = 91 мм, а диаметр фланца колеса вентилятора до нижней кромки лопаток равен $d_{ф}$ = 89 мм, то шкив не перекрывает просвет между радиальными лопатками. Поэтому часть потока воздуха может беспрепятственно сходить с радиальных лопаток вдоль оси к шкиву, повышая производительность вентилятора по протяжке воздуха через вентиляционные каналы генератора.

В случае изменения направления вращения колеса вентилятора на левое, ребра находятся с

фронтальной стороны лопаток и препятствуют осевому перемещению воздуха в сторону шкива. Это, вероятно, приводило к снижению производительности вентилятора и отвода теплоты от генератора. Полагаем, что повысить эффективность охлаждения корпуса генератора при реверсивном вращении его вала возможно путем внесения конструкционных изменений в конфигурацию радиальных лопаток, их ребер и фланца на колесе вентилятора.

Результаты исследований по оценке влияния изменений, внесенных в конфигурацию колеса вентилятора с радиальными лопатками, на нагрев корпуса генератора показаны на рисунке 7.

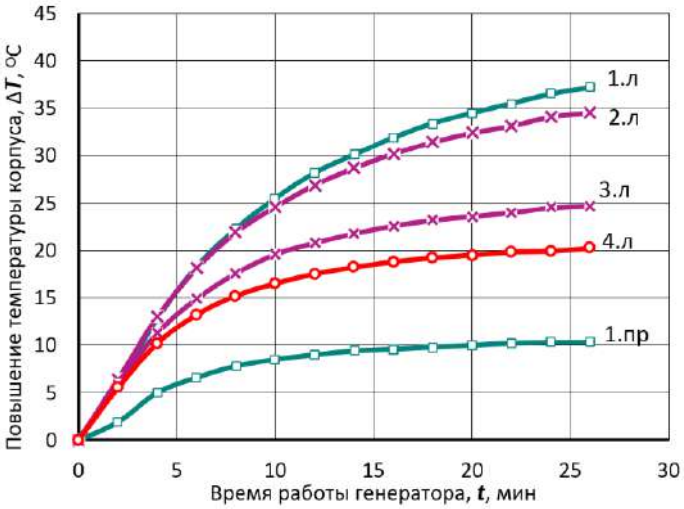


Рисунок 7 – Динамика повышения температуры корпуса генератора Г1000В в процессе изменения конфигурации радиальных лопаток и фланца на колесе вентилятора при правом (1.пр) и левом (1.л, 2.л, 3.л, 4 л) вращении вала; пояснения по внесенным изменениям – в тексте

В заводской конфигурации колеса вентилятора плоскости радиальных лопаток расположены вдоль оси вала. Процесс нагрева корпуса генератора при использовании колеса с лопатки заводской конфигурации характеризуется графиком 1.л – для левого вращения и графиком 1.п – для правого вращения вала. Остальные графики отражают степень влияния конструкционных изменений лопаток, ребер и фланца в заводском колесе вентилятора на нагрев работающего генератора при левом вращении его вала. График 2.л – тыльные ребра лопаток обрезаны по диагонали, плоскости лопаток наклонены влево на 12° к оси колеса. График 3.л – тыльные ребра лопаток обрезаны на 1/3 высоты, обрезаны выступы на периферии фланца, плоскости лопатки наклонены влево на 20°. График 4.л – тыльные ребра лопаток обрезаны на 1/3 высоты, срезаны выступы на периферии фланца, плоскости лопаток наклонены влево на 20°, верхние концы лопаток загнуты назад (для левого вращения со стороны привода) на угол 40-45° к радиусу колеса. При этом угол наклона лопаток на выходе (см. рисунок 1) составляет β_2 = 130-135°.

Согласно данным, отраженным на графиках 1.пр и 1.л, при нормальном правом вращении заводского колеса вентилятора корпус генератора в течение 27 мин работы нагрелся на $\Delta T_н$ = 10 °C, а при левом реверсивном – на ΔT_1 = 38 °C. В случае левого вращения заводского колеса, перегрев корпуса составил 280 %. Обрезка ребер колеса по диагонали и наклон лопаток влево на 12° позволили снизить температуру нагрева работающего генератора на 4 °C (ΔT_2 = 34 °C), перегрев корпуса генератора составил 240 %.

Дальнейшая обрезка ребер колеса на 1/3 высоты и выступов на периферии фланца с наклоном лопаток на 20° влево обеспечили снижение температуры нагрева генератора на 13 °C (ΔT_3 = 25 °C). При этом перегрев корпуса генератора относительно номинального составил 150 %. Этот результат указывает на рост доли осевой составляющей в потоке воздуха, протягиваемом колесом данной конфигурации через вентиляционные каналы генератора.

Дополнительный загиб назад концов радиальных лопаток под углом 40-45° к радиусу колеса способствовал уменьшению температуры корпуса генератора еще на 5 °C (до ΔT_4 = 20 °C). Благодаря этому изменению конфигурации лопаток колеса, перегрев корпуса генератора составил

10 °С от номинального (или 100 %). На рисунке 8 изображены заводское колесо вентилятора с радиальными лопатками и его рациональная конфигурация после реконструкции под реверсивное (левое) вращение вала генератора.

По сравнению с заводским колесом, рациональная конфигурация колеса вентилятора обеспечила снижение в 2,8 раза возросшей тепловой нагрузки на генератор при реверсивном применении. Тем самым в генераторе был достигнут близкий к нормальному уровень охлаждения фазных обмоток, обмотки возбуждения, выпрямительного блока и регулятора напряжения.

Рисунок 8 – Конфигурация заводского колеса вентилятора с радиальными лопатками для правого вращения вала генератора и после его реконструкции для левого вращения (вид со стороны заднего подшипникового щита)

Генератор Г1000В с модернизированным колесом вентилятора был установлен на навесной консервационный агрегат НКУ-50.3Н (рисунок 9).

Рисунок 9 – Навесной консервационный агрегат НКУ-50.3Н с генератором Г1000В (указан стрелкой), оснащенным модернизированным колесом вентилятора

Агрегат навешивали на заднюю навеску трактора МТЗ-80, посредством карданного вала соединяли с его ВОМ и применяли на полевом стане КПЗ им. Ленина Тамбовского р-на в сезон постановки техники на хранение для нагрева и нанесения загущенного отработанного масла на рабочие механизмы сельхозмашин. Электроэнергию, вырабатываемую генератором, использовали для питания низковольтного ТЭН (29 В, 350 Вт) в напорном баке при подогреве загущенного масла и для питания электроспирали (29 В, 250 Вт) в шланге подачи нагретого масла на распыление. В процессе длительного использования агрегата на открытом воздухе при температуре +5 °С, генератор нагревался до 24 °С и работал без вибраций.

Заключение. Исследования показали, что интенсивность нагрева корпуса генератора, работающего под нагрузкой, в большей мере зависит от направления вращения колеса

встроенного вентилятора. При правом вращении колеса с радиальными лопатками, корпус генератора в течение 27 мин. нагрелся на 10 ^{o}C (до 32 ^{o}C), а потребляемая мощность снизилась на 1,8 %. При левом вращения колеса за это же время корпус нагрелся до 60 ^{o}C, а мощность снизилась до 4 %. При реверсивном (левом) вращении эффективность охлаждения генератора радиальными лопатками практически не отличалась от охлаждения лопатками, вращающимися с наклоном вперед.

Для улучшения охлаждения корпуса генератора Г1000В при реверсивном применении выполнены изменения конфигурации и параметров колеса с радиальными лопатками. Сгиб лопаток на 12° влево и обрезка их ребер по диагонали позволили снизить температуру нагрева работающего генератора на 4 ^{o}C. Обрезка ребер на 1/3 высоты лопаток и выступов на периферии фланца со сгибом лопаток на 20° влево обеспечили снижение температуры нагрева генератора на 13 ^{o}C. Этот результат свидетельствовал о росте осевой составляющей в потоке воздуха, протягиваемом колесом данной конфигурации через вентиляционные каналы генератора. Дополнительный загиб назад концов радиальных лопаток под углом 40-45° к радиусу колеса способствовал уменьшению температуры корпуса генератора еще на 5°C благодаря увеличению радиальной составляющей в потоке охлаждающего воздуха. При этом различие между температурами корпуса генератора для левого и правого вращения составило 10°C.

В целом, проведенные слесарные операции по реконструкции штатного колеса вентилятора с радиальными лопатками, позволили улучшить вентиляцию генератора Г1000В при реверсивном применении, тем самым снизить температуру нагрева его корпуса на 18 ^{o}C и выйти на стабильный температурный режим работы, который, примерно, на 20°C выше температуры окружающего воздуха.

Список источников

1. Vigdorovich V.I., Shel' N.V. Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials // Protection of Metals. 2005. Vol. 41, Issue 4. P. 394-401. doi: https: doi.org/10.1007/s11124-005-0055-7.

2. Петрашев А.И. Условия применения технических средств при консервации сельхозмашин // Техника в сельском хозяйстве. 2003. № 1. С.27-29. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id =21628090 (дата обращения 25.01.2023).

3. Петрашев А.И., Князева Л.Г. Повышение пропускной способности шланга с электронагревательной спиралью для подачи загущенного консерванта на распыление // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 4. С. 559-576. doi: https:doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104.559-576

4. Петрашев А.И. Совершенствование технологических процессов консервации сельскохозяйственной техники при хранении // Техника и оборудование для села. 2009. № 6. С. 35-38. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12534567 (дата обращения 25.01.2023).

5. Навесной агрегат для консервации сельхозмашин в полевых условиях: патент 2752928 Российская Федерация / Петрашев А.И., Остриков В.В., Клепиков В.В. № 2020141478; заявл. 15.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23. 14 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46477896 (дата обращения 25.01.2023).

6. Чебоксарский завод генераторов «Электром». Генераторы модификации Г1000 и Г1000В. Руководство по эксплуатации ГЛЦИ.525266.001-00 РЭ. Версия 1.1. Чебоксары, 2005. 22 с. [Электронный ресурс]. URL: http://tad74.ru/f/generator-g1000.pdf (дата обращения 25.01.2023).

7. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1988. 256 с.

8. Логинова Е.Ю. Совершенствование методов анализа теплового состояния тяговых электродвигателей тепловозов и характеристик их систем охлаждения: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.22.07/ Моск. гос. ун-т путей сообщения (МИИТ). Москва, 2000. 48 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01000235440 (дата обращения 25.01.2023).

9. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1. М.: Энергоатомиздат, 1988. 456 с.

10. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. М.: Высшая школа, 1989. 239 с.

11. Тюков В.А., Честюнина Т.В., Бухгольц Ю.Г. Теплопередача, вентиляционные и тепловые

расчеты в электромеханике. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 248 с.

12. Виноградов В.И. Исследование вентиляторов электрических машин. Л.: Энергия, 1970. 91 с.

13. Виноградов В.И. Вентиляторы электрических машин. Л.: Энергоиздат. 1980. 200 с.

References

1. Vigdorovich V.I., Shel' N.V. Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials. *Protection of Metals*. 2005; 41(4):394-401. (In Eng.) doi: https:doi.org/10.1007/s11124-005-0055-7.

2. Petrashev A.I. Conditions for the Use of Technical Means in the Conservation of Agricultural Machinery. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve* = Technique in Agriculture. 2003; 1:27-29. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21628090 (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

3. Petrashev A.I., Knyazeva L.G. Increasing the Flow Capacity of Hose with Electrical-Heater Coils to Supply Thickened Preservative for Spraying. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(4):559-576. doi: https:doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104. 559-576

4. Petrashev A.I. Improvement of Technological Processes of Conservation of Agricultural Machinery During Storage. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2009; 6:35-38. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12534567 (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

5. Petrashev A.I., Ostrikov V.V., Klepikov V.V. Mounted Unit for Conservation of Agricultural Machinery in the Field. Patent 2752928 Russian Federation. 2021 August 11. 14 p. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=46477896 (accessed 25.01.2023). (In Russ., abstract in Eng.)

6. Cheboksary Plant of Generators Elektrom. Modification Generators G1000 and G1000V. Operation Manual GLTSI.525266.001-00 RE. Version 1.1. Cheboksary, 2005. 22 p. Available at: http://tad74.ru/f/generator-g1000.pdf (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

7. Koshkin N.I., Shirkevich M.G. Handbook of Elementary Physics. M.: Nauka, 1988. 256 p.

8. Loginova E.Yu. Improving Methods for Analyzing the Thermal State of Traction Electric Motors of Diesel Locomotives and the Characteristics of their Cooling Systems: dis. abstract … dr. of tech. scien.. Moscow, 2000. 48 p. Available at: https://search.rsl.ru/ru/record/01000235440 (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

9. Handbook of Electrical Machines: in 2 vol. / Ed. ed. I.P. Kopylov and B.K. Klokov. Vol. 1. Moscow: Energoatomizdat, 1988. 456 p.

10. Sipailov G.A., Sannikov D.I., Zhadan V.A. Thermal, Hydraulic and Aerodynamic Calculations in Electrical Machines. Moscow: Higher school, 1989. 239 p.

11. Tyukov V.A., Chestyunina T.V., Bukhgolts Yu.G. Heat Transfer, Ventilation and Thermal Calculations in Electromechanics. Novosibirsk: Publishing House of NSTU, 2013. 248 p.

12. Vinogradov V.I. Research of Fans of Electric Machines. Leningrad: Energy. 1970. 91 p.

13. Vinogradov V.I. Fans of electrical machines. Leningrad: Energoizdat. 1980. 200 p.

Информация об авторах

А.И. Петрашев - доктор технических наук; В.В. Клепиков - кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Petrashev - Doctor of Technical Sciences; V. Klepikov - Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: А.И. Петрашев – обзор литературы, формулировка цели и выводов, анализ результатов исследований; В.В. Клепиков – проведение экспериментальных исследований, обработка результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: A. Petrashev – literature review, formulation of the goal and conclusions, analysis of research resultsV. Klepikov – conducting experimental studies, processing the results.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 15.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.563.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-34-42

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СУШИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННОГО АГЕНТА СУШКИ

Николай Николаевич Кузнецов[1], Виктор Николаевич Вершинин[2], Владислав Евгеньевич Никифоров[3], Геннадий Александрович Симонов[4], Ольга Борисовна Филиппова[5]
[1,2] *Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина, г. Вологда, Россия*
[1]027781@mail.ru, [2] viknikver@mail.ru
[3,4] *Вологодский научный центр Российской академии наук, г. Вологда, Россия*
[3] nfrv_123@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1175-2526
[4] sznii@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4559-233X
[5] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[5] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

Автор, ответственный за переписку: Ольга Борисовна Филиппова, filippova175@yandex.ru
Corresponding author: Olga Filippova, filippova175@yandex.ru

Реферат. *Из-за особенностей климатических условий во многих регионах Российской Федерации влажность заготавливаемого зерна повышена. Эффективность работы сушильных устройств определяется использованием энергосберегающих технологий. В технологическом процессе сушки зерна предложено повторное использование отработанного теплоносителя в сушилках. Проведена оценка основных факторов, влияющих на процесс сушки влажного зернового вороха. Выполнено моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки подогретого воздуха, полученного при охлаждении зерна после сушки. Для расчета технологических показателей использовалась специальная программа для ЭВМ. Программа позволяет определить экономически целесообразный режим работы сушильного оборудования в процессе послеуборочной обработки зерна. Для работы с программой определены числовые значения переменных величин, которые устанавливаются в зависимости от режима обработки зерна и производительности дозатора и сушилки. В ходе моделирования данного процесса определён расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна, в зависимости от влажности зернового вороха и производительности сушилки. Был определен часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха. Производительность сушилки изменялась от 5 до 40 т/ч. Результаты моделирования расхода топлива, показали, что сушка зерна с использованием тепла, полученного при охлаждении семян и направленного в топочные блоки сушилок, позволяет снизить потребление топлива на 20%.*

Ключевые слова: *зерно, технология сушки, влагосодержание, тепло, расход топлива, моделирование сушки зерна.*

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DRYING DEVICES BY USING THE HEAT OF THE SPENT DRYING AGENT

Nikolay Kuznetsov [1], Viktor Vershinin [2], Vladislav Nikiforov [3], Gennady Simonov [4], Olga Filippova [5]
[1,2] *Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia*
[1] 027781@mail.ru, [2] viknikver@mail.ru
[3,4] *Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia*
[3] nfrv_123@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1175-2526

[4] sznii@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4559-233X
[5] *All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[5] filippova175@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9810-9319

Abstract. *The humidity of harvested grain in many regions of the Russian Federation is higher due to the peculiarities of climatic conditions. The efficiency of drying devices is determined by the use of energy-saving technologies. Reuse of waste coolant in dryers is proposed in the technological process of grain drying. The assessment of the main factors influencing the process of drying a wet grain heap has been carried out. Simulation of grain drying when heated air, obtained by cooling the grain after drying, is supplied to the combustion device of the dryer. A special computer program was used to calculate technological indicators. The program allows you to determine the economically feasible mode of operation of the drying equipment in the process of post-harvest processing of grain. The numerical values of the variables that are set depending on the grain processing mode and the productivity of the dispenser and dryer are defined for working with the program. The consumption of diesel fuel and natural gas for drying grain, depending on the moisture content of the grain heap and the productivity of the dryer, was determined during the simulation of this process. The hourly consumption of diesel fuel and natural gas for drying grain, depending on the moisture content of the grain heap, was determined. The dryer capacity varied from 5 to 40 t/h. The results of fuel consumption modeling showed that drying grain using the heat obtained by cooling the seeds and sent to the furnace units of the dryers can reduce fuel consumption by 20%.*

Keywords: *grain, drying technology, moisture content, heat, fuel consumption, grain drying simulation.*

Для цитирования: Кузнецов Н.Н., Вершинин В.Н., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б. Повышение эффективности работы сушильных устройств путем использования теплоты отработанного агента сушки // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023, Т. 61, № 1. С. 34-42. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-34-42.

For citation: Kuznetsov N.N., Vershinin V.N., Nikiforov V.E., Simonov G.A., Filippova O.B. Improving the efficiency of drying devices by using the heat of the spent drying agent. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 34-42. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-34-42.

Введение. Снижение потерь зерна при его производстве и продуктов его переработки является главной задачей для предприятий АПК в комбикормовой и пищевой промышленности. Из-за особенностей климатических условий во многих регионах Российской Федерации влажность заготавливаемого зерна повышена. Сушка зерна является наиболее быстрым и эффективным способом подготовки семян для длительного хранения и улучшения их кондиционных свойств. Сушка зерна – сложный и достаточно затратный технологический процесс, который обеспечивает сохранность и улучшение качества зерна и семян [1]. Проблема энергосбережения при сушке зерна особенно важна, так как до 50 % от общих затрат на производство зерна занимают энергетические затраты на работу зерносушилок различных типов. Причем около 90% таких затрат приходится на долю используемого топлива. Вместе с тем зерносушилки имеют большие затраты энергии на получение тепла при работе тепловых установок.

Общее повышение цен в последние годы привело к увеличению энергозатрат при производстве продукции растениеводства. Так увеличение стоимости на дизельное топливо за 5-летний период составило 25 % [2]. Повышение эффективности работы сушильных устройств и совершенствование способов сушки в направлении энергосбережения является актуальной задачей.

Уменьшить энергозатраты при сушке зерна можно различными способами. Один из них заключается в использовании теплоты отработанного сушильного агента. При этом слабонасыщенный влагой теплоноситель возвращается в топочные устройства сушилок. В настоящее время наиболее перспективным является внедрение интенсифицированной технологии

сушки зерна. Данный комбинированный способ позволяет осуществлять рециркуляцию процесса сушки, что обеспечивает требуемый съем влаги из сырого зерна за один пропуск через сушилку [3, 4]. Теплота, которая расходуется на испарение влаги, является полезным расходом и одновременно тепло, которое расходуется на нагрев атмосферного воздуха, относится к непроизводительным потерям. Поэтому следует стремиться осуществлять процесс сушки с минимальными непроизводительными потерями теплоты с отработавшим воздухом.

Существуют способы рекуперации, с помощью которых повторно используют теплоту отработавшего агента сушки. Например, отработавший агент сушки проходит через теплообменник на выходе, который частично передает тепло к поступающему в сушилку наружному воздуху, снижая тем самым затраты тепловой энергии. Также используется способ повторного использования отработанного сушильного агента с возвратом в сушилку при смешивании его с атмосферным воздухом.

Согласно агротехническим требованиям температура зерна на выходе из зерносушилки не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 10°С. По данной технологии на современных сушилках охлаждение зерна после сушки осуществляется в охладительных устройствах, за счет продувки его наружным воздухом. Одним и наиболее эффективных способов снижения энергозатрат является повторное использование отработанного тепла агента сушки.

Материалы и методы исследований. В ходе работы проведена оценка работы сушильных устройств с использованием теплоты отработанного агента сушки. С целью определения эффективности данного способа выполнено моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки не подогретого и подогретого воздуха в зависимости от влажности зернового вороха и производительности сушилок.

Проведена оценка влияния некоторых факторов на процесс сушки влажного зерна. Разработана программа имитационной модели для ЭВМ № 2022615454 «Имитационная модель сушки зернового вороха с подачей в топочный блок сушилки подогретого воздуха, полученного при охлаждении зерна после сушки». Язык программирования: GPSS World.

Программой задаются входные данные, в результате определяется количество обработанного влажного материала (зернового вороха), среднее время сушки 1 кг материала, часовой расход источника энергии (дизельного топлива или газа). Реализация модели определяет экономически целесообразный режим работы сушильного оборудования при подаче в топочные устройства сушилок тепла, полученного при охлаждении высушенного зерна.

Результаты и их обсуждение. В типовых зерноочистительных сушильных комплексах используются сушилки, которые, как правило, не имеют охладительных модулей. Для охлаждения зерна, прошедшего сушку, предусмотрены бункеры (охладительные колонки) с активным вентилированием. В таких колонках охлаждающий воздух нагревается в зависимости от температуры зерна на 15...25 °С и выходит с относительной влажностью 8...12 %. Тепло, полученное при охлаждении зерна не используется, а теряется, то есть выбрасывается с воздухом в атмосферу.

Охладительные колонки по сути своей являются калориферами. Подогретый в таких калориферах воздух целесообразно направлять в топочные устройства сушилок, что позволяет уменьшить расход топлива при последующем нагреве. На рисунке 1 представлена схема процесса сушки с охлаждением зернового вороха и подачей тепла в топочный блок сушилки, полученного непосредственно при охлаждении семян.

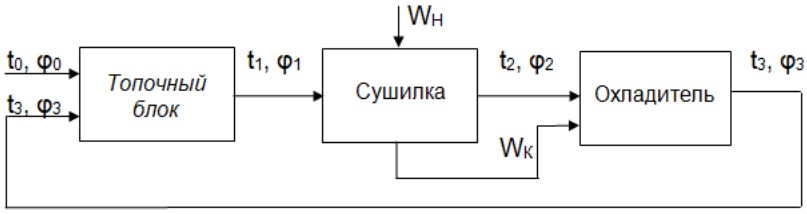


Рисунок 1 – Схема процесса сушки с подачей тепла от охладителя

Наружный воздух с начальными показателями температуры (t_0), относительной влажности (φ_0), влагосодержания (d_0) и энтальпии (теплосодержания) (J_o) поступает в теплообменник топочного блока, где нагревается и нагнетается далее в сушильную камеру с измененными параметрами (t_1, φ_1, d_1 и J_1). При этом нагрев воздуха в теплообменнике не меняет содержание в нем водяного пара ($d_1 = d_0$). Возрастает температура и энтальпия, но снижается относительная влажность. Одновременно в сушильную камеру поступает зерно определенной температуры (t_0) и влажности (W_H).

В сушильной камере между нагретым воздухом (теплоносителем) и зерном происходит тепловлагообмен. Воздух, нагревая влажное зерно, поглощает испаряющуюся из него влагу. Параметры воздуха на выходе из сушильной камеры принимают значения: t_2, φ_2, d_2, J_2.

Нагретое зерно с параметрами температуры (t_2) и влажности (W_K) переходит из сушильной камеры в охладительную камеру, где продувается наружным воздухом с начальными показателями вышеуказанных параметров (t_0, φ_0, d_0, J_o). Наружный воздух оказывает охлаждающее действие на теплое зерно, нагревается и на выходе из охладительной камеры значения параметров меняются (t_3, φ_3, d_3, J_3).

Следует отметить, что теплообмен между зерном и охлаждающим воздухом в охладительной камере сопровождается увеличением температуры t_0 до t_3, энтальпии J_0 до J_3 и уменьшением относительной влажности с φ_0 до φ_3 при постоянном влагосодержании ($d_3 = d_0$) охлаждающего воздуха. Входные и выходные параметры процесса, а также факторы внешней среды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры и факторы процесса тепловлагообмена

Входные параметры	Факторы внешней среды	Выходной параметр
1. Температура теплоносителя на выходе из топочного блока t_1, °С 2. Температура теплоносителя на выходе из сушильной камеры t_2, °С 3. Температура воздуха на выходе из охладителя t_3, °С 4. Конечная влажность зерна $Wк$, %	1. Температура воздуха t_o,°С 2. Относительная влажность φ_o, % 3. Начальная влажность зерна $Wн$, %	Часовой расход источника энергии при сушке зерна G_T, кг/ч

Для обоснования экономической целесообразности данной технологии необходимо было выполнить расчеты часового расхода топлива в двух вариантах сушки – без использования подогретого воздуха и с его использованием. В ходе исследований реализован модельный эксперимент, в котором рассчитывался часовой расход топлива для сушки зернового вороха при конкретных условиях [5, 6].

Для работы с программой определены числовые значения переменных величин, которые устанавливаются в зависимости от режима обработки зерна и производительностей дозатора и сушилки. Значения переменных величин рабочего процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Переменные величины, используемые при моделировании

Название и единица измерения переменной величины	Условн. обозн.	Вариант 1 (без подогрева)		Вариант 2 (с подогревом)	
		Природн. газ	Диз. топливо	Природн. газ	Диз. топливо
Среднее время сушки 1 кг зернового вороха сушилкой (t_c), с/кг	T_1	0,7	0,7	0,7	0,7
Среднее время подачи 1 кг зернового вороха при разных вариантах дозирования ($t_п$), с/кг	T_2	0,6	0,6	0,6	0,6
Начальная влажность зернового вороха, %	W_H	26	26	26	26
Конечная (кондиционная) влажность зернового вороха, %	W_K	14	14	14	14

Влагосодержание теплоносителя на выходе из сушильной камеры, г/кг	d_2	21,5	21,5	21,5	21,5
Влагосодержание воздуха на входе в топочный блок, г/кг	d_1	9	9	9	9
Энтальпия теплоносителя на выходе из сушильной камеры, кДж/кг	J_2	85	85	85	85
Энтальпия воздуха на входе в топочный блок, кДж/кг	J_0	38	38	54	54
Удельная теплота сгорания дизельного топлива (газа), кДж/кг (м^3)	Q_C	33270	42620	33270	42620
Коэффициент полезного действия топочного блока (теплообменника)	η	0,5	0,5	0,5	0,5

Реализация данной модели предполагает определение экономически целесообразного режима работы сушилки при подаче в топочный теплообменник не подогретого воздуха или теплого воздушного потока, полученного от сушилки при охлаждении высушенного зерна.

В таблице 3 сведены и представлены результаты моделирования при работе сушилки.

Таблица 3 – Результаты моделирования

Параметры	Вариант 1 (без подогрева)		Вариант 2 (с подогревом)	
	Природный газ	Дизельное топливо	Природный газ	Дизельное топливо
Общее время работы ЗОСП, с	3600	3600	3600	3600
Поступило зернового вороха с поля, кг	10001	10001	10001	10001
Обработано зернового вороха, кг	5096	5096	5096	5096
Получено сухого зерна, кг	4396	4396	4396	4396
Количество испаренной влаги, кг/ч	700	700	700	700
Процент загрузки оборудования, % - дозатор - сушилка	 98,7 98,5	 98,7 98,5	 98,7 98,5	 98,7 98,5
Время обработки 1 кг зерна, с - подача в сушилку - сушка	 0,602 0,696	 0,602 0,696	 0,602 0,696	 0,602 0,696
Часовой расход топлива G_m, кг (м^3)/ч	158,2	123,2	104,3	81,2
Удельный расход топлива q, кг (м^3)/т	31,04	24,18	20,47	15,93

Выполнялось моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки не подогретого и подогретого воздуха, при разной влажности зернового вороха. Влажность зернового вороха в процессе сушки изменяется от 16 до 30 % [7-9]. По отчётам моделирования определен часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха. Данные моделирования представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха

Влажность зернового вороха, %	Дизельное топливо, кг/ч		Природный газ, м^3/ч	
	Без подогрева	С подогревом	Без подогрева	С подогревом
16	21,8	14,4	28,0	18,5
18	45,0	29,7	57,9	38,1
20	63,4	41,8	81,4	53,6
22	82,4	54,3	105,8	69,7
24	103,0	67,9	132,2	87,2

26	124,3	81,9	159,6	105,2
28	142,8	94,1	183,3	120,8
30	162,8	107,3	209,1	137,8

Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха представлен на рисунке 2.

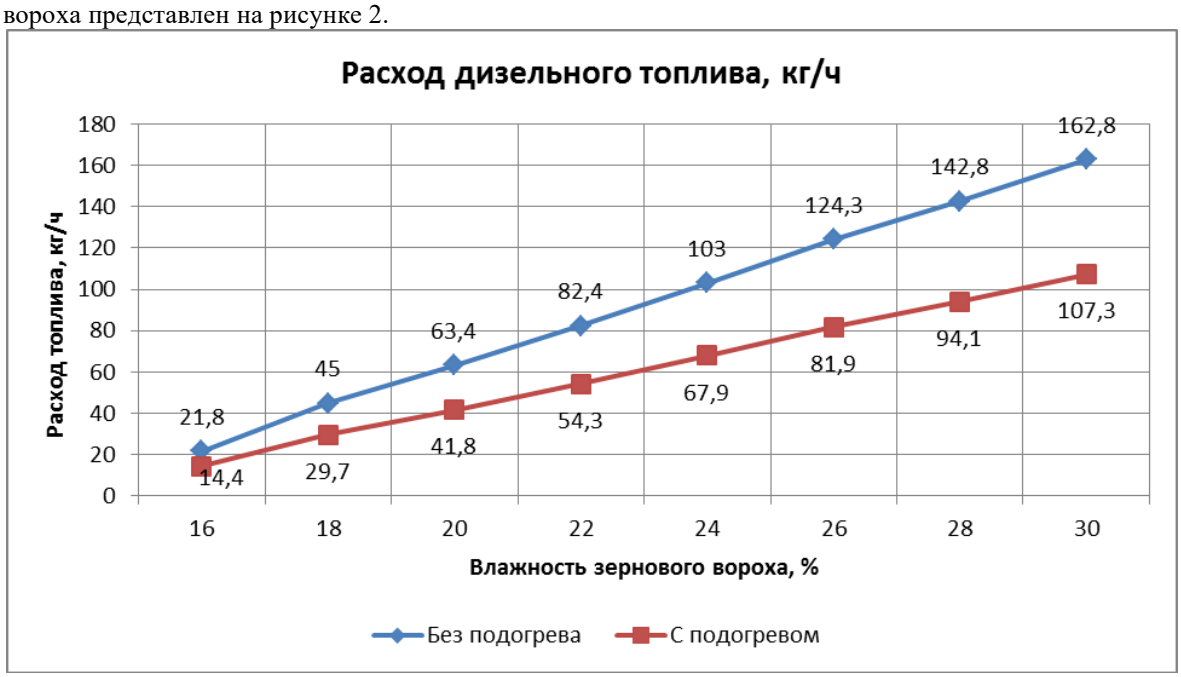


Рисунок 2 – Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха

Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха представлен на рисунке 3.

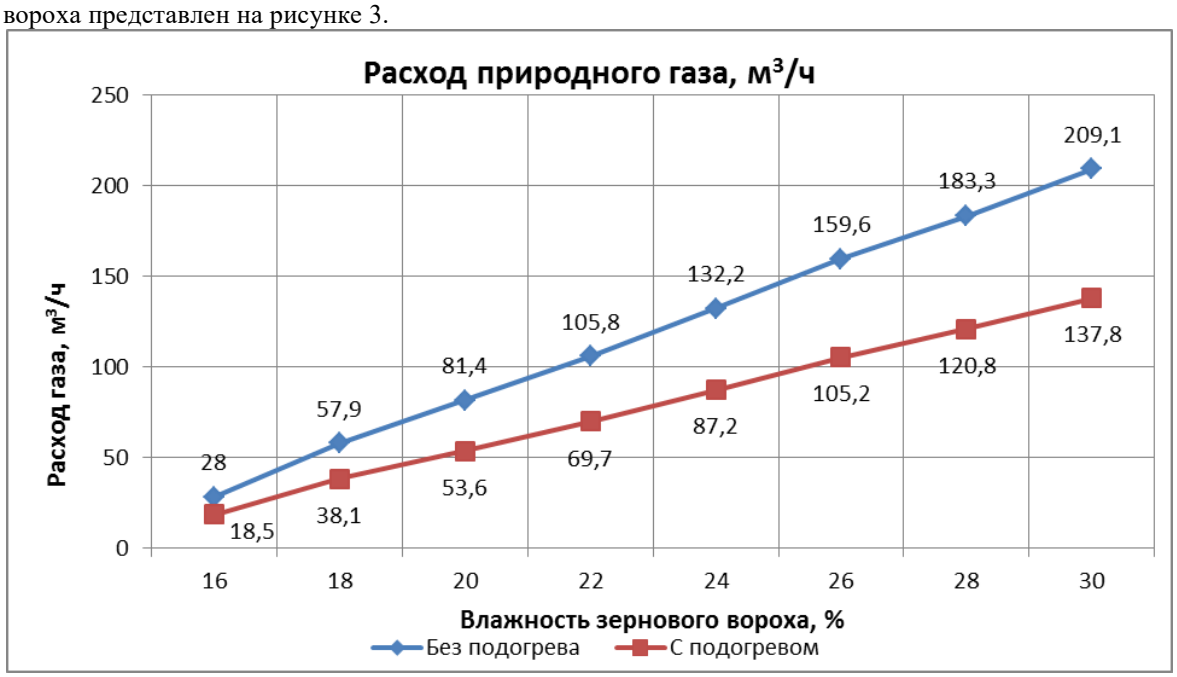


Рисунок 3 – Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от влажности зернового вороха

На втором этапе выполнили моделирование сушки зерна при подаче в топочное устройство сушилки не подогретого и подогретого воздуха, при разной производительности сушилки. Начальная влажность зернового вороха во всех опытах была принята W_H = 20 %.

Производительность сушилки изменялась от 5 до 40 т/ч. По отчётам моделирования определялся часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна, в зависимости от производительности сушилки. Данные моделирования представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Часовой расход дизельного топлива и природного газа на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки

Производительность сушилки, т/ч	Дизельное топливо, кг/ч		Природный газ, $м^3$/ч	
	Без подогрева	С подогревом	Без подогрева	С подогревом
5	61,4	39,4	78,9	52,0
10	117,2	82,7	150,5	99,2
15	183,0	117,0	235,0	155,0
20	240,4	158,1	308,7	203,5
25	312,0	200,9	400,7	264,2
30	362,7	233,9	465,8	307,1
35	436,7	287,8	560,7	369,7
40	472,7	311,6	607,0	400,2

Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки представлен на рисунке 4.

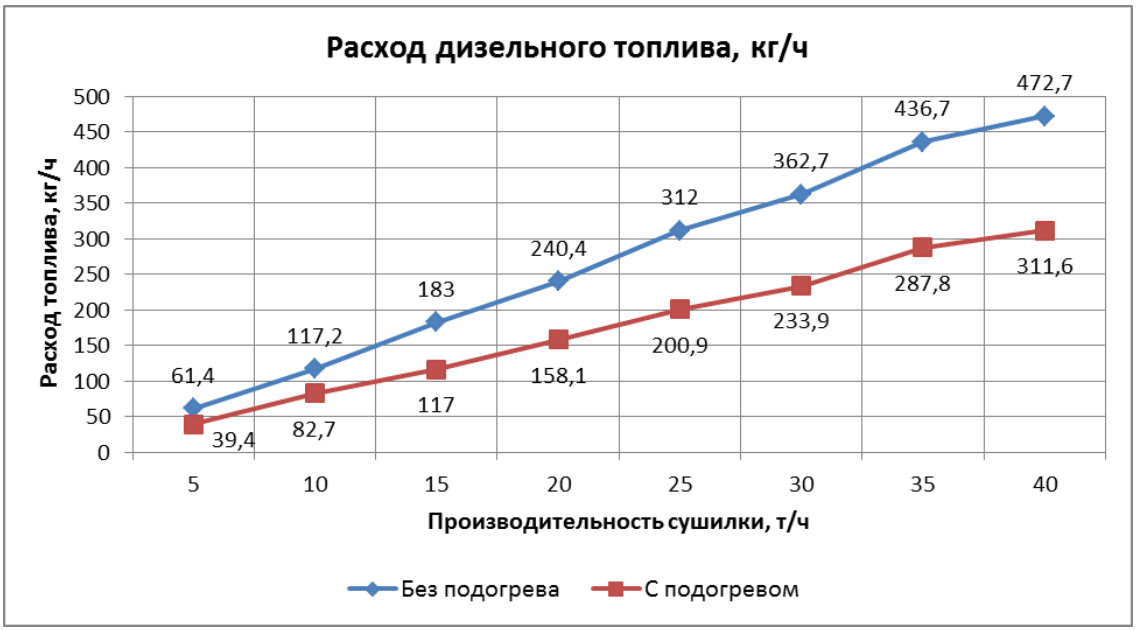


Рисунок 4 – Часовой расход дизельного топлива на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки

Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки представлен на рисунке 5.

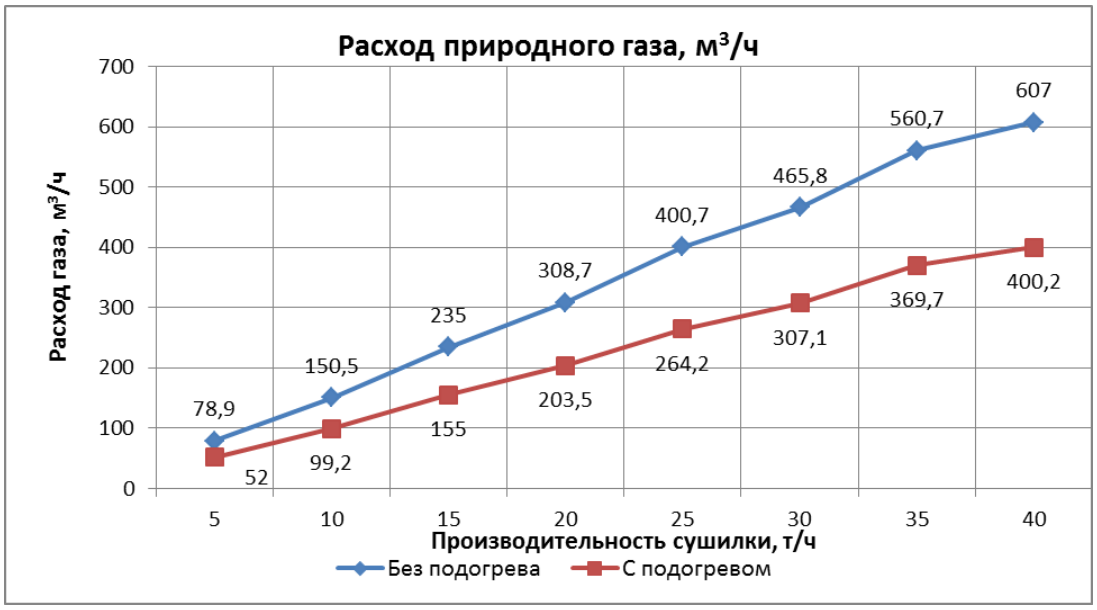


Рисунок 5 – Часовой расход природного газа на сушку зерна в зависимости от производительности сушилки

На приведённых графиках показано, что часовой расход топлива на сушку повышается пропорционально в зависимости от влажности зернового вороха и производительности сушилки.

Результаты моделирования и данные по расходу топлива на сушку зерна указывают на то, что предлагаемая технология сушки может дать значительную экономию, как природного газа, так и дизельного топлива. Кроме того, этот технологический процесс сушки может быть использован при заготовке высококачественного сена, что является необходимым условием в кормлении высокопродуктивного скота и увеличения срока хозяйственного использования животных [10, 11].

Заключение. Оптимизация послеуборочной обработки зерна является не только одним из способов получения кондиционных семян, но и способствует снижению энергетических производственных затрат. Реализация разработанной технологии, основанной на использовании теплоты отработанного агента сушки, позволяет снизить потребление топлива на 20 % и может применяться на различных сушильных установках.

Список источников

1. Васильев А.Н., Удинцова Н.М. Анализ параметров воздушно-тепловой обработки для улучшения посевных качеств семян // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. № 1. – С. 9-10.

2. Электронный ресурс. Росиформстат. https://rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/ (дата обращения: 23.12.2022).

3. Баум А.Е., Резчиков В.А. Сушка зерна. – М.: Колос, 1983. – 223 с.

4. Голубкович А.В., Лукин И.Д. Периодическая сушка зерна повышенной влажности // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 2 (12). – С. 9-13.

5. Кузнецов Н.Н., Шушков Р.А., Вершинин В.Н. Имитационное моделирование работы технологической линии послеуборочной обработки семенного зерна // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 57. – С. 235-240.

6. Кузнецов Н.Н., Алексеев Е.П. Исследование технологии сушки зерна с подачей тепла, полученного при его охлаждении, в топочные устройства сушилок // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 (19). – С. 117-121.

7. Немировский А.Е., Никифоров В.Е. Повышение эффективности контроля сушки зерна // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2017. – № 2 (48). – С. 34-40.

8. Инновационные технологии производства сельскохозяйственной продукции / Г.А. Симонов, А.В. Маклахов, В.К. Углин, В.Е. Никифоров. – Вологда-Молочное, 2021. –165 с.

9. Научные и практические аспекты развития АПК Вологодской области / А.В. Маклахов [и др.]. – Вологда, 2022. – 366 с.

10. Технология заготовки высококачественного сена вне зависимости от погодных условий / В.К. Углин [и др.] // АгроФорум. – 2020. – № 4. – С. 66-70.

11. Филиппова О.Б., Кийко Е.И. Условия кормления коров и причины их преждевременного выбытия из производственного цикла // Главный зоотехник. – 2016. – № 5. – С. 19-26.

References

1. Vasiliev A.N., Udintsova N.M. Analysis of the parameters of air-heat treatment to improve the sowing qualities of seeds // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva (Mechanization and electrification of agriculture). 2000. No. 1. pp. 9-10.

2. Electronic resource. Rosiformstat. https://rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/ (access date: 23.12.2022).

3. Baum A.E., Rezchikov V.A. Grain drying. Moscow: Kolos, 1983. 223 p.

4. Golubkovich A.V., Lukin I.D. Periodic drying of grain with high humidity // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii (Agricultural machines and technologies). 2018. No. 2 (12). Pp. 9-13.

5. Kuznetsov N.N., Shushkov R.A., Vershinin V.N. Simulation modeling of the operation of the technological line for post-harvest processing of seed grain // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy). 2019. No. 57. Pp. 235-240.

6. Kuznetsov N.N., Alekseev E.P. Research of technology of grain drying with the supply of heat obtained during its cooling into the furnace devices of dryers // Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii (Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy). 2021. No. 4 (19). Pp. 117-121.

7. Nemirovskiy A.E., Nikiforov V.E. Improving the efficiency of grain drying control // Vesti vysshikh uchebnykh zavedeniy Chernozem'ya (Conduct of higher educational institutions of the Chernozem region). 2017. No. 2 (48). Pp. 34-40.

8. Innovative technologies of agricultural production / G.A. Simonov, A.V. Maklakhov, V.K. Uglin, V.E. Nikiforov. Vologda-Molochnoye, 2021. 165 p.

9. Scientific and practical aspects of the development of the agro-industrial complex of the Vologda region / A.V. Maklakhov [et al.]. Vologda, 2022. 366 p.

10. Technology of harvesting high-quality hay regardless of weather conditions / V.K. Uglin [et al.] // AgroForum. 2020. No. 4. Pp. 66-70.

11. Filippova O.B., Kiiko E.I. Conditions of feeding cows and the reasons for their premature retirement from the production cycle // Glavnyy zootekhnik (Chief Zootechnician). 2016. No. 5. Pp. 19-26.

Информация об авторах

Н.Н. Кузнецов – кандидат технических наук, доцент; В.Н. Вершинин – кандидат технических наук, доцент; В.Е. Никифоров – старший научный сотрудник; Г.А. Симонов - доктор сельскохозяйственных наук; О.Б. Филиппова - доктор биологических наук.

Information about the authors

N. Kuznetsov - candidate of technical sciences, associate professor; V. Vershinin - candidate of technical sciences, associate professor; V. Nikiforov - Senior Researcher; G. Simonov - Doctor of Agricultural Sciences; O. Filippova - Doctor of Biological Sciences.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию (Received): 10.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 15.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 656.9
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-43-54

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСМИССИИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ

Юрий Викторович Родионов [1]***, Сергей Иванович Данилин*** [2]***, Александр Егорович Ломовских*** [3]***, Виктор Иванович Черноиванов*** [4]***, Игорь Викторович Денисов*** [5]
[1]*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,2]*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru
[3,4,5]*ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия*
[3]lomovskih1979@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Александр Егорович Ломовских, lomovskih1979@yandex.ru Corresponding author Alexander Lomovskih, lomovskih1979@yandex.ru

Реферат. *В статье представлены результаты анализа конструкций существующих дифференциалов автотракторной техники, а также исследуются процессы их работы. Проведенный в данной работе анализ позволил выявить проблему, а затем решить ее путем установки двух вариаторов в дифференциал, что позволило разделить поток мощности, подводимый к дифференциалу, с возможностью отслеживания моментов сцепления колес с дорогой путем изменения внутренних передаточных чисел цепочек мощности, подводимых к правому и левому колесам, независимо друг от друга. Проведенное исследование позволило решить актуальную инженерную задачу, заключающуюся в разработке межколесного дифференциала с изменяющимся передаточным числом, обеспечивающим оптимальный характер связи между ведущими колесами и позволяющим повысить проходимость автотракторной техники, при сохранении других положительных эксплуатационных свойств за счет полного использования сцепления колес с дорогой. Также в статье описана разработанная конструкция дифференциала с изменяющимся внутренним передаточным числом, представлена его кинематическая схема, на которой можно увидеть, как распределяется крутящей момент пропорционально силам сопротивления на колесах. В заключении статьи представлены основные выводы проделанной работы, заключающиеся в повышении проходимости автотракторной техники за счет полного использования сцепления колес, особенно с мокрым грунтовым покрытием. Все это приведет к повышению КПД автотракторной техники, эффективности ее применения в полевых условиях (на бездорожье) и снижению расходов на топливо.*

Ключевые слова: *проходимость, дифференциал, эксплуатационные показатели техники, автотракторная техника, коэффициент перераспределения моментов, самоблокирующийся дифференциал.*

IMPROVING THE TRANSMISSION OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT IN ORDER TO INCREASE CROSS-COUNTRY CAPABILITY

Yuri Rodionov [1]***, Sergey Danilin*** [2]***, Alexander Lomovskih*** [3]***, Viktor Chernoivanov*** [4]***, Igor Denisov*** [5]
[1]*Tambov state technical university, Tambov, Russia*
[1,2]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru
[3,4,5]*Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia*
[3]lomovskih1979@yandex.ru

Abstract. *The article presents the results of the analysis of the designs of existing differentials of automotive equipment, as well as the processes of their operation. The analysis carried out in this work*

made it possible to identify the problem, and then solve it by installing two variators in the differential, which made it possible to divide the power flow supplied to the differential, with the ability to track the moments of adhesion of the wheels to the road by changing the internal gear ratios of the power chains supplied to the right and left wheels, independently of each other. The conducted research made it possible to solve an urgent engineering problem, which consists in the development of an inter-wheel differential with a variable gear ratio, ensuring the optimal nature of the connection between the driving wheels and allowing to increase the patency of automotive equipment, while maintaining other positive operational properties due to the full use of wheel coupling with the road. The article also describes the developed design of a differential with a variable internal gear ratio, presents its kinematic scheme, where you can see how the torque is distributed in proportion to the drag forces on the wheels.In conclusion, the article presents the main conclusions of the work done, which consist in increasing the patency of automotive equipment due to the full use of wheel coupling, especially with wet ground. All this will lead to an increase in the efficiency of automotive equipment, the effectiveness of its use in the field (off-road) and lower fuel costs.

Keywords: *patency, differential, performance indicators of equipment, automotive equipment, coefficient of redistribution of moments, self-locking differential.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Данилин С.И., Ломовских А.Е., Черноиванов В.И., Денисов И.В. Совершенствование трансмиссии автотракторной техники с целью повышения проходимости // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 61, № 1. С. 43-54. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-43-54.

For citation: Rodionov Y., Danilin S., Lomovskikh A., Chernoivanov V., Denisov I. Improving the transmission of automotive equipment in order to increase cross-country ability. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 43-54. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-43-54.

Введение. В условиях современного развития агропромышленного комплекса России постоянно расширяются задачи, стоящие перед автотракторной техникой (АТТ), и требования, предъявляемые к их технической готовности при эксплуатации по предназначению, поэтому возникает необходимость совершенствования, как самой техники, так и способов ее применения.

Здесь следует выделить работу трансмиссии АТТ особенно в условиях распутицы, при движении техники по полевым грунтовым дорогам. В таких условиях работа ведущих мостов в значительной степени зависит от свойств дифференциала, который при проскальзывании одного из ведущих колес передает основную часть крутящего момента именно на это колесо. В связи с этим делалось много попыток создать такую схему дифференциала, которая воплотила бы себе положительные свойства дифференциальной и блокированной схем, исключая их недостатки, однако ни одна из них проблемы полностью не решает.

Следовательно, авторам при разработке перспективной трансмиссии необходимо учитывать возможность изменения коэффициента блокировки по заносу, учитывающему проходимость АТТ и обеспечивающего сохранение устойчивости и управляемости особенно при поворотах и разворотах этой техники [1].

Следует отметить, что, как и другие механизмы нельзя назвать вполне надежными средствами обеспечения устойчивости обеспечения высокой проходимости техники в экстремальных условиях. Цель данной работы заключается в том то, чтобы на основе конструкций существующих дифференциалов разработать дифференциал с изменяющимся внутренним передаточным числом, позволяющим распределить крутящий момент пропорционально силам сопротивления на колесах, изменяя при этом коэффициент блокировки от 0 до 1, а коэффициент перераспределения моментов ($K_{ПМ}$) от 1 до бесконечности. В дальнейших исследованиях необходимо оценить влияние предлагаемого решения на проходимость АТТ, при движении по раскисшему грунту, в осенне-весенний период полевых работ.

Выбранное направление дальнейших исследований является перспективным, но следует учесть и тот факт, что, такими свойствами обладают и дифференциалы повышенного трения, но они в значительно меньшей степени способны автоматически перераспределять моменты

забегающего натаскивающее звено, несколько уменьшая вероятность буксования ведущих колес [2].

Существующая классификация дифференциалов представлена на рисунке 1.

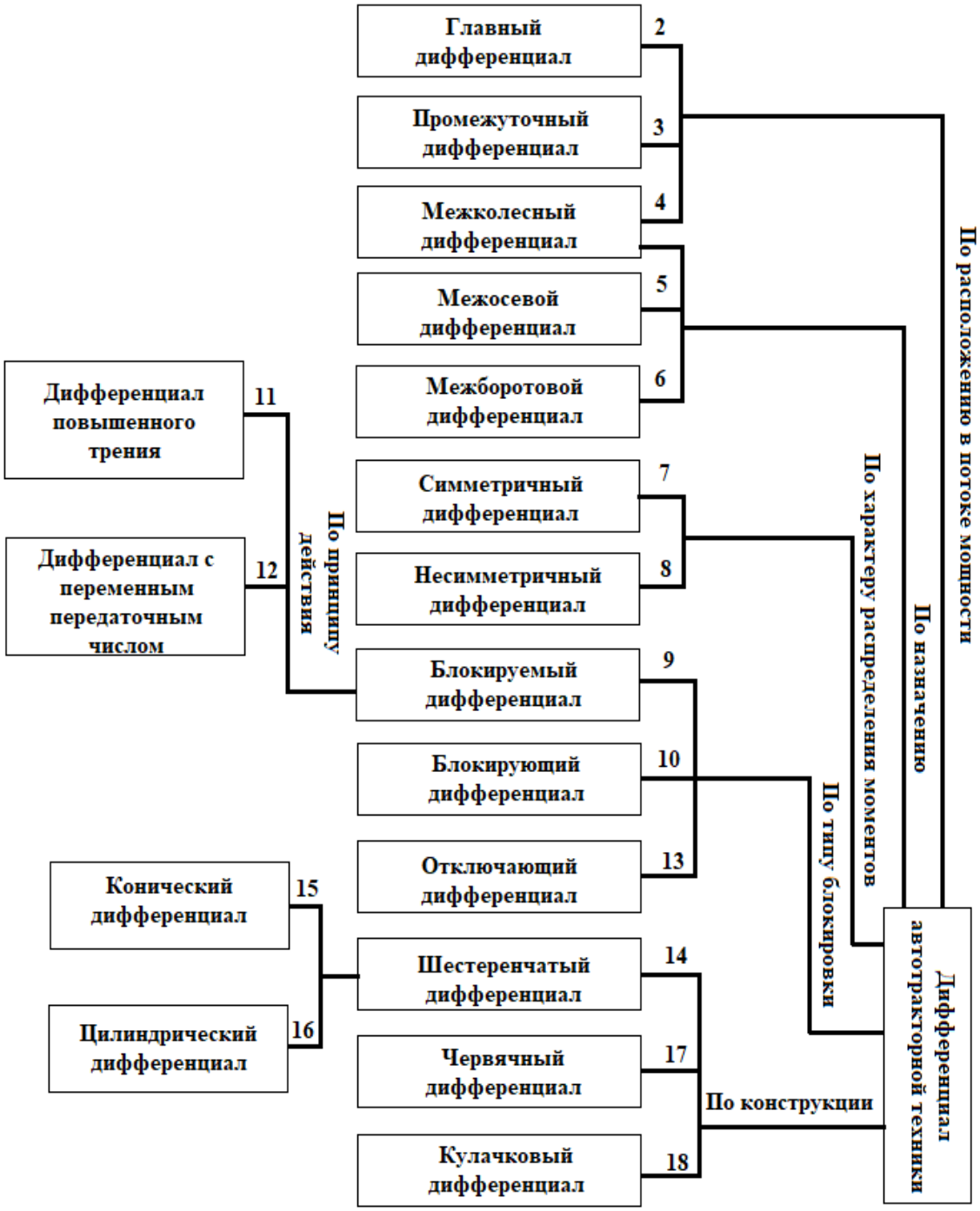


Рисунок 1 – Классификация существующих дифференциалов

Из рисунка 1 видно, что в настоящее время основную долю занимают симметричные конические дифференциалы.

Основным недостатком данной конструкции является зависимость коэффициента перераспределения момента от вязкости рабочей жидкости, которая уменьшается с увеличением температуры.

Материалы и методы. На данном этапе работы авторами с целью проведения дальнейших исследований был выбран автомобиль КамАЗ-55102, применяемый на многих сельскохозяйственных предприятиях, а для расчета предлагаемой конструкции межколесного дифференциала для данного автомобиля применено имитационное моделирование в среде Simulink. Для автоматизированного определения основных параметров межколесного дифференциала и его КПД были смоделированы две подсистемы, которые в этой статье описываться не будут.

Результаты и их обсуждение. При помощи рассмотренной модели в среде Simulink были получены основные параметры межколесного дифференциала, при этом рассматривались два режима работы вязкостной муфты. Первый при котором муфта передает момент за счет вязкостного сопротивления жидкости. При повышении температуры, за счет буксования дисков муфты, вязкостная муфта начинает работать в блокированном режиме, который характеризуется прогрессивным ростом передаваемого момента. Однако при некоторых условиях движения необходимо заблокировать и саму муфту, так как она вступает в работу только после определенного смещения ведущего и ведомого дисков [3].

Как показывают проведенные авторами исследования вязкостная муфта положительно влияет на устойчивость и управляемость АТТ, что позволяет в дальнейшем совершенствовать эксплуатационные свойства АТТ особенно при работе в полевых условиях.

Для оценки дифференциалов любого типа нужно определить следующие качества: способность допускать раздельное качение колес правой и левой сторон АТТ без скольжения и буксования при движении на повороте или по неровной грунтовой дороге, влияние на проходимость и экономичность АТТ, надежность и долговечность разработанной конструкции.

Следует отметить, что при работе АТТ в условиях распутицы и при движении по раскисшему грунту наименьшие потери мощности на буксовке возможны только при блокированном приводе, поэтому данные потери будут еще меньше, если использовать самоблокирующийся дифференциал.

Как видно из таблицы 1, приведенной ниже, при дифференциальном приводе потери мощности повышаются.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента полезного действия (КПД) от тангенциальных усилий на колесах для межколесных дифференциалов с различными $K_{ПМ}$

К’, кН	К”, кН	Коэффициент полезного действия		
		$K_{ПМ} = \infty$	$K_{ПМ} = 1$	$K_{ПМ} = 2{,}5$
150	150	0,950	0,950	0,950
125	175	0,950	0,943	0,950
100	200	0,950	0,937	0,950
75	225	0,950	0,924	0,950
50	250	0,950	0,895	0,947
25	275	0,950	0,794	0,930

Однако при криволинейном движении АТТ при повороте и развороте с минимальным радиусом поворота КПД увеличивается по мере увеличения $K_{ПМ}$.

В связи с этим, ни один из представленных на рисунке 1 дифференциалов (с постоянным $K_{ПМ}$) АТТ не обеспечивает оптимального характера взаимодействия между ведущими колесами для всех дорожных условий.

На рисунке 2 представлена зависимость КПД от тангенциальных усилий межколесных дифференциалов.

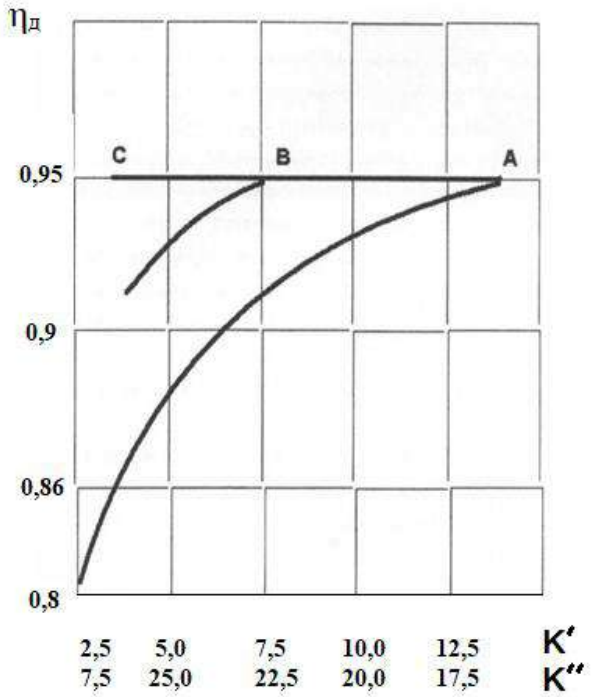


Рисунок 2 – Зависимость КПД от тангенциальных усилий для межколесных дифференциалов

Таким образом, на основе анализа конструкций существующих типов дифференциалов необходимо разработать мелколесный дифференциал, позволяющий распределять крутящий момент пропорционально силам сопротивления на колесах, обеспечивая при этом чистое качение ведущих колес при движении на повороте и по неровностям дороги. Разрабатываемый дифференциал при этом должен обеспечивать оптимальный характер связи между ведущими колесами, изменяя при этом $K_{ПМ}$ за счет изменения внутреннего передаточного числа, достигаемого путем разработки и установки двух вариантов конструкции.

При использовании АТТ в полевых условиях требуется повышение проходимости этой техники, которая в значимой мере зависит от степени использования сцепления ведущих колес с грунтом. Здесь необходимо добиться максимально возможного использования сцепления ведущих колес трактора с поверхностью грунта, а также снижения затрат мощности связанного с пробуксовыванием этих колес. В этом случае решающее значение имеет характер связи между ведущими колесами, зависящий от схемы передачи привода от раздаточной коробки к ведущим мостам, а также свойствами и местом размещения дифференциалов в самой трансмиссии [4].

Два основных требования, предъявляемых к дифференциалам, касаются обеспечения чистого качения ведущих колес при повороте и по неровностям дороги, а также пропорционального изменения, подводимого к колесам крутящего момента в соответствии с силами сцепления колес с дорогой, находят во всех известных конструкциях свои противоречия.

На следующем этапе исследований осуществляется разработка конструкции дифференциала с изменяющимися внутренними передаточными числами.

Определение диапазона значений коэффициента блокировки является важным при разработке новой конструкции дифференциала. Далее речь пойдет о коэффициенте перераспределение моментов. Общеизвестным фактом является то, что чем больше $K_{ПМ}$, тем рациональнее используется сцепной вес ведущего моста и выше проходимость АТТ в целом. Однако, чтобы достичь этого, то необходимо заблокировать привод, то есть чтобы он приближался к блокированному, а это в свою очередь будет ухудшать поворачиваемость техники [5].

Дорожные условия, в которых эксплуатируется АТТ, характеризуются сочетанием возможных

коэффициентов сцепления левого и правого колес ведущего моста с грунтом. Реальный коэффициент сцепления каждого колеса в полевых условиях изменяется от 0,1 до 0,7 (при использовании в основном арочных шин) и определяется для каждого колеса по выражениям (1) и (2):

$$M_{лев} = R_z \varphi_{\min} v_д + R_z \mu v_д, \quad (1)$$

$$M_{прав} = R_z \varphi_{\max} v_д + R_z \mu v_д, \quad (2)$$

где R_Z – нормальная реакция дороги, Н; $\varphi_{\min}$ – коэффициент сцепления на забегающем колесе; $\varphi_{\max}$ – коэффициент сцепления на отстающем колесе; $v_д$ – скорость движения, м/с; μ – коэффициент сопротивления качению.

Разделив уравнение (1) на уравнение (2), получим значение коэффициент перераспределения моментов, необходимого для движения техники в различных заданных условиях:

$$K_{ПМ} = \frac{\varphi_{\max} + \mu}{\varphi_{\min} + \mu}, \quad (3)$$

Учитывая влияние коэффициента сопротивления качению, можно прийти к выводу, что коэффициент перераспределения моментов будет равен 7 при самых неблагоприятных условиях движения АТТ и как исключение может быть движение автомобиля по неровностям дороги с отрывом колес от опорной поверхности, в этом случае потребный $K_{ПМ}$, для продолжения движения, должен составлять бесконечно большую величину.

По данным автора [6] $K_{ПМ}$ = 3 – охватывает 80% дорожных условий, $K_{ПМ}$ = 5 – охватывает 94%. Приведенные данные согласуются с предполагаемым методом оценки вероятности полного использования сцепления колесами моста, оборудованного дифференциалом.

Следовательно, применение дифференциалов с $K_{ПМ}$, находящимся в пределах от 2,5 до 4, как с точки зрения удовлетворительной поворачиваемости, так и с точки зрения высокой проходимости машины наиболее рационально.

Установка межколесного самоблокирующего дифференциала на АТТ преследует, в основном, цель повышения его тягово-сцепных качеств, так как это условие позволяет улучшить динамичность и проходимость АТТ в условиях различных сил сцепления ведущих колес дорожной поверхностью.

Однако, как показывает практика, чрезмерное блокирующие свойства дифференциала оказывают отрицательное воздействие на устойчивость и управляемость автомобиля. В известной мере ухудшаются топливная экономичность другие показатели АТТ.

В связи с этим необходимо уменьшать степень блокирования дифференциала или по крайней мере нужно частично ограничивать, исходя из условий, при которых будет отрицательное воздействие на дифференциал минимальным или вообще отсутствовать.

В настоящее время наиболее распространены самоблокирующиеся дифференциалы механического типа, среди которых устройство, имеющее в дополнение к обычному дифференциалу дисковые муфты или конусные муфты трения. Часть устройств такого типа обладает переменными блокирующими свойствами, находящимися в зависимости от подводимого к дифференциалу крутящего момента и других параметров [7].

Следовательно, необходимо учитывать не только предельно допустимое значение коэффициента блокировки, но и оптимальную характеристику изменения ряда эксплуатационных факторов. В частности, целесообразно рассчитывать зависимость коэффициента блокировки от величины подводимого к дифференциалу крутящего момента и это делать с учетом относительного изменения момента сопротивления на правом и левом колесах ведущих мостов.

Цель данных исследований усложняется в виду того, что АТТ в основном эксплуатируется по грунтовым дорогам, то часто возникают такие условия, когда на правом и левом колесе возникают разные коэффициенты сцепления колес с грунтовым покрытием. В связи с этим работа обычного дифференциала приводит к пробуксовыванию и раскручиванию колеса, у которого наименьший коэффициент сцепления с дорогой, под действием избыточного момента передаваемого от дифференциала. Поэтому оптимальная характеристика дифференциала при таких условиях может быть получена для заданной величины крутящего момента на корпусе дифференциала, при этом увеличение коэффициента блокировки должно сопровождаться уменьшением крутящего момента,

подводимого к буксующему колесу [8].

Таким образом, величина коэффициента блокировки должна обеспечивать полную реализацию крутящего момента на колесе в соответствии с моментом колеса по сцеплению. Другими словами, коэффициент блокировки должен изменяться в соответствии с изменениями подводимых колесам моментов, находящихся в пропорциональной зависимости от сил сопротивления качения и сил сцепления колес с дорогой.

Из этого следует, что при прямолинейном движении коэффициент блокировки равен нулю, а при увеличениях разности угловых скоростей полуосей, либо силы сцепления колес с дорогой, коэффициент блокировки возрастает, приближаясь к единице и соответственно $K_{ПМ}$ устремляется при этом в бесконечность, когда момент одного из колес по сцеплению стремится к нулю.

В таблице 2 приведены значения коэффициента сцепления колес с дорогой для основных типов покрытия.

Таблица 2 – Возможные коэффициенты сцепления колес АТТ с дорогой

Покрытие	Возможное состояние покрытия	Коэффициент сцепления	Диапазон изменения
Снежное	Сухой, рыхлый снег Укатанный снег Обледенелый снег	0,22…0,40 0,20…0,25 0,10…0,15	0,10…0,40
Грунтовое	Сухой Увлажненное Мокрое	0,50…0,65 0,30…0,45 0,15…0,25	0,15…0,65
Асфальтобетон	Сухое Мокрое Покрытое грязью	0,70…0,80 0,45…0,55 0,25…0,40	0,25…0,80

На рисунке 3 показана зависимость $K_{ПМ}$ от разности сцепления правого и левого колес с дорогой.

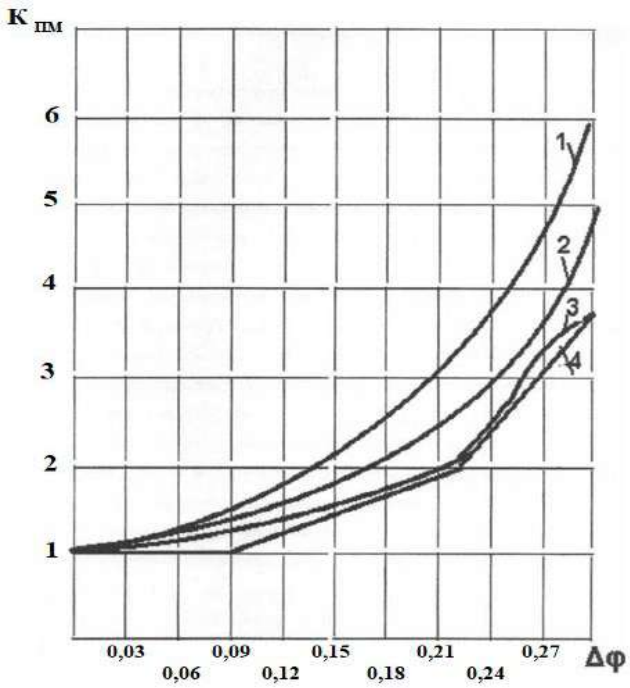


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента перераспределения моментов дифференциала от сцепления колес с дорогой

Кривая 1, соответствующая наихудшим по сцеплению дорожным условиям (при

коэффициенте сцепления колес АТТ с дорогой 0,15…0,3) и является определяющей. Это можно пояснить тем, что при значениях $K_{ПМ}$, лежащих под кривой 1, уменьшается развивая АТТ сила тяги, что существенно, так как величина самой силы тяги в этих условиях невелика.

При значениях $K_{ПМ}$, находящихся соответственно над кривой 1, происходит полное использование запаса боковой реакции задней оси и что в конечном итоге может привести к заносу АТТ. При движении АТТ с дифференциалом, имеющим характеристику в соответствии с кривой 1, в условиях, соответствующих кривым 2 и 3 определяется в этой зоне по сцеплению ведущей оси, где при этом имеется определенный запас согласно источнику [9].

Поэтому, с точки зрения получения максимальных сцепных сил без потери устойчивости прямолинейного движения АТТ степень блокировки дифференциала должна меняться автоматически в зависимости от подводимого к нему крутящего момента и в этом отношении правильной является характеристика, соответствующая кривой 4.

Уточнение характеристики дифференциала АТТ многоцелевого назначения следует делать с учетом других требований, и, прежде всего, предъявляемых из условий высокой проходимости, при сохранении устойчивости и управляемости криволинейного движения, что подробно описывается в работе [10].

В ходе проведенного анализа в соответствии с законом изменения $K_{ПМ}$ предлагается использовать вариатор скорости марки АС/1036987. Данный механизм позволяет изменять подводимый крутящий момент пропорционально нагрузке, возникающей на нем, путем автоматического бесступенчатого изменения передаточного числа.

Поток мощности, подводимый дифференциалу, разделяется на два независимых друг от друга. Реализуется такой механизм путем установки двух вариаторов, имеющих один общий ведущий элемент и каждый свой выходной вал.

Конструкция предлагаемого дифференциала позволит распределять крутящий момент между ведущими колесами одного моста пропорциональной силам сопротивления, возникающим на них, обеспечивая при этом сохранение устойчивости, управляемости других положительных эксплуатационных свойств.

В связи с тем, что наиболее перспективной грузовой маркой, эксплуатируемой в настоящее время на сельхоз предприятиях, является автомобиль КамАЗ, то проектируемый дифференциал позволит повысить проходимость машины при сохранении других положительных эксплуатационных свойств. Также будет достигнуто изменение внутреннего передаточного числа и коэффициента блокировки в зависимости от дорожных условий.

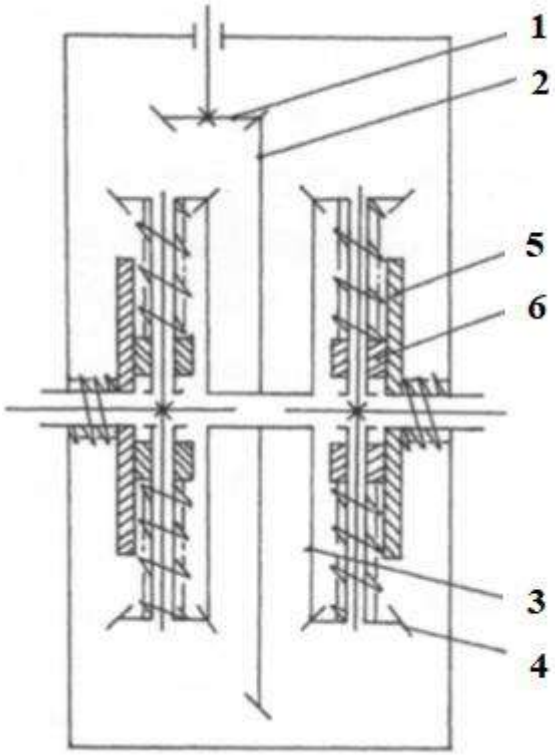
Вывод формулы передаточного числа дифференциала, произведенного аналитическим путем, в связи с тем, что часть элементов дифференциале, передающих вращающий момент, являются узлами трения, а часть – зубчатыми колесами и шестернями, то тогда анализ целесообразнее проводить исходя из значений делительных диаметров, передающих вращающий момент деталей.

Используя основной принцип определения передаточного числа, а именно отношение диаметра ведомого элемента к ведущему, в ходе аналитических рассуждений, получаем формулу внутреннего передаточного числа проектируемого дифференциала, определяемую выражением:

$$U_{д} = \frac{D_2 D_4 D_6}{2 D_1 D_3 D_5}, \qquad (4)$$

где D_1 – диаметр ведущей шестерни, мм; D_2 – диаметр шестерни дифференциала, мм; D_3 – диаметр бокового венца шестерни, мм; D_4 – диаметр зубчатого сателлита, мм; D_5 – диаметр фрикционного сателлита, мм; D_6 – диаметр заторможенного на корпусе, фрикционного диска, мм.

На рисунке 4 представлена расчетная кинематическая схема проектируемого дифференциала.



1 – диаметр ведущей шестерни (D_1); 2 – диаметр шестерни дифференциала (D_2); 3 – диаметр бокового венца шестерни (D_3); 4– диаметр зубчатого сателлита (D_4); 5 – диаметр фрикционного сателлита (D_5); 6 – диаметр заторможенного на корпусе, фрикционного диска (D_6)
Рисунок 4 – Кинематическая схема разработанного дифференциала

Принимая во внимание реальные размеры главной передачи автомобиля КамАЗ-55102, который выбран среди марок автомобилей многоцелевого назначения и являющейся наиболее пространенным, произведен выбор геометрических размеров элементов дифференциала.

Значения размеров приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Размеры основных деталей

Диаметр, мм	Условное обозначение
125	D_1
375	D_2
275	D_3
50	D_4
100	D_5
200	D_6

Полученный результат показывает, что проектируемый дифференциал является ускоряющей передачей. Исходя из этого в общей схеме ведущего моста предусматривается наличие колесных редукторов, за счет которых момент, передаваемый через дифференциал, значительно снижен.

Рассчитав существующее передаточное число реального автомобиля КамАЗ и сравнив его с выражением передаточного числа через трансмиссии, выражением через значение передаточного числа проектируемого дифференциала, находим передаточное число колесных редукторов.

Для дальнейших расчетов возьмем максимальные передаточные числа автомобиля КамАЗ, а именно передаточное число передачи заднего хода U = 7,38, передаточное число раздаточной коробки на пониженной передаче U = l,692, передаточное число главной передачи U = 6,97.

Тогда передаточное число рассчитываем по формуле:

$$U_{тр} = U_{з/х} U_{р/k} U_{д/п}, \quad (5)$$

Для проектируемого дифференциала автомобиля КамАЗ передаточное число трансмиссии рассчитывается по формуле:

$$U_{тр} = U_{з/х} U_{р/k} U_{д} U_{к/р}, \quad (6)$$

Выразим из формулы передаточное число колесного редуктора и подставив значения получим U = 12,7.

Расчет фрикционной передачи следует производить исходя из значения окружной силы F, возникающей на фрикционных элементах по касательной к поверхности трения, при этом получим выражение:

$$F_t = \frac{M_{сат}}{R_{сат}}, \quad (7)$$

Расчеты показывают, что величина окружной силы равна значению 3126.

Так как фрикционная передача проектируемого дифференциала относится к лобовым передачам, то для определения диаметра фрикционного сателлита воспользуемся формулой Герца:

$$D_{сат} = \frac{26,5}{[\sigma]} \sqrt{\frac{\beta E M_{сат}}{\mu l}}, \quad (8)$$

Значения исходных параметров приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные значения исходных параметров

Обозначение	Числовое значение	Размерность
[σ]	700	МПа
β	1,5	-
E	$2,15\ 10^5$	Па
$M_{сат}$	162	Н м
μ	0,3	-
l	25	м

Для передачи необходимая величина диаметра фрикционного сателлита должна быть больше или равна 76 мм. Проведенный дальнейший расчет в среде Simulink показал, что полученное значение меньше реального в проектируемом механизме, следовательно, проектируемый механизм способен передать крутящий момент с необходимым запасом надежности. Следовательно, произведенный расчет определил значение геометрических размеров дифференциала, предполагаемого к установке на автомобиль КамАЗ.

Фрикционная передача, используемая в дифференциале, позволяет передавать крутящий

момент с необходимым запасом по величине.

Вариаторы, включенные в схему дифференциала, позволяют изменять передаточные числа ветвей мощности, подводящих крутящие моменты к ведущим колесам, за счет чего достигается пропорциональность связи величины подводимого к колесу момента и момента сопротивления, возникающего на нем. Кроме того, происходит коррекция передаточного числа трансмиссии, исключающая скачкообразные изменения передаваемого момента.

Проектируемый дифференциал является повышающей передачей, что в сочетании с колесными редукторами позволяет снизить, передаваемый через дифференциал, вращающий момент, тем самым разгружаются и уменьшаются относительные линейные размеры. Проектируемый дифференциал соизмерим по своим габаритам с применяемым агрегатом [11].

Фрикционная передача, используемая в дифференциале, позволяет передавать крутящий момент с необходимым запасом по величине.

Предлагаемая конструкция дифференциала, рассчитанная в среде Simulink, позволяет обеспечить чистое качение ведущих колес при повороте, и по неровностям дороги, исключая раздельное буксование колес. При этом обеспечивается оптимальный характер связи между ведущими колесами, позволяющий максимально использовать сцепление колес с дорогой, что ведет к повышению проходимости при сохранении других положительных эксплуатационных свойств АТТ [12].

Заключение. Таким образом, в ходе исследования решена актуальная инженерная задача, заключающаяся в разработке межколесного дифференциала с изменяющимся передаточным числом, обеспечивающим оптимальный характер связи между ведущими колесами и позволяющим повысить проходимость автомобиля многоцелевого назначения, при сохранении других положительных эксплуатационных свойств за счет полного использования сцепления колес с дорогой.

Задача была решена с использованием в среды Simulink, путем установки двух вариаторов, что позволяет разделить поток мощности, подводимый к дифференциалу, с возможностью отслеживания моментов сцепления колес с дорогой путем изменения внутренних передаточных чисел цепочек мощности, подводимых к правому и левому колесам, независимо друг от друга.

Проектируемая конструкция дифференциала позволит значительно повысить проходимость АТТ за счет полного использования сцепления колес особенно с мокрым грунтовым покрытием, что увеличит эффективность ее применения в полевых условиях или на бездорожье и повысит КПД техники. Все перечисленное позволит в конечном итоге существенно снизить расходы на топливо до 10%.

Список источников

1. Осепугов В. В., Фрумкин А. К. Автомобиль: Анализ конструкции, элементы расчета: Учебник М.: Машиностроение, 1989. 304 с.

2. Андреев А. Ф., Лефонов А. Х. Дифференциалы колесных машин. М.: Машиностроение, 1987.
176 с.

3. Ефимов А.В. Влияние дифференциала с ограниченным передаточным отношением на КПД буксования колесной машины. 2002. 178 с.

4. Андреев А. Ф., Лефаров А. Х. Исследование блокирующихся дифференциалов с дисковыми муфтами трения «Автомобильная промышленность», 1969, №10. 52 с.

5. Коротоногина Н.И., Шукшин С.А. Влияние конструкций шин и самоблокирующихся дифференциалов на проходимость автомобиля Урал-375 «Автомобильная промышленность», 1968, №7.
51 с.

6. Каверина И.В. Выбор и обоснование конструктивных параметров межколесного самоблокирующегося дифференциала легкового автомобиля. 2008. 211 с.

7. Балабин И. Я. Вязкостная муфта в трансмиссии легкового автомобиля «Автомобильная промышленность», 1963, №2. 52 с.

8. Агеев В. Б. Трансмиссии полноприводного автомобиля «За рулем», 1997, №7. 188 с.

9. ГОСТ 37.001.432-86. Дифференциалы автомобилей. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов. 48 с.

10. Горшков Ю.Г. Повышение эффективности функционирования системы "дифференциал-пневматический колесный движитель - несущая поверхность" мобильных машин сельскохозяйственного назначения. 1999. 373 с.

11. Дунаева А.В., Родионов Д..Ю., Скоморохова А.И, Ломовских А.Е. К обоснованию параметров управления технической эксплуатацией МТП АПК. Журнал «Инновационная техника и технология». 2021. Т.8. № 4. С. 42–46.

12. Бакмутов С. В. К вопросу о выборе коэффициента блокировки межколесного дифференциала легкового автомобиля «Автомобильная промышленность», 1979, №10. 54 с.

References

1. Osepugov V. V., Frumkin A. K. Automobile: Design analysis, calculation elements: Textbook M.: Mechanical Engineering, 1989. 304 p.

2. Andreev A. F., Lefonov A. X. Differentials of wheeled vehicles. Moscow: Mashinostroenie, 1987. 176 p.

3. Efimov A.V. The influence of a differential with a limited gear ratio on the efficiency of a wheeled vehicle slipping. 2002. 178 p.

4. Andreev A. F., Lefarov A. X. Study of locking differentials with friction disc clutches "Automotive industry", 1969, No. 10. 52 p.

5. Korotonogina N.I., Shukshin S.A. The influence of tire designs and self-locking differentials on the passability of the Ural-375 Automobile Industry, 1968, No. 7. 51 p.

6. Kaverina I.V. Selection and justification of the design parameters of an inter-wheeled self-locking differential of a passenger car. 2008. 211 p.

7. Balabin I. Ya. Viscous coupling in the transmission of a passenger car "Automotive industry", 1963, No. 2. 52 p.

8. Ageev V. B. Transmissions of an all-wheel drive car "Behind the wheel", 1997, No. 7. 188 p.

9. GOST 37.001.432-86. Differentials of cars. Terms and definitions. Moscow: Publishing House of Standards. 48 p.

10. Gorshkov Yu.G. Improving the efficiency of the system "differential-pneumatic wheel mover - bearing surface" of mobile agricultural machines. 1999. 373 p.

11. Dunaeva A.V., Rodionov D.Yu., Skomorokhova A.I., Lomovskikh A.E. To substantiate the parameters of the management of technical operation of the MTP agro-industrial complex. The magazine "Innovative engineering and technology". 2021. Vol.8. No. 4. pp. 42-46.

12. Bakmutov S. V. On the issue of choosing the locking coefficient of the inter-wheel differential of a passenger car "Automotive industry", 1979, No. 10. 54 p.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; С.И. Данилин – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; А.Е. Ломовских - кандидат технических наук, доцент; В.И. Черноиванов – доцент; И.В. Денисов – курсант.

Information about the authors

Y. Rodionov - Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Danilin - Candidate of Agricultural Sciences, Professor; A. Lomovskikh - candidate of technical sciences, associate professor; V. Chernoivanov - Associate Professor; I. Denisov - cadet.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 21.12.2023 Принята к публикации (Accepted): 05.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 664.8.03
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-55-65

ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОРОШКОВ И ЭКСТРАКТОВ ИЗ ОВОЩЕЙ, ПЛОДОВ И ЯГОД ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Юрий Викторович Родионов [1], Дмитрий Вячеславович Никитин [2], Ольга Александровна Зорина [3], Владимир Александрович Кольцов [4], Григорий Вячеславович Рыбин[5], Анастасия Игоревна Скоморохова[6]

[1,2,3,5,6]*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,2,4]*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[2]vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[3]zorina.olya90@gmail.com
[5]enot1237@gmail.com
[6]nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X
[4] Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, *г. Мичуринск, Россия*
[4]kolcov.mich@mail.ru, https://orcid.org/0000 -0002-2841-6126

Автор ответственный за переписку: Юрий Викторович Родионов, rodionow.u.w@rambler.ru
Corresponding author Yuri Rodionov, rodionow.u.w@rambler.ru

Реферат. *Разработка технологий и оборудования для получения продуктов питания с добавлением биологически активных веществ функционального назначения из овощей, плодов, ягод в виде порошков и экстрактов перспективна Технологии растительной переработки сырья: очистки, нарезки, сушки, измельчения, экстрагирования проанализированы. Приведена схема технологической линии переработки для получения растительных порошков и экстрактов, предусматривающая использование отходов производства в качестве корма животным. Выявлено, что готовый продукт в виде сушеного материала (чипсов) может быть получен на этапе сушки, а оставшийся дистиллят собирается после экстрагирования. В качестве примера результатов, полученных опытным путем, рассматриваются кривая сушки капусты цветной «Франсуаза» и кривые экстрагирования клубники «Морошко». Экспериментальные исследования процесса сушки выполнялись на разработанной двухступенчатой конвективной вакуумно-импульсной сушильной установке, состоящей из конвективной сушилки с псевдоожиженным слоем и вакуумного шкафа. Универсальная вакуумно-импульсная экстракционно-выпарная установка разработана для изучения экстрагирования. Проведено сравнение различных вариантов экстрагирования: настаивание, нагрев, нагрев с помешиванием и экстрагирование с применением вакуума. Установлено, что наибольший выход сухих растворимых веществ дает вакуумное экстрагирование. Основным элементом описанных установок является жидкостнокольцевой вакуум-насос. В зависимости от требуемой величины вакуума он может быть одноступенчатым и двухступенчатым. Его применение обеспечивает щадящие температурные режимы, исключающие потерю биологически активных веществ, а также способствует сокращению затрат времени на процессы.*

Ключевые слова: *растительный материал, комплексная переработка, порошки, экстракты, вакуумные технологии.*

VACUUM TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF POWDERS AND EXTRACTS FROM VEGETABLES, FRUIT AND BERRIES FOR FUNCTIONAL FOOD

Yuri Rodionov[1], Dmitry Nikitin [2], Olga Zorina [3], Vladimir Koltsov [4], Grigory Rybin [5], Anastasia Skomorokhova[6]

[1]*Tambov state technical university, Tambov, Russia*
[1,2]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0001-9601-9555
[2]vacuum2008@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5885-2300
[3]zorina.olya90@gmail.com
[5]enot1237@gmail.com
[6]nasta373@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5330-330X
[4] *Federal Scientific Center named after I.V. Michurin, Michurinsk, Russia*
[4]kolcov.mich@mail.ru, https://orcid.org/0000 -0002-2841-6126

Abstract. *The development of technologies and equipment for obtaining food products with the addition of functional biologically active substances from vegetables, fruits, berries in the form of powders and extracts is promising. The technologies of vegetable processing of raw materials: cleaning, cutting, drying, grinding, extraction are analyzed. The scheme of the technological processing line for the production of plant powders and extracts is given, which provides for the use of production waste as animal feed. It was revealed that the finished product in the form of dried material (chips) can be obtained at the drying stage, and the remaining distillate is collected after extraction. As an example of the results obtained empirically, the drying curve of the cauliflower "Françoise" and the curves of the extraction of strawberries "Moroshko" are considered. Experimental studies of the drying process were carried out on the developed two-stage convective vacuum impulse drying plant, consisting of a convective fluidized bed dryer and a vacuum cabinet. The universal vacuum-pulse extraction-evaporator is designed for the study of extraction. A comparison of different extraction options was carried out: infusion, heating, heating with stirring and extraction using vacuum. It has been established that vacuum extraction gives the highest yield of dry soluble substances. The main element of the described installations is a liquid ring vacuum pump. Depending on the required vacuum value, it can be single-stage or two-stage. Its use provides sparing temperature conditions, excluding the loss of biologically active substances, and also helps to reduce the time spent on processes.*

Keywords: *plant material, complex processing, powders, extracts, vacuum technologies.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Зорина О.А., Кольцов В.А., Рыбин Г.В., Скоморохова А.И. Вакуумные технологии производства порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод для функциональных продуктов питания // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 61, № 1. С. 55-65. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-55-65.

For citation: Rodionov Y., Nikitin D., Zorina O., Koltsov V., Rybin G., Skomorokhova A. Vacuum technologies for the production of powders and extracts from vegetables, fruit and berries for functional food. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 55-65. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-55-65.

Введение. Хорошее здоровье, правильное развитие организма и трудоспособность человека во многом определяются качеством его ежедневного рациона питания и степенью функциональности употребляемых в пищу продуктов [1, 2]. Улучшения ежедневного рациона можно добиться, работая в следующих направлениях:

- повышение качества продуктов питания;
- внедрение новых комплексных подходов к переработке сырья, позволяющих сохранять максимально возможное количество биологически активных веществ (БАВ) на каждом из этапов производства;
- разработка комбинированных функциональных продуктов питания лечебно-профилактического назначения.

Для успешного решения поставленной задачи целесообразно использовать местное растительное сырье и активно внедрять инженерные разработки нового оборудования и технологических линий, учитывающих специфику процессов переработки исходного сырья и использующих в своей основе вакуум. Интерес к применению вакуумных технологий обусловлен

возможностью реализации различных процессов при щадящих температурных режимах, что значительно повышает качество готового продукта [3, 4].

В качестве местного сырья, произрастающего на территориях Центрального Черноземья, могут быть использованы: чеснок сорта «Юбилейный», тыква сорта «Мичуринская», топинамбур сорта «Интерес», яблоки «Жигулевские» и некоторые другие растительные материалы, обладающие богатым витаминно-минеральным составом.

Основными этапами переработки растительного сырья с целью получения натуральных биологически активных добавок (БАД) являются: сушка, экстрагирование и измельчение. Для их реализации спроектировано оборудование и разработаны технологические линии двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки (ДКВИС), вакуумного экстрагирования и двухступенчатого измельчения с применением вакуумной транспортной системы [5-7]. Создание вакуума в данных технологических процессах осуществляется жидкостнокольцевыми вакуум-насосами (ЖВН) различных модификаций и типоразмеров [8-9].

БАД, полученные из растительного сырья, в виде порошков и экстрактов могут использоваться при создании хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий или в производстве различных напитков.

Цель статьи.

Провести анализ этапов получения растительных порошков и экстрактов с высоким содержанием БАВ и изучить влияние вакуумных технологий на протекание процессов переработки при производстве функциональных продуктов питания.

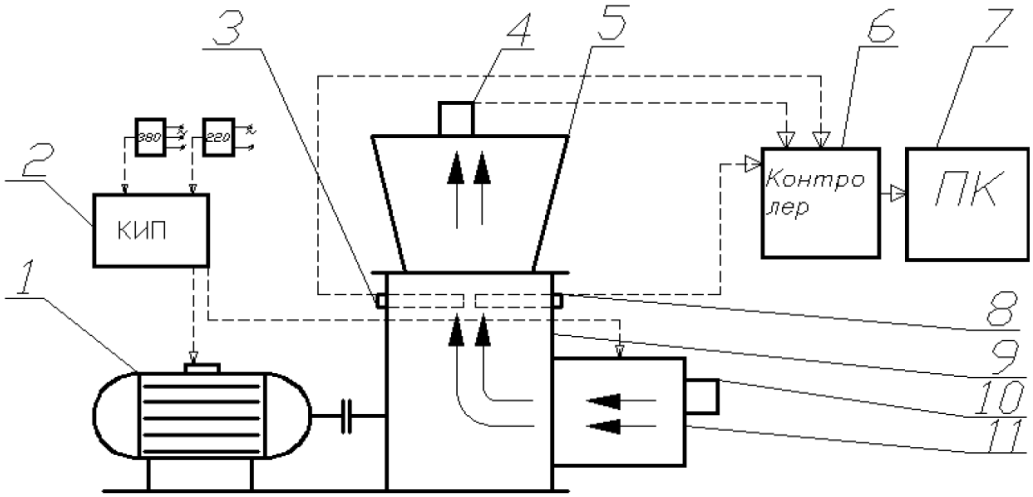
Материалы и методы.

Проблемами сушки, экстрагирования, комплексной переработки растительного сырья занимались и занимаются в настоящее время Казуб В.Т., Лыков А.В., Емельянов А.А., Рудобашта С.П., Курочкин А.А., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Перфилова О.В., Гуськов А.А., Зорин А.С. и другие отечественные ученые. [10-21]. Получение определенных биологически активных веществ сопровождается задачей разделения веществ и извлечения требуемых компонентов, поэтому интерес представляет изучение мембранных процессов [22, 23].

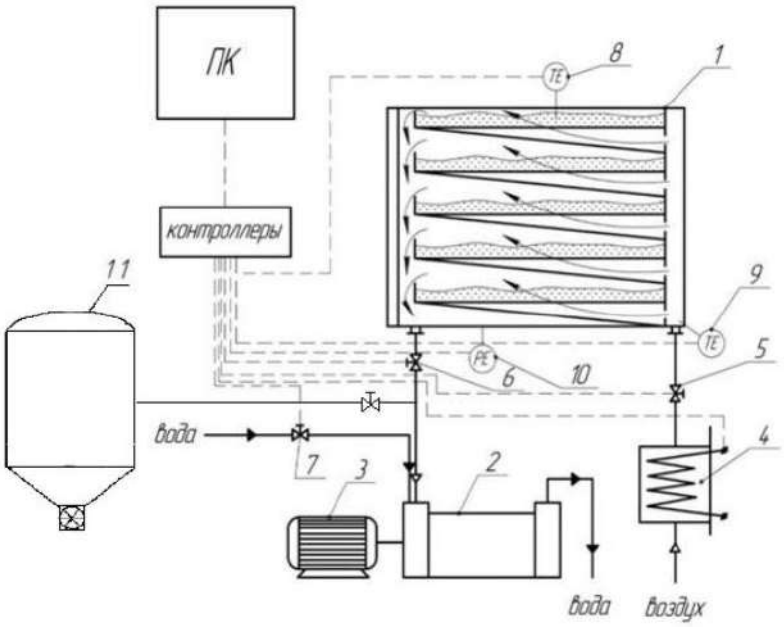
Растительное сырье относится к коллоидным капиллярно-пористым телам. Процесс сушки подобных материалов сопровождается значительной усадкой, величина которой имеет большое значение при анализе кривой сушки. Эластичные стенки капилляров при увлажнении увеличиваются, а при сушке уменьшаются. В этом случае подвод влаги к поверхности облегчается, т.к. капилляры становятся коническими, обращенными узкими концами к поверхности тела. Если обеспечить низкие температуру теплоносителя и скорость движения воздуха при его достаточной влажности, многие растительные материалы будут иметь два периода сушки. Однако, есть растительные тела, не имеющие первого периода (ягоды, очиток, определенные сорта яблок, хлеб и др.). Весь процесс сушки происходит в периоде падающей скорости при увеличивающейся температуре материала. Величина температуры растет пока не достигает значения температуры теплоносителя, отличаясь на 1-2 градуса. Для этих растительных материалов интенсивность диффузии гораздо меньше интенсивности влагообмена.

Стоит отметить, что на протекание процесса сушки влияют не только режимные параметры и вид материала, но и начальная влажность высушиваемого продукта, степень и форма его нарезки. Также перед высушиванием следует проводить изучение клеточного строения сырья, в частности наружной оболочки.

Для проведения экспериментальных исследований используем двухступенчатую конвективную вакуумно-импульсную сушильную установку, состоящую из конвективной сушилки с псевдоожиженным слоем первой ступени (рисунок 1) и вакуумного шкафа второй ступени (рисунок 2) [24].



1 – электродвигатель; 2 – приборы для контроля и измерений; 3 – температурный датчик; 4 – гигрометр;
5 – корпус; 6 – контроллер; 7 – персональный компьютер; 8 – датчик скорости потока воздуха; 9 – вентилятор; 10 – впускающий патрубок; 11 – нагревательный элемент с указанием стрелками направление потока воздуха
Рисунок 1 – Схема конвективной сушилки со взвешенным слоем (первая ступень ДКВИС)

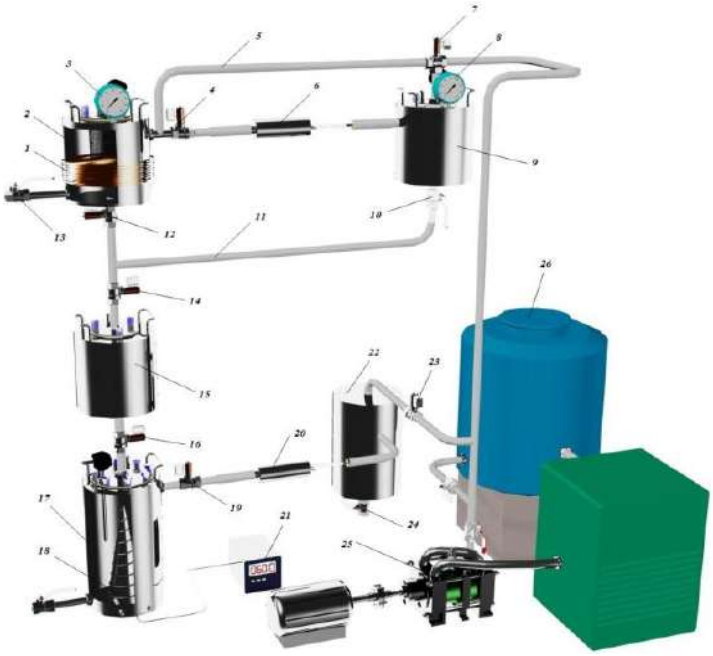


1 – сушильный шкаф; 2 – двухступенчатый ЖВН; 3 – асинхронный электродвигатель; 4 – ТЭНы; 5,6,7 – клапаны для регулировки стадий сушки; 8,9 – термопары; 10 – вакуумметр; 11 – емкость для создания сухих импульсов
Рисунок 2 – Схема вакуумной сушилки (вторая ступень ДКВИС)

В ходе экспериментальных исследований ДКВИС сравнивается с высушиванием растительного сырья в конвективной сушилке «Ветерок» (рисунок 3).

Рисунок 3 – Конвективная сушилка «Ветерок»

После высушивания растительный материал экстрагируется. Процесс экстрагирования характеризуется разностью концентраций. Накопление извлекаемого вещества в основной массе жидкости (экстрагенте) зависит от отдачи вещества пористыми телами. Интенсификация данного процесса достигается путем рециркуляции и вакуумирования, в том числе импульсным воздействием на экстракционной установке, представленной на рисунке 4 [25].



1 – нагреватель ленточный; 2 – экстрактор; 3, 8 – вакуумметр; 4, 7, 10, 12, 13, 14, 16, 19, 23, 24 – клапан; 5, 11 – паропровод; 6, 20 – дистиллятор; 9, 22 – ёмкость сбора дистиллята; 15 – ёмкость подачи раствора для упаривания; 17 –выпариватель; 18 – нагреватель конусообразный; 21 – ПИД-регулятор; 25 – ЖВН; 26 – конденсатор

Рисунок 4 – Универсальная вакуумно-импульсная экстракционно-выпарная установка

Данная установка позволяет подвергать экстрагируемое сырье многократному импульсному воздействию в экстракторе. Для этого двухступенчатым ЖВН [26] осуществляется создание и сброс вакуума. Предварительно сырье заливается подогретым экстрагентом (дистиллированной водой). Температура раствора поддерживается на уровне 54-56°С ленточным нагревателем. Образующийся в процессе экстрагирования дистиллят подается обратно в экстрактор. Дальнейшее вакуумное упаривание (концентрирование) можно осуществлять в предусмотренной конструкцией установки ёмкости-выпаривателе, имеющей конусообразный нагреватель.

Процесс экстрагирования на разработанной установке сравнивается с настаиванием при температуре 20-22°С в стеклянной колбе, подогревом при температуре 52-54°С и подогревом с помешиванием раствора [27].

Результаты и их обсуждение.

На основании проведенных исследований процесса сушки, наиболее эффективной является ДВКИС. Для получения экстрактов целесообразно применять универсальную экстрактно-выпарную установку.

В качестве растительных материалов для проведения экспериментальных исследований по сушке и экстрагированию рассматривалось следующее сырье: тыква «Мичуринская», яблоки «Жигулевские», жимолость «Голубое веретено», лук «Паредо», перец «Ласточка», топинамбур «Интерес», морковь «Шантанэ 2461», чеснок «Юбилейный грибовский» и другие растительные материалы, произрастающие в Центральном Черноземье. В качестве примера рассмотрим кинетическую кривую ДКВИС капусты цветной «Франсуаза», представленную на рисунке 5.

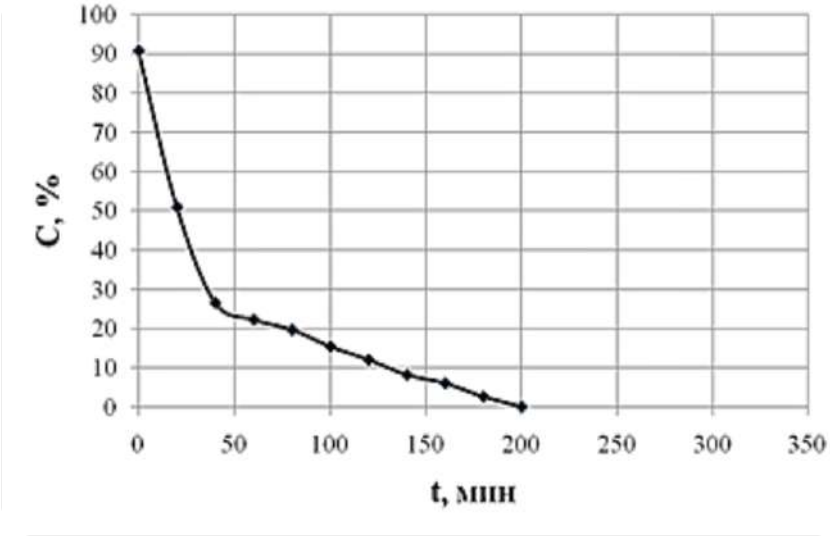


Рисунок 5 – Кривая сушки капусты цветной «Франсуаза»

Температура и скорость теплоносителя в первом периоде сушки составляли 58°С и 2,5 м/с, соответственно, во втором периоде их значения были 56°С и 2,5 м/с. Из кривой сушки видно, что конец первого периода наступит через 60 минут с начала сушки. В этот момент происходит резкое повышение температуры внутри материала. Влагосодержание конца первого периода составляет 22%. Влагосодержание конца второго периода составляет 2%. Продолжительность ДКВИС при указанных режимных параметрах составляет 200 минут. Высушивание растительного материала во втором периоде на конвективной сушилке «Ветерок» увеличивает длительность процесса в 2 раза [28].

На рисунке 6 показаны кривые экстрагирования клубники «Морошко»

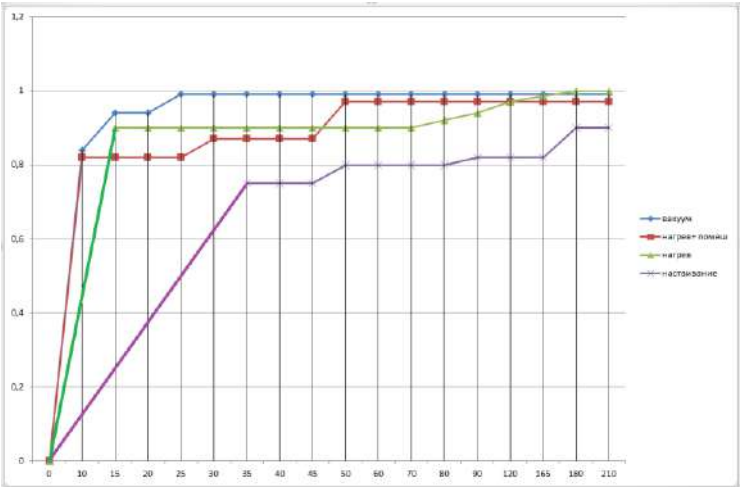
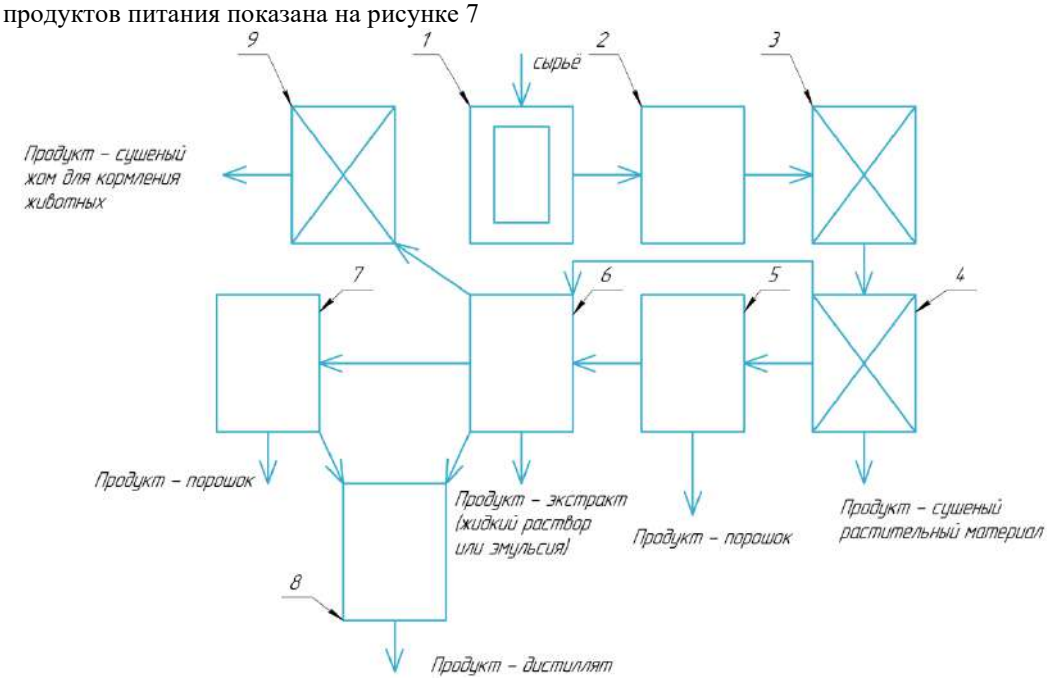


Рисунок 6 – Экстрагирование клубники «Морошко»

По вертикали показана массовая доля сухих растворимых веществ в растворе в зависимости от времени экстрагирования. Как видно из графиков, наиболее высокий выход сухих растворимых веществ в экстракт при гидромодуле 1:50 дает экстрагирование с использованием вакуума, а сам процесс занимает 25 минут. Самым длительным является экстрагирование настаиванием, которое проводилось в течение 210 минут до массовой доли сухих растворимых веществ 0,9. Нагрев и нагрев с помешиванием дают больший выход сухих растворимых веществ, однако процесс занимает 180 и 50 минут, соответственно.

Схема производства растительных порошков и экстрактов для создания функциональных продуктов питания показана на рисунке 7



1 – моечная машина; 2 – машина для нарезки сырья; 3 – конвективная сушилка; 4 – вакуум-импульсная сушилка; 5 – вакуумный измельчитель; 6 – емкость для экстрагирования и первичного выпаривания; 7 – емкость для вторичного выпаривания; 8 – емкость для сбора дистиллята; 9 – сушилка для экстрагированного жома

Рисунок 7 – Схема технологической линии получения растительных порошков и экстрактов

На первом этапе переработки необходимо тщательно промыть овощи, плоды и ягоды в моечной машине 1, при необходимости очистить от ботвы, кожуры, косточек и т.п. Затем растительное сырье нарезается определенным образом в машине для нарезки 2. Важно отметить, что способ нарезки оказывает влияние на скорость и качество протекания процесса сушки. Высушивание сырья осуществляется на двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушилке, состоящей из конвективной сушилки 3 и вакуум-импульсной сушилки 4. Первая ступень может быть выполнена в виде лотковой сушилки, ленточного конвейера или сушки во взвешенном слое. Для интенсификации процесса и повышения его энергоэффективности в сушильной установке применяются тепловые аккумуляторы. Высушенный материал может использоваться как продукт, готовый к употреблению в виде чипсов, или отправляется на следующую ступень переработки – вакуумное экстрагирование. Предварительно материал можно дополнительно измельчить при помощи вакуумного измельчителя 5, позволяющего получать порошки тонкого и сверхтонкого помола. Высушенный или измельченный сушеный материал подвергается экстрагированию и первичному выпариваю в емкости 6. Концентрацию полученного экстракта можно повысить с помощью емкости для вторичного выпаривания 7. В линии предусмотрена емкость для сбора дистиллята 8, который также содержит некоторое количество БАВ. Полученный в результате экстрагирования жом можно высушить в сушилке 9 и использовать в качестве корма для животных.

Заключение.

Предложенная технологическая линия получения растительных порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод предполагает организацию комплексной переработки сельскохозяйственного сырья с минимизацией отходов производства. Применение вакуумных технологий в линии делает возможным поддержание низких температур, исключающих денатурацию важных компонентов, содержащихся в исходном сырье. Кроме того, разрабатываемое оборудование для процессов переработки позволяет сократить затраты энергии и интенсифицировать производство натуральных биологически активных добавок функционального назначения для создания продуктов питания лечебно-профилактического назначения.

Список источников

1. Терлецкая В.А., Рубанка Е.В., Зинченко И.Н. Влияние технологических факторов на процесс экстракции плодов рябины черноплодной // Техника и технология пищевых производства. 2013. №4. С.127-131.

2. Научные основы здорового питания / В.А. Тутельян [и др.]. М.: Издательский дом «Панорама», 2010. 816 с.

3. Технологическая линия по производству экстрактов из растительного сырья / А.А. Гуськов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 2. С. 82-85.

4. Родионов Ю.В., Попова И.В., Шацкий Д.А. Сравнительный анализ эффективности сублимационной и двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки // Труды международного технического семинара: к 100-летию А.В. Лыкова. Воронеж, 2010. С. 160-167.

5. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № 3 (41). С. 371-376.

6. Технология переработки пастернака, тыквы и яблок в порошки для функционального питания / Ю.В. Родионов [и др.] // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 3 (35). С. 214-220.

7. Гуськов А.А., Анохин С.А., Родионов Ю.В. Получение экстрактов из растительного сырья с помощью вакуумно-импульсных технологий // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: матер. I всерос. конф. с межд. участием / под общ. ред. Ю. В. Родионова. ФГБОУ ВО «ТГТУ». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. С. 439-443.

8. Design of liquid-ring vacuum pump with adjustable degree of internal compression / Y.V. Rodionov // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Т. 57. № 5-6. С. 477-483.

9.Novel construction of liquid ring vacuum pumps / Y.V. Rodionov [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Т. 55. № 5-6. С. 473-479.

10. Лыков А. В. Теория сушки. М.: Энергия. 1968. 472 с.

11. Рудобашта С. П. Теплотехника. 2-е изд., доп. М.: Перо. 2015. 672 с.

12. Казуб В. Т. Экстрагирование биологически активных соединений с применением электрических разрядов в жидкости. Монография. Изд. ВолгГМУ Минздрава России, 2013. 300 с.

13. Родионов Ю.В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК: дис. ... доктора технических наук: 05.20.01. Тамбов, 2013. 434 с.

14. Перфилова О.В. Применение свч-, ик-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 144-148.

15. Попова И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. Мичуринск, 2009. 161 с.

16. Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. Тамбов, 2019. 156 с.

17. Иванова Е.П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения: дис. … канд. с.-х. наук: 05.18.01. Мичуринск, 2016. 152 с.

18. Никитин, Д.В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов: дис. … канд. техн. наук: 05.02.13: утв. 11.03.2011. Тамбов, 2010. 158 с.

19. Исследование процесса сушки топинамбура / Э.С. Иванова [и др.] // Наука в центральной России. 2019. № 2 (38). С. 77-85.

20. Универсальная экстрактно-выпарная установка растительного сырья / Гуськов А. А. [и др.] // Наука в центральной России. 2017. № 2 (26). С. 32-41.

21. Емельянов А.А., Долженков В.В., Емельянов К.А. Установка для концентрирования и сушки жидких пищевых продуктов в вакууме // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 2009. № 4 (310). С. 84-87.

22. Лазарев С.И., Левин А.А., Шестаков К.В. Разработка методики исследования электросорбционной способности полупроницаемых мембран // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 6. С. 97-100.

23. Дифрактометрическое исследование пористости ацетатцеллюлозной мембраны МГА-95 / С.И. Лазарев [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 3. С. 333-340.

24. Отработка технологии двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки моркови сорта "Шантанэ 2461", перца сорта "Ласточка", чеснока сорта "юбилейный Грибовский" / А. А. Завьялов [и др.] // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 4. С. 265.

25. Универсальная вакуумная экстрактно-выпарная установка: пат. 2738938 C1 РФ, B01D 11/02, B01D 1/22 / Анохин С.А., Никитина Д.В., Родионов Ю.В., Гуськов А.А., Елизаров И.А., Назаров В.Н.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. ГТУ». № 2019143887; заявл. 23.12.2019; опубл. 18.12.2020.

26. Двухступенчатая жидкостно-кольцевая машина: пат. № 2551449 РФ, МПК F04C7/00, F04C19/00 / Гуськов А.А., Никитин Д.В., Платицин П.С., Родионов Ю.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. ГТУ». № 2014127083/06; заявл. 02.07.2014; опубл. 27.05.2015.

27. Исследование и выбор режимных параметров экстрагирования биологически активных веществ из тыквы сорта «Мичуринская» / С.П. Рудобашта [и др.] // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: материалы Междунар. науч.-техн. семинара, посвящ. 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. М., 2018. С. 189-195.

28. Инновационные конструкции и технологии сушки плодоовощной продукции / Э.С. Иванова [и др.] // Наука в центральной России. 2021. № 1 (49). С. 43-53.

References

1. Terletskaya V.A., Rubanka E.V., Zinchenko I.N. Influence of technological factors on the process of extraction of chokeberry fruits. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstva*. 2013;4:127-131. (In Russ.).

2. Tutelyan V.A. et al. Scientific foundations of healthy nutrition. Moscow: Publishing house "Panorama"; 2010. 816 p. (In Russ.).

3. Guskov A.A. et al. Technological line for the production of extracts from vegetable raw materials. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2019;2:82-85. (In Russ.).

4. Rodionov Yu.V., Popova I.V., Shatsky D.A. Comparative analysis of the efficiency of sublimation and two-stage convective vacuum pulse drying. *Trudy mezhdunarodnogo tehnicheskogo seminara: k 100-letiju A.V. Lykova*. Voronezh. 2010:160-167. (In Russ.).

5. Skripnikov Yu.G. et al. Innovative technologies for drying vegetable raw materials. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*. 2012;3(41):371-376. (In Russ.).

6. Rodionov Yu.V. et al. Technology of processing parsnips, pumpkins and apples into powders for functional nutrition. *Problemy razvitija APK regiona*. 2018;3(35):214-220. (In Russ.).

7. Guskov A.A., Anokhin S.A., Rodionov Yu.V. Obtaining extracts from plant materials using vacuum-pulse technologies. *Importozameshhajushhie tehnologii i oborudovanie dlja glubokoj kompleksnoj pererabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja: mater. I vseros. konf. s mezhd. uchastiem / pod obshh. red. Ju. V. Rodionova. FGBOU VO «TGTU».* Tambov: Publishing Center FSBEI HE «TSTU». 2019:439-443. (In Russ.).

8. Rodionov Y.V. [et al.] Design of liquid-ring vacuum pump with adjustable degree of internal compression. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2021;57(5-6):477-483.

9. Rodionov Y.V. [et al.] Novel construction of liquid ring vacuum pumps. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2019; 55(5-6):473-479.

10. Lykov A. V. Drying theory. Moscow: Jenergija. 1968. 472 p. (In Russ.).

11. Rudobashta S.P. Heat engineering. Moscow: Pero. 2015. 672 p. (In Russ.).

12. Kazub VT Extraction of biologically active compounds using electrical discharges in liquids. Monograph. *Izd. VolgGMU Minzdrava Rossii*, 2013. 300 p. (In Russ.).

13. Rodionov Yu.V. Improvement of theoretical calculation methods and substantiation of parameters and modes of liquid ring vacuum pumps, taking into account the features of technological processes in the agro-industrial complex: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.20.01. Tambov, 2013. 434 p. (In Russ.).

14. Perfilova O.V. The use of microwave, IR heating in the technology of obtaining carrot pomace powder. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij*. 2019;81;1(79);144-148. (In Russ.).

15. Popova IV Improving the technology and means of drying vegetable raw materials: dis. … Cand. of Tech. Sciences: 05.20.01. Michurinsk, 2009. 161 p. (In Russ.).

16. Zorin A.S. Improving the technology and technical means of combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips: dis. … Cand. of Tech. Sciences: 05.20.01. Tambov, 2019. 156 p. (In Russ.).

17. Ivanova E.P. Development of technology for the preparation of dry sourdough based on vegetable raw materials for the production of functional bakery products: dis. … Cand. of Agricultural Sciences: 05.18.01. Michurinsk, 2016. 152 p. (In Russ.).

18. Nikitin, D.V. Improving designs and ensuring the specified operational characteristics of liquid ring vacuum pumps: dis. … Cand. of Tech. Sciences: 05.02.13: approved. 03/11/2011. Tambov, 2010. 158 p. (In Russ.).

19. Ivanova E.S. et al. Study of the drying process of Jerusalem artichoke. *Nauka v central'noj Rossii*. 2019;2(38):77-85. (In Russ.).

20. Guskov A. A. et al. Universal extract-evaporator plant of vegetable raw materials. *Nauka v central'noj Rossii*. 2017;2(26):32-41. (In Russ.).

21. Emelyanov A.A., Dolzhenkov V.V., Emelyanov K.A. Vacuum Concentration and Drying Plant for Liquid Food Products. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija*. 2009;4(310):84-87. (In Russ.).

22. Lazarev S.I., Levin A.A., Shestakov K.V. Development of a technique for studying the electrosorption capacity of semipermeable membranes. *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta*. 2018;21;6:97-100. (In Russ.).

23. Lazarev S.I. et al. Diffraction research of porosity of cellulose acetate membrane MGA-95. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*. 2016;16;3:333-340. (In Russ.).

24. Zavyalov A. A. et al. Development of the technology of two-stage convective vacuum-impulse drying of carrots of the "Shantane 2461" variety, pepper of the "Lastochka" variety, garlic of the "Jubilee Gribovsky" variety. *Nauka i Obrazovanie*. 2020;3;4:265. (In Russ.).

25. Universal vacuum extractive evaporator: pat. 2738938 C1 RU, B01D 11/02, B01D 1/22 / Anokhin S.A. et al.: applicant and patent holder «Tamb. STU». No. 2019143887; zajavl. 23.12.2019; opubl. 18.12.2020. (In Russ.).

26. Two-stage liquid ring machine:: pat. 2551449 RU, MPK F04C7/00, F04C19/00 / Guskov A.A. et al.; applicant and patent holder «Tamb. STU». No. 2014127083/06; zajavl. 02.07.2014; opubl. 27.05.2015. (In Russ.).

27. Rudobashta S.P. et al. Research and selection of regime parameters for the extraction of biologically active substances from pumpkin varieties "Michurinskaya". Sushka, hranenie i pererabotka produkcii rastenievodstva: materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. seminara, posvjashh. 175-letiju so dnja rozhdenija K.A. Timirjazeva. Moscow, 2018:189-195 (In Russ.).

28. Ivanova E.S. et al. Innovative designs and technologies for drying fruits and vegetables. *Nauka v central'noj Rossii*. 2021;1(49):43-53. (In Russ.).

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; Д.В. Никитин – кандидат технических наук, доцент; О.А. Зорина - аспирант; В.А. Кольцов – кандидат сельскохозяйственных наук; Г.В. Рыбин – магистрант, А.И. Скоморохова - аспирант.

Information about the authors

Y. Rodionov – Full Doctor of Technical Sciences, Professor; D. Nikitin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Zorina – post-graduate student; V. Koltsov – Candidate of Agricultural Sciences; G. Rybin - undergraduate; A. Skomorokhova – postgraduate studentt.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 21.12.2023 Принята к публикации (Accepted): 05.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.3.02, 691.175
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-66-76

К ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРИЦЕПОВ

Михаил Владимирович Астахов[1], Екатерина Викторовна Славкина[2], Ирина Игоревна Сорокина[3]
[1,2,3]Калужский филиал ФГБОУ ВПО "Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана", г. Калуга, Россия
[1]mvastahov@gmail.com, [2]slavkina@bmstu.ru, [3]irina.sorokina@bmstu.ru

Автор ответственный за переписку: Славкина Екатерина Викторовна, slavkina@bmstu.ru
Corresponding author: Ekaterina Slavkina, slavkina@bmstu.ru

Реферат. *Рассмотрен способ повышения надежности сельскохозяйственных прицепов путем замены стальных бортов композитными сэндвичевыми конструкциями, что позволяет снизить их массу при общем улучшении эксплуатационных характеристик. Крепление таких бортов к металлической раме платформы производится с помощью стальных опор. Выполнение погрузочно-разгрузочных операций может осуществляться опрокидыванием бокового борта вокруг нижних шарнирных опор, при раскрытии фиксаторов на двух верхних опорах. Проведенный сравнительный анализ существующих способов соединения «сталь-композит» (адгезионный, с помощью механических креплений, комбинированный, клее-штифтовой), позволил выявить их недостатки при использовании многослойной композитной конструкции, характеризующейся недостаточной прочностью внутренних слоев, прилегающих к опоре. Разработана конструкция нижней шарнирной опоры, лишенная описанных недостатков. Соединение осуществляется с помощью двух стальных проушин, содержащих профили с крепежными элементами копьеобразной формы, внедряемые в препреги обшивки на стадии изготовления композита. Стягивание проушин производится болтами, что позволяет создать надежное соединение стальных шарнирных опор и пластинки-борта, состоящей из многослойного композита. Разработана методика расчета нижней опоры, в результате чего выявлены наиболее нагруженные крепежные элементы, получено выражение для определения максимальной воздействующей силы. Предложены рекомендации по расчету на прочность наиболее нагруженного крепежного элемента по допускаемым напряжениям среза его цилиндрической части.*

Ключевые слова: *полимерный композитный материал, крепежный элемент, соединение металл-композит, разъемное шарнирное соединение.*

TO INCREASE THE RELIABILITY OF AGRICULTURAL TRAILERS

Mikhail Astakhov[1], Ekaterina Slavkina[2], Irina Sorokina[3]
[1,2,3]Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia
[1]mvastahov@gmail.com, [2]slavkina@bmstu.ru, [3]irina.sorokina@bmstu.ru

Abstract. *A method for improving the reliability of agricultural trailers by replacing steel sides with composite sandwich structures is considered, which makes it possible to reduce their weight with a general improvement in performance. The fastening of such boards to the metal frame of the platform is carried out using steel supports. Carrying out loading and unloading operations can be carried out by overturning the side board around the lower hinged supports, with the opening of the latches on the two upper supports. A comparative analysis of the existing methods of joining "steel-composite" (adhesive, with the help of mechanical fasteners, combined, glue-pin) made it possible to identify their shortcomings when using a multilayer composite structure characterized by insufficient strength of the inner layers adjacent to the support. The design of the lower hinged support, devoid of the described shortcomings,*

has been developed. The connection is carried out using two steel lugs containing profiles with spear-shaped fasteners, which are introduced into the skin prepregs at the stage of composite manufacturing. The lugs are tightened with bolts, which allows you to create a reliable connection between the steel hinged supports and the side plate, which consists of a multilayer composite. A method for calculating the lower support has been developed, as a result of which the most loaded fasteners have been identified, and an expression has been obtained to determine the maximum acting force. Recommendations are proposed for calculating the strength of the most loaded fastener according to the allowable shear stresses of its cylindrical part.

Keywords: *polymer composite material, fastener, metal-composite connection, detachable swivel joint.*

Для цитирования: Астахов М.В., Славкина Е.В., Сорокина И.И. К повышению надежности сельскохозяйственных прицепов // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 66-76. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-1-66-76.

For citation: Astakhov M., Slavkina E., Sorokina I. To increase the reliability of agricultural trailers. Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 66-76. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-66-76.

Введение. Замена более энергоемкого процесса изготовления машины менее энергоемким, который, в свою очередь, дает возможность оптимизировать технологию производства, снизить массу изделия и одновременно увеличить его надежность, является определяющей тенденцией развития современной техники.

Так, например в [1], в качестве эксперимента, была проведена замена борта прицепа ПСЕ-20, масса которого составляла 120 кг, на композитную сэндвичевую конструкцию, выполненную из стеклоткани, эпоксидной смолы, с формообразователем из полистирольного пенопласта, масса которой была в четыре раза меньше, а именно – 30 кг (рисунок 1). Прочностные характеристики борта, полученные как теоретически, так и экспериментально, допускают его использование в сельском хозяйстве, согласно техническим условиям для прицепа ПСЕ-20.

Рисунок 1 – Прицеп ПСЕ-20 с боковыми бортами из полимерного композиционного материала (ПКМ)

Применение ПКМ в агропромышленном комплексе в девяностые годы двадцатого века, когда были проведены перечисленные выше работы, не являлось первоочередным по значимости, так как стоимость стеклотканей, полимерных смол, других необходимых компонентов была значительно выше стоимости стальных деталей и узлов.

Однако, за последние 20 лет ситуация кардинально изменилась, ежегодный рост стоимости стального проката, расширение мирового рынка по производству композитного сырья в значительной мере повлияло на ценообразование [2]. Опыт, накопленный в машиностроении и других областях показал следующие преимущества применения композитов: значительное

уменьшение массы изделия, а значит и расхода топлива; отсутствие коррозии; низкие затраты на обслуживание (нет необходимости в проведении консервации, не требуют особых условий для хранения); снижение углеродного следа при производстве сырья.

Все это указывает на практическую важность и актуальность применения полимерных композиционных материалов для изготовления силовых габаритных конструкций сельскохозяйственной техники. В результате внедрения современных технологий производства деталей и узлов на основе композитов снижается общая масса машины, уменьшаются затраты на обслуживание, повышается коррозионная стойкость, и общая надежность в целом наряду с экологичностью производства и снижением углеродного следа.

Однако, несмотря на все описанные достоинства использования композитных материалов для силовых корпусных деталей техники сельскохозяйственной отрасли, они не получили массового распространения и производства, что в некоторой степени обусловлено сложностью проектирования и технологии изготовления узлов и их соединения с несущим каркасом, чаще всего, выполненных из стальных деталей.

Проектирование многослойных конструкций на основе полимерных материалов связано с разработкой соединений композитных и металлических частей конструкций. С середины 20 века изучением соединения «сталь-композит» занимались в рамках развития авиационной и аэрокосмической отраслей промышленности [3-6]. Наибольшее распространение получила технология адгезионного соединения [7], реализующаяся склеиванием связующим или специальными клеевыми препрегами. Это позволяет стыковать слои из однородных материалов без значительного увеличения массы конструкции, сохраняя равномерность распределения напряжений при нагружении, однако при этом наблюдается снижение несущей способности [8,9]. При эксплуатации клеевых соединений деталей из разнородных материалов (например, композит и металл) происходит разрушение в виде расслоения по границе склеивания при нагружении отрывающей силой [10], к чему может привести несоблюдение требований к подготовке поверхностей, условия окружающей среды при полимеризации и высыхании клея (низкая влажность, постоянный температурный режим).

Применяемые в машиностроении разъемные соединения на основе крепежа (болтов, винтов, шпилек), эффективно обеспечивают монтаж, демонтаж и легкую сборку металлических деталей, без применения специального оборудования, но не подходят для соединения композиционных и стальных изделий. Это обусловлено необходимостью сверления отверстий, приводящих к частичному удалению армирующих волокон, появлению концентраторов напряжений, провоцирующих ослабление матрицы, что снижает прочность и надежность изделия в целом [11]. Кроме того, крепежные изделия имеют значительный вес, утяжеляющий конструкцию, что минимизирует снижение веса за счет использования композитов [12].

Современные технологии формирования метало-композитного стыка основаны на принципе увеличения прочности соединения по всей толщине композитной детали, для этого применяются клеештифтовые соединения (с дискретными связями). С 80-х годов 20 века распространение получили комбинированные соединения с установкой стальных игл (z-pin), закрепленных в металлической детали. Они внедряются в пакет препрега полимерных композиционных материалов и подвергаются совместной полимеризации, совмещая положительные свойства описанных выше типов соединений, не нарушают волокна основы композита, и как следствие, не снижают его прочностные характеристики [7, 8, 13]. Для облегчения веса авторами [14, 15] описана конструкция стыка с использованием композитных игл, однако несмотря на заявленные преимущества, при отрыве и сдвиге стыки более подвержены расслаиванию. Общим недостатком при эксплуатации представленных соединений является «сползание» матрицы при нагружении, характеризующееся разрушением клеевого слоя в зоне контакта игольчатого соединения с композитом.

Влияние формы законцовки клеештифтовых соединений описано в работе [16], где рассмотрена зависимость геометрии штифтового крепежного элемента (КЭ) на способность выдерживать осевые нагрузки. Установлено, что копьеобразная форма законцовки способствует образованию упрочненного слоя. За счет этого соединение выдерживает большее воздействующее усилие [17]. Методика расчета описанных комбинированных соединений предложена в работах

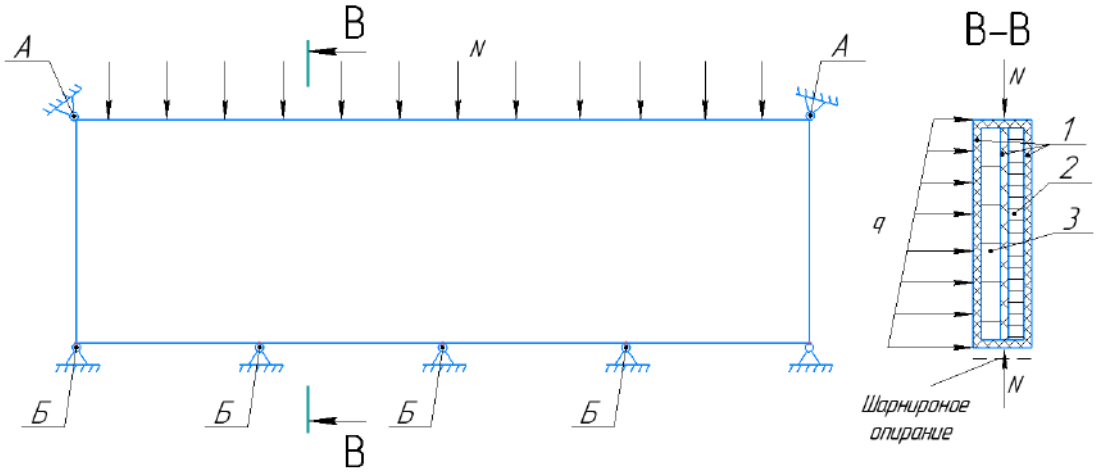
[18, 19], ее эффективность подтверждена проведением механический испытаний при различных случаях нагружения соединения.

Широко распространенное комбинированное соединение деталей из однородных полимерных композиционных материалов со стальными элементами, требует значительной доработки в случае использования сэндвич-структурированных композитных пластин. Обеспечивая прилегание крепежных элементов только между стальной пластиной и внешней композитной обшивкой, оно не затрагивает сердцевину, не осуществляет ее прилегание и крепление к основной конструкции.

В качестве примера, предлагается к рассмотрению боковой борт прицепа транспортного средства, задействованного в полевых работах с грузами сельскохозяйственного назначения, который традиционно выполнен в виде сварной конструкции из прямоугольных тонких профилированных стальных листов, с подкреплением гнутыми профилями. Основными недостатками таких изделий являются: низкая коррозионная стойкость, необходимость процессов внесезонной консервации, малый срок службы по причинам абразивного изнашивания и др. Для минимизации таких явлений машины часто имеют избыточную материалоемкость в целом, что создает иллюзию дополнительного «запаса прочности», но негативно сказывается на состоянии пахотного слоя и не приводит к увеличению надежности.

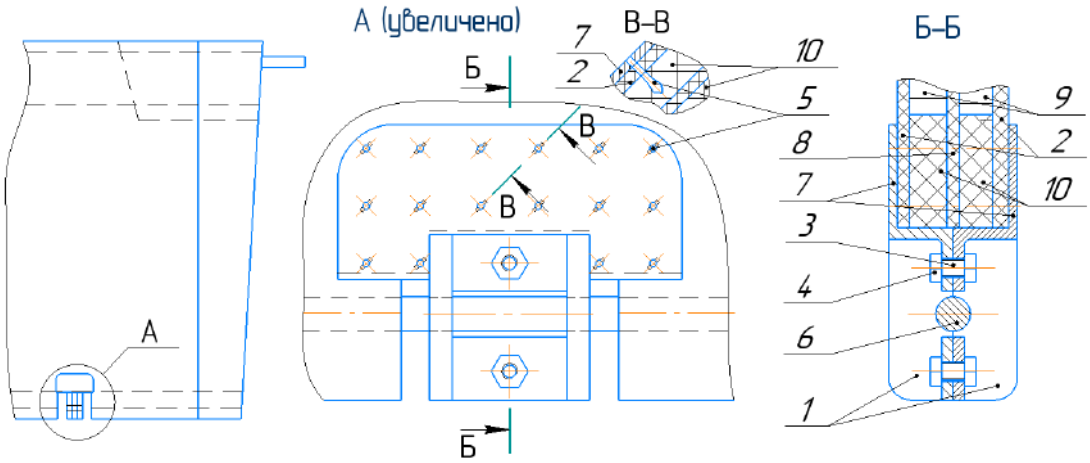
В работе [20], авторами рассмотрена альтернативная конструкция борта, которая представляет собой пятислойную сэндвич-структуру из ПКМ или борт-пластинку (рисунок 2). Для увеличения объема кузова над основными бортами возможна установка дополнительных надставных бортов. На расчетной схеме рис. 2 их сила тяжести показана в виде распределенной по длине сжимающей нагрузки N. Масса груза внутри прицепа при этом создает давление на борт, выраженное переменной по высоте нормальной распределенной нагрузкой q.

Принимаем, что соединение стенки борта с стальным каркасом осуществляется в семи точках, показанных на рисунке 2. Два разъемных шарнира (опоры А в верхней части борта) отпираются ручным раскрытием фиксаторов для проведения погрузочно-разгрузочных работ путем опрокидывания вокруг нижних шарнирно-неразъемных опор Б. Конструкция и методика расчета шарнирной опоры А рассмотрена в работе [21].



А- верхние шарнирно-подвижные опоры, Б – нижние шарнирные опоры.
1 – композитные пластины; 2 – крупные соты; 3 – мелкие соты
Рисунок 2 – Схема композитного борта-пластинки.

Нижние шарнирные опоры Б представляют собой (рисунок 3) стянутые с обеих сторон болтами 3 и гайками 4 два стальных профиля 7 с приваренными половинами проушин 1. Вращение борта осуществляется вокруг оси 6, при открытии фиксаторов в опорах А. Профили 7, с запрессованными в них крепежными элементами 5, стягивают композитные стенки 2 борта, обеспечивая плотное их прилегание по всей толщине сэндвич-структурированного пятислойного композита. Внедрение крепежных элементов осуществляется в препреги обшивки борта и пластины 10 на стадии изготовления с последующей совместной полимеризацией.



1 – проушина; 2 – обшивка борта из ПКМ; 3 – болт; 4 – гайка; 5 – крепежный элемент; 6 – ось; 7 – металлические профили; 8 – силовая внутренняя перегородка из ПКМ; 9– соты; 10 – закладные пластины из ПКМ

Рисунок 3 – Крайняя правая (рис.2) шарнирная опора Б:

При эксплуатации воздействием нагрузками q и N в вертикальном положении в опоре Б возникает реакция, которую можно разложить на две составляющие:R_y - в плоскости, параллельной срединным поверхностям борта-пластинки, расположения и R_z - в нормальной плоскости. При переносе реакций в геометрический центр расположения осей крепежных элементов на расстояние b, составляющая реакции R_y перемещается вдоль линии действия, R_z образует крутящий момент $T_x = R_z \cdot b$. Составляющие реакций (сдвигающая R_y и отрывающая R_z) силы практически равномерно воздействуют на крепежные элементы 5 (рис.3), таким образом наиболее загруженными КЭ оказываются расположенные в верхнем (1) и нижнем (k_1) горизонтальных рядах стыка, указанных на рисунке 4. Такое расположение можно объяснить действием крутящего момента T_x.

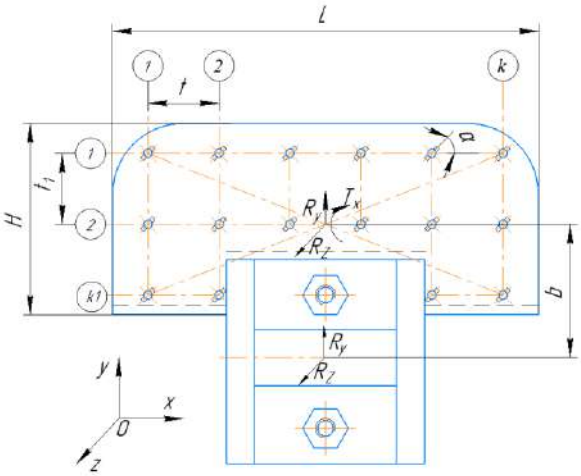


Рисунок 4 –Схема для расчета опоры Б

Опираясь на разработанную методику в работах [18, 22], произведем расчет половины опоры Б по допускаемым напряжениям среза цилиндрической части крепежного элемента 5 и допускаемым напряжениям смятия композитных элементов 2, 10 и вырывании копьеобразной части крепежного элемента (рисунок 3).

Цель работы – разработать конструкцию шарнирного крепления композитного борта транспортного средства сельскохозяйственного назначения в виде прямоугольной пятислойной пластинки, для увеличения его надежности

Результаты и обсуждения.

Определение наиболее нагруженного крепежного элемента от действия вертикальной нагрузки N.

Распределенная нагрузка N (рисунок 2) сжимает стык, вызывая составляющую реакции R_y (рисунок 4). На один вертикальный ряд КЭ будет воздействовать сила F_B, необходимая для определения максимально нагруженного КЭ в одной части проушины:

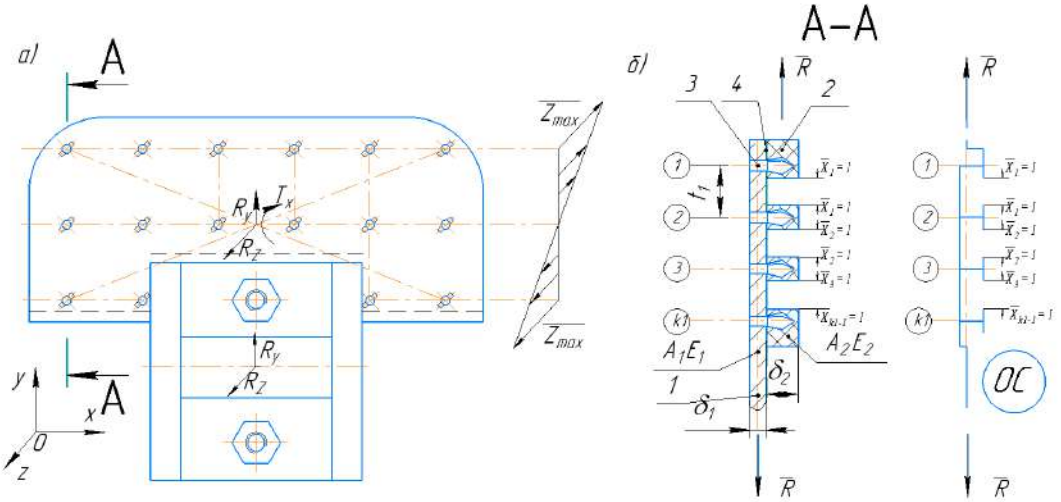
$$F_B = \frac{R_y}{2k}, \tag{1}$$

где k - число вертикальных рядов (рисунок 4).

Тогда, для $(k_1 - 1)$ раз статически неопределимой системы, содержащей k_1 крепежный элемент в вертикальном ряду, решение будет получено путем составления системы канонических уравнений метода сил (рисунок 5 б), с учетом сжимающей силы $F_B = -R$:

$$\begin{cases} \Pi X_1 + (-C)X_2 + 0 \cdot X_3 + \ldots + 0 \cdot X_{k_1-1} = F_B \Pi_1, \\ (-C)X_1 + \Pi X_2 + (-C)X_3 + \ldots + 0 \cdot X_{k_1-1} = F_B \Pi_1, \\ 0 \cdot X_1 + (-C)X_2 + \Pi X_3 + \ldots + 0 \cdot X_{k_1-1} = F_B \Pi_1, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ 0 \cdot X_1 + 0 \cdot X_2 + \ldots + (-\mathrm{C}) \cdot X_{k_1-2} + \Pi X_{k_1-1} = F_B(\Pi_1 + C), \end{cases} \tag{2}$$

где $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + 2C$, $C = \frac{\mathrm{C_П}}{\mathrm{A_{КЭ}}}$ - податливость крепежного элемента, $\mathrm{C_П}$- коэффициент податливости (например, для КЭ копьеобразной формы экспериментально [4] получено значение $\mathrm{C_П} = 0{,}3\ \frac{\text{мм}^3}{\text{Н}}$); $\mathrm{A_{КЭ}}$ – площадь поперечного сечения цилиндрической части КЭ; $\Pi_1 = \frac{t}{E_1 A_1}$ – податливость стальной детали на участке между связями; $\Pi_2 = \frac{t}{E_2 A_2}$ – податливость композитной детали на участке между связями; A_1, A_2 – площади поперечного сечения стальной и композитной деталей соответственно; E_1, E_2 – модули упругости материала стальной и композитной деталей соответственно; t - шаг КЭ по горизонтали; t_1- шаг КЭ по вертикали;



1 – металлическая пластина; 2 – обшивка борта из ПКМ; 3 – КЭ; 4 – клеевой слой.
Z_j – сила сопротивления крутящему моменту T_x в j – ом вертикальном ряду КЭ

Рисунок 5 –Расчетная схема половины проушины для учета действия на метало-композитное соединение крутящего момента T_x (а) и сжимающей силы F_B (б)

Решение системы (2) осуществляется на основе метода Гаусса, для нахождения неизвестных, в результате чего можно выявить наиболее нагруженный от действия поперечных сил крепежный элемент.

$$\begin{cases} Q_1' = X_1; \\ Q_2' = X_2 - X_1; \\ Q_3' = X_3 - X_2; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots. \\ Q_k' = F_B - X_{k-1} \end{cases} \quad (3)$$

Используя решение канонических уравнений метода сил из [22], получим выражение для значения максимальной вертикальной силы $Q'_{B\,max} = max\{Q'_1, Q'_2, \dots Q'_{k_1}\}$, коэффициента перенапряжения крепежных элементов в рассматриваемом вертикальном ряду

$$K_B = \frac{Q_{Bmax}}{R_y}. \quad (4)$$

Величина максимальной перерезывающей силы в первом и k_1-ом крепежных элементах:

$$Q_B^{1,k_1} = \frac{K_B Q_B^{\text{ср}}}{K_P}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{B}}^{\text{ср}} = {F_B}/{k_1}, K_P = 1{,}4$, - коэффициент расположения крепежного элемента [23], для $\alpha = 45°$ (рис. 4).

Определение наиболее нагруженного крепежного элемента от действия крутящего момента T_x

Для определения наиболее нагруженного КЭ произведем замену T_x переменной распределенной нагрузкой, которая, нагружая вертикальные и горизонтальные ряды крепежных элементов (рис. 5а), максимально воздействует на первый и k_1-й крепежные элементы горизонтальных рядов. Введем обозначения: m_B- число вертикальных рядов крепежных элементов, оказывающих сопротивление моменту T_x

Тогда

$$Z_{max} = \frac{4T_x}{H}, \quad (6)$$

Определение наиболее нагруженного крепежного элемента от действующих вдоль оси КЭ сил.

Реакция R_Z, возникающая от действия распределенной нагрузки q (рис. 2), направлена вдоль оси крепежных элементов, стремится вырвать часть КЭ, запрессованных в профиль петли, примыкающий к перевозимому грузу и вдавить часть КЭ другого профиля, обращенного наружу борта в его ПКМ. В первом приближении R_z можно считать равномерно распределенной между всеми n крепежами опоры. Кроме того, необходимо учесть воздействие адгезионной составляющей F_K в месте, где осуществляется прилегание композита и металла, куда дополнительно вводится клей для предотвращения появления «голодного» слоя [22]. Таким образом, сила, нагружающая каждый крепежный элемент опоры Б в перпендикулярной плоскости опоры (XOY, рис. 4):

$$F_p' = 2\tau_{uK} \cdot A_K + \frac{R_z}{n} = 2\tau_{uK} \cdot \left(HL - n\frac{\pi d^2}{4}\right) + \frac{R_z}{n}, \quad (7)$$

где A_K – площадь приклеиваемых стыков, τ_{uK} – допускаемое касательное напряжение в клеевом слое, зависит от типа используемого клея; d – диаметр металлического КЭ в цилиндрической части.

Получим выражение для силы, вырывающей крепежный элемент:

$$F_p = \frac{F_p'}{2}. \quad (8)$$

Определение общей равнодействующей нагрузки для наиболее нагруженного крепежного элемента опоры Б:

Введем расчетную схему действующих сил (рис. 6) для определения максимально нагруженного крепежного элемента.

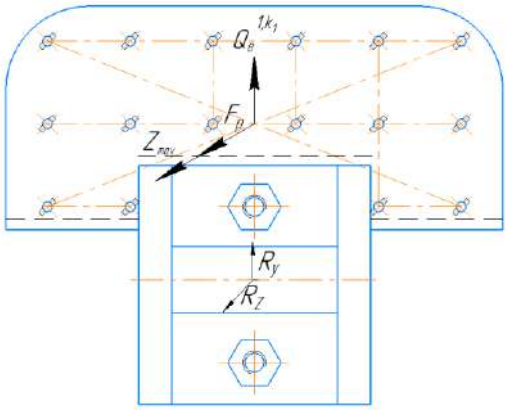


Рисунок 6 – Расчетная схема для определения наиболее нагруженного крепежного элемента в половине опоры Б

Наиболее нагруженным КЭ перерезывающей T'_{max} и вырывающей N'_{max} силами, согласно расчетной схеме, будет крайний левый в горизонтальном ряду КЭ (k_1-ый на рис. 4) и крайний правый в горизонтальном ряду (k_1-ый на рис. 4) для указанной на рис. 6 половины опоры.

$$T'_{max} = Q_B^{1,k_1}, N'_{max} = F_p + Z_{max}. \quad (9)$$

Согласно экспериментальным данным [23], сила N'_{max} близка по значению к силе, вызывающей срез цилиндрической части КЭ, таким образом, опираясь на описанное ранее, предлагается проектировать опору Б на основе выражений для допускаемых напряжений среза в КЭ диметром d, полученных от воздействия силы T'_{max}.

Выводы. Проведенный анализ показал актуальность использования современных полимерных композиционных материалов для силовых габаритных конструкций машин агропромышленного комплекса, что обусловлено снижением энергоемкости производства, массы техники, общим повышением надежности.

Представлены конструкция и методика расчета шарнирной опоры для крепления композитного борта к стальной раме платформы прицепа. Опора выполнена в виде стальных профилей с закрепленными на них крепежными элементами копьеобразной формы, которые внедряются с помощью стягивающих резьбовых соединений в препрег борта на стадии изготовления.

Список источников

1. Астахов М.В. Применение тонкостенных конструкций в сельхозмашиностроении // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №7. – С.25-27.

2. Никитин В. С., Половинкин В. Н. Современное состояние и перспективы применения композитов в зарубежном подводном кораблестроении //Труды Крыловского государственного научного центра. – 2017. – №. 4 (382). – С. 57-74.

3. Бикша Дж. Использование композитных материалов в оборонной промышленности и аэрокосмической индустрии //Вестник электроники. – 2014. – №1. – С.24-27.

4. Карпов Я.С., Кривенда С.П., Рябков В.И. Проектирование и конструирование соединений деталей из композиционных материалов: учеб. Пособие по курсовому и дипломному проектированию – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1997. – 201с.

5. Василевский Е.Т., Двейрин А.З., Карпов Я.С. , Кривенда С.П. Система экспериментального обеспечения расчета на прочность механических соединений деталей из композитов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2010. – №47. – С.42-52.

6. Череващенко А.С. Конструктивно-технологические решения соединений металл-композит, работающие на отрыв // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2012. – Вип.1(73). – С.14-20.

7. Карпов Я.С., Кривенда С.П., Рябков В.И. Проектирование и конструирование соединений деталей из композиционных материалов: учеб. Пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1997. – 201с.

8. Корженевский А.В. Проектирование и экспериментальное исследование прочности клеештифтового соединения деталей из композиционных материалов // Вопросы оптимизации тонкостенных силовых конструкций летательных аппаратов. Тематический сборник научных трудов. – Вып.4. – Харьков, 1983. – С.16-20.

9. Gonzalez, D.S. Mechanical behavior of metal-composite joints under impact rates of loading: Thesis for the degree of Mechanical Engineering - Master of Science / David S. Gonzalez. - Michigan State University. – 2014. – 80p.

10. Jürgens M. et al. Influence of an optimized 3D-reinforcement layout on the structural mechanics of co-bonded CFRP joints //Airbus Group Innovations, Munich, Germany. – 2014. [Электронный ресурс]

11. Sen Faruk, Alda Kemal. Effects of Using Different Metal Materials on Stresses in Metal-Composite Hybrid Joints // Cankaya University Journal of Science and Engineering (CUJSE). – 2011. – Vol.8. – №1. – P. 1-13.

12. Ucsnik S. et al. Composite to composite joint with lightweight metal reinforcement for enhanced damage tolerance //ECCM16—16th European Conference on Composite Materials, Seville, Spain. – 2014.

13. Seidlitz, H. New Joining Technology for Optimized Metal/Composite Assemblies / Holger Seidlitz, Lars Ulke-Winter, and Lothar Kroll // Journal of Engineering. – vol. 2014. – Article ID 958501. – 11 pages. – doi:10.1155/2014/958501. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1155/2014/958501 (дата обращения: 15.01.2022).

14. H.G. Son et al. Fatigue behaviour of metal pin-reinforced composite single-lap joints in a hygrothermal environment. Composite Structures, 108(0):151 – 160, 2014.

15. H. Ji et al. Fatigue characteristics of stainless steel ofpin-reinforced composite hat joints. Composite Structures, 108(0):49 – 56, 2014.

16. Сорокина И. И., Астахов М. В. Исследование влияния формы крепежного элемента на прочность соединения «Металл-композит» // Машиностроение и компьютерные технологии. 2012. №02. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-formy-krepezhnogo-elementa-na-prochnost-soedineniya-metallkompozit (дата обращения: 06.12.2022).

17. Крепежный элемент для соединения деталей из слоистых полимерных композиционных материалов на основе стеклотканей и матриц из синтетических смол с металлическими частями конструкции: пат. 182601 Рос. Федерация: МПК F16B / Астахов М.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Астахов М.В., Сорокина И.И., Грачева Е.В.; заяв. 11.05.17; опубл. 23.08.18, Бюл. № 24. 6 с.

18. Астахов М.В., Сорокина И И., Зуев Е.С. К вопросу расчета на прочность металло-композитного фланцевого соединения //Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – №. 1. – С. 4-17.

19. Астахов М.В., Сорокина И.И. Применение неподвижных металло-композитных соединений при модернизации или ремонте сельскохозяйственной техники //Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2015. – №. 9. – С. 34-39.

20. Астахов, М. В. Повышение стойкости к ударным воздействиям композитных узлов сельхозмашин применением упруго-вязко-пластичных жидкостей / М. В. Астахов, Е. В. Славкина. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202002.268-286 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 2. – С. 268–286.

21. Астахов М. В. и др. Проектирование конструкции шарнирного крепления многослойного композитного борта к кузову прицепа транспортного средства //Технический сервис машин. – 2022. – №. 2. – С. 124-134.

22. Астахов М.В., Сорокина И.И. Применение неподвижных металлокомпозитных соединений при модернизации или ремонте сельскохозяйственной техники //Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2015. – №. 9. – С. 34-39.

References

1. Astakhov M.V. The use of thin-walled structures in agricultural engineering // Tractors and agricultural machines. - 2003. - No. 7. - P.25-27.

2. Nikitin V. S., Polovinkin V. N. Current state and prospects for the use of composites in foreign submarine shipbuilding // Proceedings of the Krylov State Scientific Center. – 2017. – no. 4 (382). - S. 57-74.

3. Biksha, J. The use of composite materials in the defense industry and the aerospace industry // Vestnik elektroniki. - 2014. - No. 1. - P.24-27.

4. Karpov Ya.S., Krivenda S.P., Ryabkov V.I. Design and construction of connections of parts from composite materials: textbook. Manual for course and diploma design. – Kh.: Kharkiv. aviation in-t, 1997. - 201p.

5. Vasilevsky E.T., Dveyrin A.Z., Karpov Ya.S. , Krivenda S.P. The system of experimental support for calculating the strength of mechanical joints of parts made of composites // Open information and computer integrated technologies. - 2010. - No. 47. - P.42-52.

6. Cherevashchenko A.S. Structural and technological solutions for metal-composite joints working on separation // Problems of design and production of aircraft structures. - 2012. - Vip.1 (73). - P.14-20.

7. Karpov Ya.S., Krivenda S.P., Ryabkov V.I. Design and construction of connections of parts from composite materials: textbook. Handbook for course and diploma design. – Kh.: Kharkiv. aviation in-t, 1997. - 201p.

8. Korzhenevsky A.V. Design and experimental study of the strength of the glue-pin connection of parts made of composite materials // Issues of optimization of thin-walled load-bearing structures of aircraft. Thematic collection of scientific works. – Issue 4. - Kharkov, 1983. - S.16-20.

9. Gonzalez, D.S. Mechanical behavior of metal-composite joints under impact rates of loading: Thesis for the degree of Mechanical Engineering - Master of Science / David S. Gonzalez. - Michigan State University. - 2014. - 80p.

10. Jurgens M. et al. Influence of an optimized 3D-reinforcement layout on the structural mechanics of co-bonded CFRP joints //Airbus Group Innovations, Munich, Germany. – 2014. [Electronic resource]

11. Sen Faruk, Alda Kemal. Effects of Using Different Metal Materials on Stresses in Metal-Composite Hybrid Joints // Cankaya University Journal of Science and Engineering (CUJSE). - 2011. - Vol.8. - No. 1. – P. 1-13.12. Ucsnik S. et al. Composite to composite joint with lightweight metal reinforcement for enhanced damage tolerance //ECCM16—16th European Conference on Composite Materials, Seville, Spain. – 2014.

13. Seidlitz, H. New Joining Technology for Optimized Metal/Composite Assemblies / Holger Seidlitz, Lars Ulke-Winter, and Lothar Kroll // Journal of Engineering. – vol. 2014. – Article ID 958501. – 11 pages. – doi:10.1155/2014/958501. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1155/2014/958501 (дата обращения: 15.01.2022).

14. H.G. Son et al. Fatigue behaviour of metal pin-reinforced composite single-lap joints in a hygrothermal environment. Composite Structures, 108(0):151 – 160, 2014.

15. H. Ji et al. Fatigue characteristics of stainless steel pin-reinforced composite hat joints. Composite Structures, 108(0):49 – 56, 2014.

16. Sorokina I. I., Astakhov M. V. Investigation of the influence of the fastener shape on the strength of the “Metalcomposite” joint. 2012. No. 02. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-formy-krepezhnogo-elementa-na-prochnost-soedineniya-metallkompozit (Date of access: 12/06/2022).

17. Fastener for connecting parts made of layered polymer composite materials based on glass fabrics and synthetic resin matrices with metal parts of the structure: Pat. 182601 Ros. Federation: IPC F16B / Astakhov M.V. [and etc.] ; applicant and patentee Astakhov M.V., Sorokina I.I., Gracheva E.V. ; dec. 05/11/17; publ. 08/23/18, Bull. No. 24. 6 p.

18. Astakhov M.V., Sorokina I.I., Zuev E.S. On the issue of calculating the strength of a metal-composite flange connection // Electronic journal: science, technology and education. – 2016. – no. 1. - S. 4-17.

19. Astakhov M.V., Sorokina I.I. The use of fixed metal-composite joints in the modernization or repair of agricultural machinery //Remont. Recovery. Modernization. – 2015. – no. 9. - S. 34-39.

20. Astakhov, M. V., Slavkina E. V. Increasing the shock resistance of composite units of agricultural machines using elastic-viscoplastic fluids. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202002.268-286 // Engineering technologies and systems. - 2020. - V. 30, No. 2. - S. 268–286.

21. Astakhov M. V. et al. Designing the design of a hinged fastening of a multilayer composite side to the body of a vehicle trailer // Technical service of machines. – 2022. – no. 2. - S. 124-134.

22. Astakhov M.V., Sorokina I.I. The use of fixed metal-composite joints in the modernization or repair of agricultural machinery //Remont. Recovery. Modernization. – 2015. – no. 9. - S. 34-39.

Информация об авторах

М.В. Астахов – доктор технических наук, профессор; Е.В. Славкина – старший преподаватель; И. И. Сорокина – кандидат технических наук.

Information about the authors

M. Astakhov - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Slavkina - Senior Lecturer; I. Sorokina - Candidate of Technical Sciences.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 18.12.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.354.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-77-84

К ОБОСНОВАНИЮ СПОСОБА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ СВОБОДНОГО ЗЕРНА ПРИ ОЧЕСЕ РАСТЕНИЙ НА КОРНЮ

Виктор Николаевич Ожерельев[1], Виктор Васильевич Никитин[2], Владимир Филиппович Комогорцев[3], Синяя Наталия Викторовна[4]
[1, 2, 3, 4] Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]viktor.nike@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1393-2731
[3]komvf@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0003-4134-366X
[4]sinzea@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1794-1347

Автор, ответственный за переписку: Виктор Николаевич Ожерельев, vicoz@bk.ru
Corresponding author: Viktor Ozherelev, vicoz@bk.ru

Реферат. *Представлены результаты теоретических исследований, подтверждающие возможность осуществления предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха до поступления его в молотильную камеру зерноуборочного комбайна. Установлена перспективность сепарирующего устройства, смонтированного непосредственно перед молотильным барабаном, состоящего из продольных прутьев, над которыми смонтирован дополнительный скребковый транспортер. Для увеличения интенсивности сепарации устройства и исключения вероятности забивания отверстий проходящими частицами вороха, поперечное сечение каждой полосы решетки заужено книзу. Определяли оптимальную длину отверстий сепарирующего устройства предбарабанного типа, его пространственную ориентацию и оценивали качественные показатели работы. Выполнили теоретические исследования процесса сепарации на озимой пшенице сорта «Московская 56» с размерами зерен 3,9х6,5 мм. Скорость скребкового транспортера составляла 3 м/с, а угол наклона сепарирующего устройства варьировал в пределах 0-45 градусов. По результатам исследований установлено, что с увеличением угла наклона сепарирующей поверхности длина отверстий решет увеличивается, а скорость сепарации уменьшается. Поскольку горизонтальная решетка обеспечивает большую скорость сепарации свободного зерна, в сравнении с наклонной поверхностью, то применение сепарирующего устройство предбарабанного типа является наиболее предпочтительным, по отношения к решетчатому днищу наклонной камеры зерноуборочного комбайна с точки зрения его производительности. Установлено, что длина сепарирующих отверстий должна быть не менее 0,08 м. Такое техническое решение позволяет минимизировать не только дробление свободного зерна рабочими органами молотилки, но и снизить металлоемкость сепарирующего устройства.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн; наклонная камера; решетчатое днище; сепарирующая решетка; очес; предварительная сепарация, зерновой ворох.*

TO THE SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF PRELIMINARY SEPARATION OF FREE GRAIN IN THE ROOT OF PLANTS

Viktor Ozherelev[1], Viktor Nikitin[2], Vladimir Komogortsev[3], Natalia Sinyaya[4]
[1, 2, 3, 4] Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation
[1]vicoz@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2]viktor.nike@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1393-2731
[3]komvf@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0003-4134-366X
[4]sinzea@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1794-1347

Abstract. *The results of theoretical studies confirming the possibility of carrying out preliminary separation of free grain from the stripped grain pile before it enters the threshing chamber of a combine harvester are presented. The prospect of a separating device mounted directly in front of the threshing drum, consisting of longitudinal rods, over which an additional scraper conveyor is mounted, has been established. The cross section of each strip of the grating is narrowed downwards to increase the intensity of separation of the device and eliminate the possibility of clogging the holes with passing particles of the heap. The optimal length of the openings of the pre-drum type separating device, its spatial orientation were determined, and the quality indicators of the work were evaluated. Theoretical studies of the separation process on winter wheat of the "Moskovskaya 56" variety with a grain size of 3.9x6.5 mm were performed. The speed of the scraper conveyor was 3 m/s, and the angle of inclination of the separating device varied within 0-45 degrees. It has been established from the results of research that with an increase in the angle of inclination of the separating surface, the length of the sieve openings increases, and the separation speed decreases. Since the horizontal grate provides a higher separation rate of free grain, compared to an inclined surface, the use of a pre-drum type separating device is most preferable in relation to the grate bottom of the feeder house of a combine harvester in terms of its performance. It has been established that the length of the separating holes should be at least 0.08 m. Such a technical solution allows minimizing not only the crushing of free grain by the working bodies of the threshing machine, but also to reduce the metal consumption of the separating device.*

Keywords: *combine harvester; inclined camera; lattice bottom; separating grid; tow; pre-separation, grain heap.*

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Комогорцев В.Ф., Синяя Н.В. К обоснованию способа предварительной сепарации свободного зерна при очесе растений на корню // Наука в Центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 77-84. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-77-84.

For citation: Ozherelev V, Nikitin V., Komogortsev V., Sinyaya N. To the substantiation of the method of preliminary separation of free grain in the root of plants. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 77-84. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-77-84.

Введение. Стабильный рост цен на энергоносители актуализирует проблему уменьшения энергоемкости технологических процессов в АПК. В полной мере это касается и уборки зерна. В этой связи перспективной является замена традиционной жатки на очесывающий адаптер, что позволяет не только уменьшить энергоемкость уборочного процесса, но и увеличить производительность техники [1-3].

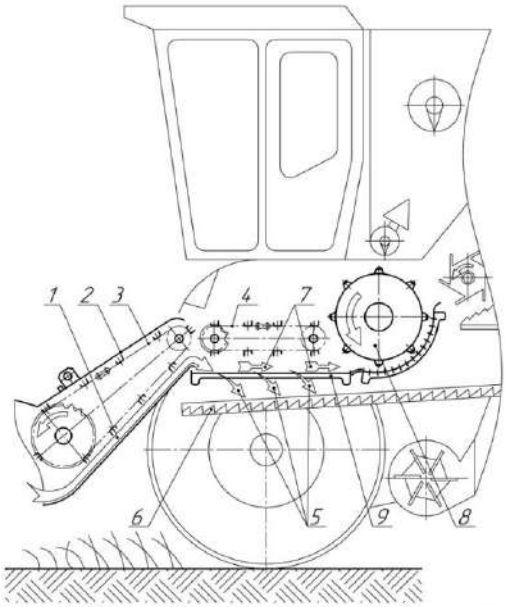
Практическое использование технологии очеса растений на корню сдерживается тем, что молотилка зерноуборочного комбайна не обеспечивает оптимальное воздействие на ворох, поступающий от очесывающего адаптера. Это обусловлено наличием в нем до 80% свободного зерна и отсутствием у необмолоченных колосьев соломин достаточной длины. В результате свободное зерно подвергается дополнительному ударному воздействию, не обусловленному технологической потребностью. Вследствие этого нерационально расходуется порядка 10 кВт мощности и существенно возрастает степень дробления зерна [4-6].

Очевидно, что радикально решить проблему позволяет предварительное выделение из очесанного вороха свободного зерна и направление его непосредственно на очистку, минуя молотильный аппарат комбайна. На протяжение ряда лет в Брянском ГАУ ведутся изыскания конструктивных решений, позволяющих решить указанную проблему. На данном этапе прошли успешные испытания экспериментальной наклонной камеры с решетчатым днищем, которые позволили реализовать принцип предварительной сепарации свободного зерна [7-9]. Практическая реализация такого технического решения позволила в пять раз уменьшить степень дробления свободного зерна рабочими органами молотилки [10, 11].

Указанный конструктивный вариант не является единственно возможным. Перспективным с точки зрения совершенства технологического процесса является размещение сепарирующего устройства непосредственно перед молотильным барабаном 8 (рисунок 1). В частности, это может быть достигнуто посредством сепарирующей решетки 9, состоящей из продольных прутьев, над

которой смонтирован дополнительный скребковый транспортер 4 [12]. Поскольку, сепарирующая решетка 9 сориентирована в пространстве горизонтально, то ее длина может быть несколько меньше в сравнении с размерами решетчатого днища наклонной камерой зерноуборочного комбайна. Для увеличения интенсивности сепарации устройства, поперечное сечение каждой полосы решетки сужается книзу, вследствие чего сверху вниз увеличивается ширина свободного межполосового пространства, что исключает заклинивание проходящих частиц вороха по мере их перемещения вниз и забивание сепарирующей поверхности. Кроме того, полосы сепарирующей решетки соединены между собой только по их концам, вследствие чего процесс сепарации не нарушается промежуточными поперечными перемычками.

Несмотря на то, что значительная часть параметров указанного технического решения предварительно установлена [13], остается ряд не решенных пока конструктивных задач и проблем. В частности, это касается определения оптимальной длины отверстий сепарирующего устройства предбарабанного типа, его пространственной ориентации и оценки качественных показателей работы.



1 – очесанный зерновой ворох; 2 – наклонная камера; 3 – плавающий транспортер;
4 – дополнительный скребковый транспортер; 5 – свободное зерно; 6 – транспортная доска;
7 – оставшаяся часть первичного вороха; 8 – молотильный барабан;
9 – сепарирующая решетка

Рисунок 1 – Принципиальная схема зерноуборочного комбайна с предбарабанным устройством для предварительной сепарации свободного зерна:

В связи с этим целью исследования является оптимизация длины отверстий предбарабанного сепарирующего устройства, выявление степени влияния на эффективность ее работы пространственной ориентации сепарирующей поверхности и сопоставление качественных параметров процесса с аналогичными показателями, характерными для решетчатого днища наклонной камеры зерноуборочного комбайна.

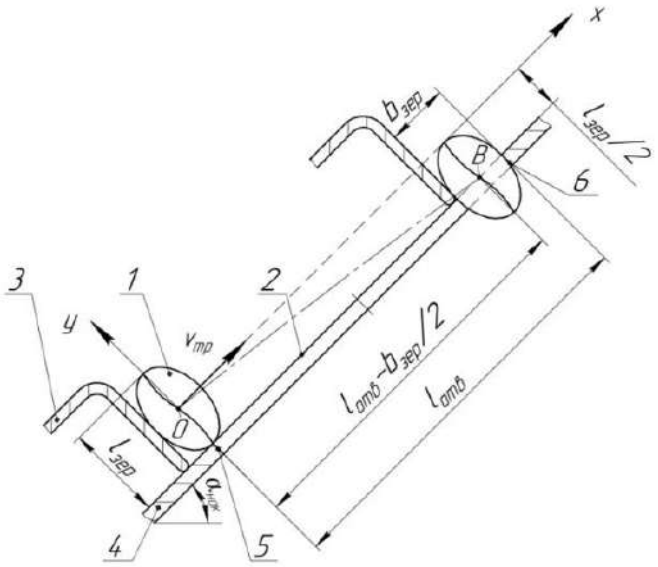
Материалы и методы. Для оценки возможности осуществления данного технологического процесса рассмотрим перемещение зерна 1 сквозь сепарирующее отверстие 2, как свободное падение тела, брошенного под углом $\alpha_{нак}$ к горизонту (рисунок 2). Для этого в исходном положении поместим зерно 1 над передней кромкой отверстия 2, сориентировав его длину $l_{зер}$ вдоль скребка 3 транспортера, а ширину $b_{зер}$ перпендикулярно поверхности днища 4. Начало координат O совместим с центром тяжести зерна 1, а оси OX и OY направим по направлению движения скребка 3 транспортера и перпендикулярно днищу 4, соответственно.

Специфика процесса заключается в том, что при перемещении зерна над отверстием оно не теряет контакта со скребком, поэтому скорость его перемещения вверх по днищу наклонной камеры остается неизменной и равной скорости скребкового транспортера $v_{тр}$. Когда зерно сползает с переднего края 5 и располагается над отверстием, оно получает возможность под действием своей тяжести падать со скоростью gt, а, следовательно, должно описывать параболическую траекторию. При этом зерно не должно встречать помехи для этого движения со стороны поверхности решета [14, 15].

Для того чтобы зерно прошло через отверстие длиной $l_{отв}$, центр его тяжести должен пройти по направлению оси OX путь:

$$l_{отв} - \frac{b_{зер}}{2} = v_{тр} \cdot t, \tag{1}$$

где $l_{отв}$ – длина отверстия, *м*;
$b_{зер}$ – ширина зерна, *м*;
$v_{тр}$ – скорость скребкового транспортера, *м/с*;
t – время сепарации, *с*.



1 – зерно; 2 – отверстие; 3 – скребок; 4 – днище сепарирующей поверхности; 5 – передняя кромка отверстия; 6 – дальняя кромка отверстия

Рисунок 2 – Расчетная схема к определению длины отверстий сепарирующей поверхности

Считаем, что зерно успешно пройдет через сепарирующее отверстие, если центр его тяжести при перемещении вверх по днищу наклонной камеры (по оси OX) опустится вниз по оси OY на половину длины, то есть на $l_{зер}/2$. Тогда оно может вступить в контакт с верхней кромкой 6 отверстия 2 и в результате торможения потерять скорость $v_{тр}$ вдоль днища 1.

Перемещение зерна в вертикальном направлении ($l_{зер}/2$) определим следующим образом

$$\frac{l_{зер}}{2 \cdot \cos\alpha_{нак}} = \frac{g \cdot t^2}{2}; \Rightarrow \frac{l_{зер}}{\cos\alpha_{нак}} = g \cdot t^2, \tag{2}$$

где $l_{зер}$ – длина зерна, *м*;
$\alpha_{нак}$ – угол наклона сепарирующей поверхности к горизонту, *град*;
g=9,81 *м/с*^{2} – ускорение свободного падения.

Следовательно, для опускания зерна относительно поверхности днища на половину его длины ($l_{зер}/2$) необходимо время

$$t = \sqrt{\frac{l_{зер}}{g \cdot \cos\alpha_{нак}}} \ . \qquad (3)$$

Подставив полученное выражение в (1) и преобразовав, находим минимальную длину сепарирующего отверстия, необходимую для прохождения через него зерна

$$l_{отв} = \frac{b_{зер}}{2} + v_{тр} \cdot \sqrt{\frac{l_{зер}}{g \cdot \cos\alpha_{нак}}} \ . \qquad (4)$$

Очевидно, что скорость сепарации свободного зерна сквозь отверстия сепарирующего устройства, может быть определена следующим образом

$$v_{сеп} = \frac{l_{зер}}{2 \cdot t}. \qquad (5)$$

Все исследования проводили на озимой пшенице сорта «Московская 56» с размерами зерен $b_{зер}$=3,9 *мм*, $l_{зер}$=6,5 *мм*. Скорость скребкового транспортера принимали равной скорости плавающего транспортера наклонной камеры зерноуборочного комбайна $v_{тр}$=3 *м/с*, как в работах [16, 17]. Значимость этого параметра связана с тем, что с его уменьшением повышается вероятность не только сгруживания очесанной хлебной массы между наклонной камерой и сепарирующим устройством, но и снижения пропускной способности комбайна в целом, а повышение ухудшает сепарацию свободного зерна. При этом угол наклона сепарирующего устройства предбарабанного типа варьировал в пределах 0-45 градусов, что позволило сопоставить полученные данные с аналогичными параметрами, характерными для наклонной камеры.

Результаты и их обсуждение.

Результаты расчетов формул (3-5) представлены на рисунке 3.

Полученные данные (рисунок 3, а) свидетельствую о том, что с увеличением угла наклона сепарирующей поверхности длина отверстий, сквозь которые проходит свободной зерно увеличивается. При этом минимальное значение длины отверстия соответствует горизонтальному расположению решетки сепарирующего устройства предбарабанного типа, а максимальное – решетчатому днищу наклонной камеры комбайна.

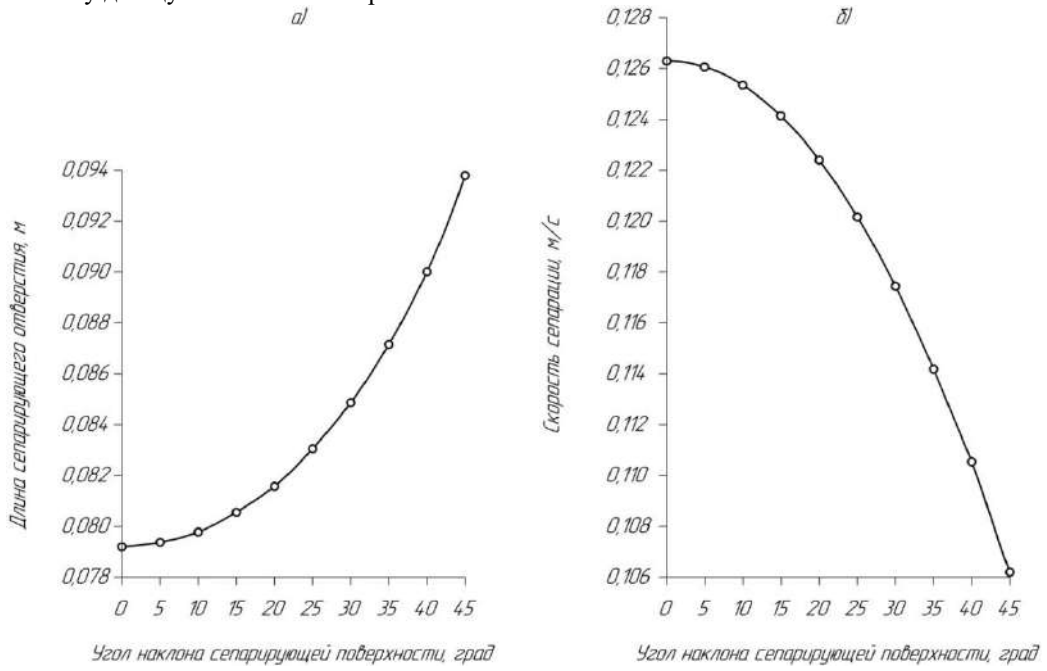


Рисунок 3 – Влияние угла наклона поверхности сепарирующего устройства на: а) длину его отверстий; б) скорость сепарации свободного зерна

Что касается скорости сепарации, то здесь прослеживается обратная тенденция. То есть, с увеличением угла наклона сепарирующей поверхности, скорость сепарации свободного зерна сквозь отверстия сепарирующей решетки уменьшается. При этом максимальное значение скорости сепарации свободного зерна соответствует горизонтальному расположению решетки сепарирующего устройства предбарабанного типа, а минимальное – решетчатому днищу наклонной камеры комбайна. Разница между максимальным (0,126 *м/с*) и минимальным (0,106 *м/с*) значением скорости составляет порядка 19%.

В результате того, что горизонтальная решетка обеспечивает большую скорость сепарации свободного зерна в сравнении с наклонной поверхностью, то применение сепарирующего устройство предбарабанного типа является наиболее предпочтительным по отношения к решетчатому днищу наклонной камеры зерноуборочного комбайна с точки зрения его производительности. Кроме того, такое техническое решение позволяет минимизировать не только дробление свободного зерна рабочими органами молотилки, но и металлоемкость сепарирующего устройства.

Выводы.

1. Приведенные расчеты свидетельствуют о возможности эффективной сепарации очесанного зернового вороха на сепарирующем устройстве предбарабанного типа при длине сепарирующих отверстий не менее 0,08 м.

2. Применение сепарирующего устройства предбарабанного типа в сравнение с решетчатым днищем наклонной камеры зерноуборочного комбайна является наиболее предпочтительным с точки зрения его производительности. Однако комбайн в этом случае придется радикально перекомпоновывать. В частности, необходимо существенно укоротить соломотряс (за ненадобностью) и сдвинуть назад молотильный барабан.

3. Предварительные (установочные) опыты подтвердили наличие выявленной теоретически тенденции, для более полного изучения которой целесообразно провести более широкую серию натурных лабораторных экспериментов.

Список источников

1. Технология уборки зерновых культур методом очесывания на корню: состояние и перспективы / А.М. Леженкин, В.И. Кравчук, А.С. Кушнарев. Дослидницкое, 2010. 400 с.

2. Червяков И.В. Совершенствование процесса уборки зерновых культур комбайновым очесом: автореф. дис. … канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2020. 22 с.

3. Жалнин Э.В. Уборка с очесом на корню: за и против // Сельский механизатор. 2013. № 8. С. 10-12.

4. Шабанов Н.П. Разработка и обоснование устройства для сепарации очесанного зернового вороха в наклонной камере зерноуборочного комбайна: автореф. дисс. … канд. техн. наук. Симферополь, 1997. 26 с.

5. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops / Yu.F. Lachuga, A.I. Buryanov, V.I. Pakhomov, I.V. Chervyakov // Russian Agricultural Sciences. 2020. No 46 (2). P. 198-201.

6. Жатка трансформируемая очесывающая навесная ЖОНТУ-6: протокол приемочных испытаний № 11-26-13 (1060032). Зерноград: ФГУ «Северо-Кавказская МИС», 2013. 6 с.

7. Патент на изобретение № 2566015 РФ, МПК A01D41/12. Наклонная камера зерноуборочного комбайна / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин. № 2014135980/13; заявл. 03.09.2014; опубл. 20.10.2015. Бюл. № 29. 8 с.

8. Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Комогорцев В.Ф. Наклонная камера зерноуборочного комбайна // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3. С. 65-70.

9. Ожерельев В.Н. Предварительная сепарация очесанного зернового вороха в наклонной камере / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию

агроинженерного факультета. Ч. 1. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ имени императора Петра I», 2015. С. 165-170.

10. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Результаты адаптации конструкции комбайна к работе с очесывающей жаткой // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32. № 2. С. 190-206.

11. Очес растений на корню с предварительной сепарацией свободного зерна / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин, Н.В. Синяя, М.Е. Чаплыгин, Т.О. Федина // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89. № 1. С. 73-79.

12. Патент на изобретение № 2756602 РФ, МПК A01D 41/00, A01D 41/02. Зерноуборочный комбайн / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин, М.В. Ожерельева, П.В. Ожерельев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Брянский ГАУ. № 2020137033; заявл. 10.11.2020; опубл. 04.10.2021. Бюл. № 28. 7 с.

13. Perspectives of grain pile separation before it enters the thresher / V.N. Ozherelyev, V.V. Nikitin, N.M. Belous, V.E. Torikov // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. T. 7. No 2.13 Special Issue 13. P. 114-116.

14. Тишанинов К.Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы решетного стана // Наука в центральной России. 2021. № 4 (52). С. 13-17.

15. Горячкин В.П. Собрание сочинений в трех томах. М.: Колос, 1968. Т. 1. 720 с.

16. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10К «ПАЛЕССЕ GS10». Инструкция по эксплуатации. 2013. 231 с.

17. Халанский В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2003. 624 с.

References

1. Technology of harvesting grain crops by combing on the root: state and prospects / A.M. Lezhenkin, V.I. Kravchuk, A.S. Kushnarev. Doslidnitskoe, 2010. 400 p.

2. Chervyakov I.V. Improvement of the process of harvesting grain crops by combine harvester: abstract. dis. ... candidate of Technical Sciences. Rostov-on-Don, 2020. 22 p.

3. Zhalnin E.V. Cleaning with a comb on the root: pros and cons. *Sel'skij mekhanizator = Rural mechanizer*. 2013; (8): 10-12. (In Russ.).

4. Shabanov N.P. Development and justification of a device for separation of a combed grain heap in an inclined chamber of a combine harvester: abstract. diss. ... candidate of Technical Sciences. Simferopol, 1997. 26 p.

5. Adaptation of threshing devices to physical and mechanical characteristics of harvested crops / Yu.F. Lachuga, A.I. Buryanov, V.I. Pakhomov, I.V. Chervyakov. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; 45 (2): 198-201.

6. The header is a transformable combing mounted ZHONTU-6: acceptance test protocol No. 11-26-13 (1060032). Zernograd: Federal State University "North Caucasian MIS", 2013. 6 p.

7. Patent for invention No. 2566015 RF, IPC A01D41/12. Inclined chamber of a grain harvester / V.N. Ozherelev, V.V. Nikitin. No. 2014135980/13; dec. 09/03/2014; publ. 10/20/2015. Bull. No. 29. 8 p.

8. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Inclined chamber of a combine harvester. *Vestnik Brjanskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii = Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2016; 3: 65-70. (In Russ.).

9. Ozherelev V.N. Preliminary separation of combed grain heap in an inclined chamber / V.N. Ozhereliev, V.V. Nikitin // Agro-industrial complex at the turn of the century: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 85th anniversary of the agro-engineering faculty. Part 1. Voronezh: FGBOU VPO "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", 2015. P. 165-170.

10. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Results of adaptation of the combine design to work with a combing header. *Inzhenernye tehnologii i sistemy = Engineering technologies and systems*. 2022; 32 (2): 190-206. (In Russ.).

11. Oches of plants on the root with preliminary separation of free grain / V.N. Ozherelev, V.V. Nikitin, N.V. Sinaya, M.E. Chaplygin, T.O. Fedina. *Traktory i sel'hozmashiny = Tractors and agricultural machines*. 2022; 89 (1): 73-79. (In Russ.).

12. Patent for invention No. 2756602 RF, IPC A01D 41/00, A01D 41/02. Combine harvester / V.N. Ozherelev, V.V. Nikitin, M.V. Ozhereleva, P.V. Ozherelev; applicant and patent holder FGBOU VO

Bryansk State Agrarian University. No. 2020137033; dec. 11/10/2020; publ. 04.10.2021. Bull. No. 28. 7 p.

13. Perspectives of grain pile separation before it enters the thresher / V.N. Ozherelyev, V.V. Nikitin, N.M. Belous, V.E. Torikov. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018; 7 (2.13): 114-116.

14. Tishaninov K.N. Substantiation of the structural and technological scheme of the sieve mill. *Nauka v central'noj Rossii = Science in Central Russia*. 2021; 4 (52): 13-17. (In Russ.).

15. Goryachkin V.P. Collected works in three volumes. M.: Kolos, 1968. T. 1. 720 p.

16. Combine harvester self-propelled KZS-10K "PALESSE GS10". User manual. 2013. 231 p.

17. Khalansky V.M., Gorbachev I.V. Agreecultural machines. Agreecultural equipment. Moscow: Kolos, 2003. 624 p.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; В.В. Никитин – доктор технических наук, доцент; В.Ф. Комогорцев – кандидат физико-математических наук, доцент; Н.В. Синяя – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

V. Ozherelev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; V. Nikitin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; V. Komogortsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; N. Sinyaya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 27.12.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 53.08: 544.08
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-85-99

СПОСОБ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Юрий Викторович Родионов [1], Сергей Иванович Данилин [2], Роман Викторович Могутнов [3], Александр Егорович Ломовских [4], Иван Сергеевич Армянинов[5]
[1]Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
[1,2]Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия
[1]rodionow.u.w@rambler.ru
[3,4,5]ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия
[4]lomovskih1979@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Александр Егорович Ломовских, lomovskih1979@yandex.ru Corresponding author Alexander Lomovskih, lomovskih1979@yandex.ru

Реферат. *Совершенствование технической эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотракторной техники (АТТ) неразрывно связан с повышением эффективности их технического обслуживания по фактическому состоянию. Исследования проводили на ДВС с износом ресурса более 80%. Способ и устройства для увеличения ресурса ДВС АТТ были предложены в данной работе, отличающиеся от известных тем, что этот процесс осуществляется комплексно путем контроля состояния масла с помощью нескольких датчиков. Легкая и переносная установка, состоящая из двух модулей разработана для экспресс-анализа моторных масел, эксплуатируемых в ДВС. Отбор проб из поддона-картера эксплуатируемой АТТ (без вывода его из эксплуатации) в количестве 100 мл. осуществляется обычным шприцом со шлангом, через отверстие измерительного щупа контроля уровня масла. Датчики температуры; контактный емкостной и бесконтактный емкостной; мутности; индукционный магниточувствительный, pH использованы в первом модуле устройства для определения мутности, кислотности, наличия жидких и мелкодисперсных металлических частичек и т. д. Информация, передаваемая от датчика, отображается на информационном экране установки, а также на мониторе компьютера в виде графиков. Данная установка может работать автономно, что позволит использовать ее в полевых условиях. Способ долива в систему смазки ДВС свежего масла с учетом слива именно той части масла, где находятся основные загрязняющие вещества (осадок), разработан. Своевременная диагностика состояния и качества моторных масел позволит на ранней стадии оценить степень загрязненности, а частичный слив осадка на дне поддона-картера позволит предотвратить возможные поломки, и благодаря этому значительно продлить ресурс ДВС и АТТ в целом.*

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, автотракторная техника, моторное масло, состояние и качество моторных масел, устройство экспресс-анализа масел, ресурс двигателя.*

METHOD AND DEVICE FOR INCREASING THE SERVICE LIFE OF AUTOMOTIVE MACHINERY ENGINES

Yuri Rodionov[1], Sergey Danilin[2], Roman Mogutnov[3], Alexander Lomovskih[4], Ivan Armyaninov[5]
[1]Tambov state technical university, Tambov, Russia
[1,2]Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia
[1]rodionow.u.w@rambler.ru
[3,4,5]Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia
[4]lomovskih1979@yandex.ru

Abstract. *Improving the technical operation of internal combustion engines (ICE) of automotive equipment (ATT) is inextricably linked with an increase in the efficiency of their maintenance according to the actual state. The studies were carried out on internal combustion engines with resource wear of more than 80%. The method and devices for increasing the resource of the internal combustion engine ATT were proposed in this work, differing from those known in that this process is carried out in a complex way by monitoring the condition of the oil using several sensors. Lightweight and portable unit, consisting of two modules, designed for express analysis of motor oils used in internal combustion engines. Sampling from the sump-crankcase of the operated ATT (without taking it out of service) in the amount of 100 ml. is carried out with a conventional syringe with a hose, through the hole of the dipstick for controlling the oil level. Temperature sensors; contact capacitive and non-contact capacitive; turbidity; induction magnetically sensitive, pH used in the first module of the device to determine turbidity, acidity, the presence of liquid and fine metal particles, etc. Information transmitted from the sensor is displayed on the information screen of the installation, as well as on the computer monitor in the form of graphs. This installation can work autonomously, which will allow it to be used in the field. A method for adding fresh oil to the ICE lubrication system, taking into account the draining of exactly that part of the oil where the main pollutants (deposit) are located, has been developed. Timely diagnostics of the condition and quality of motor oils will allow at an early stage to assess the degree of contamination, and partial draining of the sediment at the bottom of the oil pan will prevent possible breakdowns, and thereby significantly extend the life of the internal combustion engine and ATT as a whole*.

Keywords: *internal combustion engine, automotive equipment, engine oil, condition and quality of engine oils, rapid oil analysis device, engine life.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Данилин С.И.,Могутнов Р.В., Ломовских А.Е., Армянинов И.С. Способ и устройства для увеличения ресурса двигателей автотракторной техники // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 61, № 1. С. 85-99. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-85-99.

For citation: Rodionov Y., Danilin S., Mogutnov R., Lomovskikh A., Armyaninov I. Method and device for increasing the service life of automotive machinery engines. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 85-99. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-85-99.

Введение. На современном этапе развития агропромышленного комплекса России одной из основных задач науки и практики является совершенствование технической эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и автотракторной техники (АТТ). Этот процесс неразрывно связан с повышением эффективности их технического обслуживания. Решение этой задачи заключается во внедрение в практику эксплуатации АТТ системы технического обслуживания по фактическому состоянию. В настоящее время замена всех видов масел в АТТ происходит в зависимости от пробега или наработки техники, а при тяжелых условиях эксплуатации срок службы масел может существенно снижаться. Таким образом, на сегодняшний момент нет полноценных методик, способов, а также устройств, по комплексной оценке, фактического (реального) состояния и качества моторного масла.

Общеизвестным фактом является, склонность моторного масла к старению и загрязнению в процессе эксплуатации.

Основными направлениями загрязнения моторного масла, являются:

- загрязнение продуктами сгорания топлива (сажа, нагар);
- загрязнение продуктами изнашивания пар трения ДВС (мелкодисперсные металлические частицы износа);
- загрязнение продуктами конденсации, образованных на стенках блока картера ДВС (вода, образующая шлам);
- загрязнение продуктами срабатывания присадок;
- сложные процессы химических превращений самих углеводородов масла (продукты окисления и др.);
- загрязнение другими продуктами (охлаждающая жидкость, топливо, пыль и др.).

В нормативных документах [1], связанных с контролем состояния ДВС и моторного масла, в частности, кроме проведения контрольного осмотра, ТО-1 и ТО-2 через определенный пробег отсутствуют контрольно-диагностические мероприятия, учитывающие текущее состояние моторного масла. При этом данное упущение может привести в последствии к серьезным неисправностям и поломкам, связанным с преждевременным изнашиванием трущихся деталей ДВС. К таким деталям следует отнести цилиндро-поршневую и кривошипно-шатунную группы и все детали газораспределительного механизма, таким образом изнашиваются практически все трущиеся детали ДВС. При износе этих деталей необходим капитальный ремонт ДВС, который требует очень значительных финансовых и трудовых затрат и при этом техника на длительный период выходит из эксплуатации. А если учесть, что в разгар посевных или уборочных работ, когда «день год кормит», то это еще грозит серьезными экономическими потерями, если не полностью потерей урожая. В такие напряженные моменты необходимо быстро диагностировать технику, чтобы не было серьезных ее поломок. Одним из основных дорогостоящих механизмов является ДВС, от которого в значительной степени зависит функционал АТТ в целом. Работоспособность данного агрегата в основном зависит от состояния и качества моторного масла. Поэтому через определенный промежуток времени (особенно перед выходом на полевые работы) производить проверку на наличие основных загрязнителей моторного масла – мелкодисперсные металлические частицы, а также жидкие примеси (охлаждающая жидкость, конденсат, топливо) и др. [2].Таким образом, определение состояния масел, эксплуатируемых в ДВС АТТ и установления срока до их замены является важной задачей, требующей дальнейшего решения. Общеизвестным фактом является то, что основные загрязняющие моторное масло продукты после остановки двигателя оседают на дне поддона картера двигателя. Затем при последующем запуске двигателя масляный насос системы смазки, в первоначальный момент, подает в масляную магистраль очень сильно загрязненное масло и этот процесс происходит пока весь объем масла не перемешается. Таким образом, самые нагруженные детали двигателя коренные и шатунные шейки коленчатого вала с вкладышами интенсивно изнашиваются. Поэтому проблема контроля состояния моторного масла ДВС и своевременной ее замены всегда являлась актуальным [3].

Так как основные примеси в масле и мелкодисперсные металлические частицы износа в основном выпадают в осадок, экономичным и логичным решением будет частичная замена именно той части масла (то осадка, образующегося после остановки ДВС), в которой находится максимальное количество примесей и различных загрязняющих и вымывающих полезные присадки отложений.

Результаты и обсуждение.

Для того, чтобы обосновать решение слива осадка, необходимо исследовать процесс загрязнения моторного масла. Для этих целей исследовался ДВС у которого износ его ресурса составлял более 80%. При разборе двигателя и дефектовки его распределительного вала, были выявлены сильные царапины на его опорный шейках и кулачках, что представлено на рисунке 1.

Рисунок 1 – Внешний вид изношенного распределительного вала

Данный дефект свидетельствует о том, что в моторным масле, как раз находились мелкодисперсные металлические частицы износа, которые в основном содержатся в избыточном количестве в масляном осадке, находящемся на дне поддона-картера ДВС и делающие такие

царапины на трущихся деталях. Поэтому при запуске холодного ДВС, особенно в зимний период эксплуатации, в связи с тем, что маслоприемник масляного насоса установлен в нижней части поддона-картера двигателя, в первые несколько минут его работы происходит подача в масляную систему двигателя большого количества мелкодисперсной металлической стружки, содержащейся как раз в нижней части поддона-картера.

На рисунке 2 представлена схема изнашивания деталей ДВС АТТ.

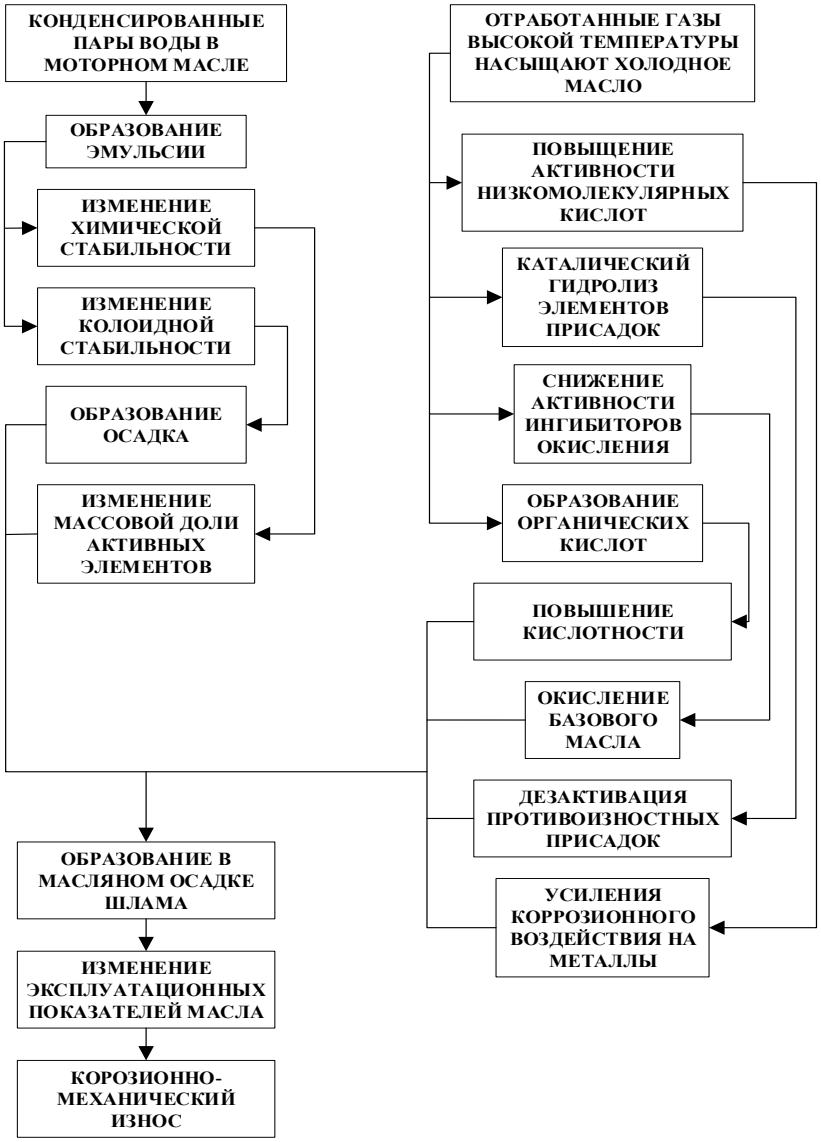


Рисунок 2 – Схема процесса изнашивания трущихся деталей ДВС АТТ

Для решения этой проблемы необходимо:

- разработать способ долива в систему смазки ДВС с учетом слива именно той части масла, где находятся основные загрязняющие вещества (в основном осадок);
- разработать метод контроля состояния масла на наличие мелкодисперсных металлических частиц и жидких примесей как непосредственно на технике, так и в стационарном режиме.

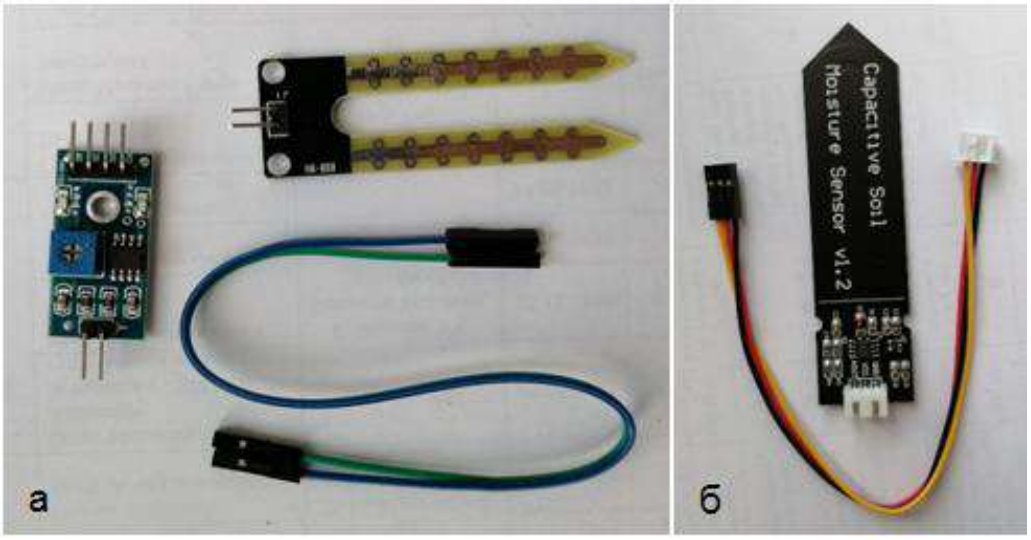
Способ слива загрязненного масла из поддона-картера возможен путем замены маслосливную пробки на сливной кран шарового типа, через который можно будет сливать необходимое количество осадка в масле.

Первоначальны контроль за состоянием наличия мелкодисперсных металлических частиц можно вести путем установки магниточувствительного датчика, причем возможно установить, как датчик наличия данных примесей, так и уровня, при котором необходимо будет производить, долив [4].

Образец индукционного магниточувствительного датчика показан на рисунке 3.

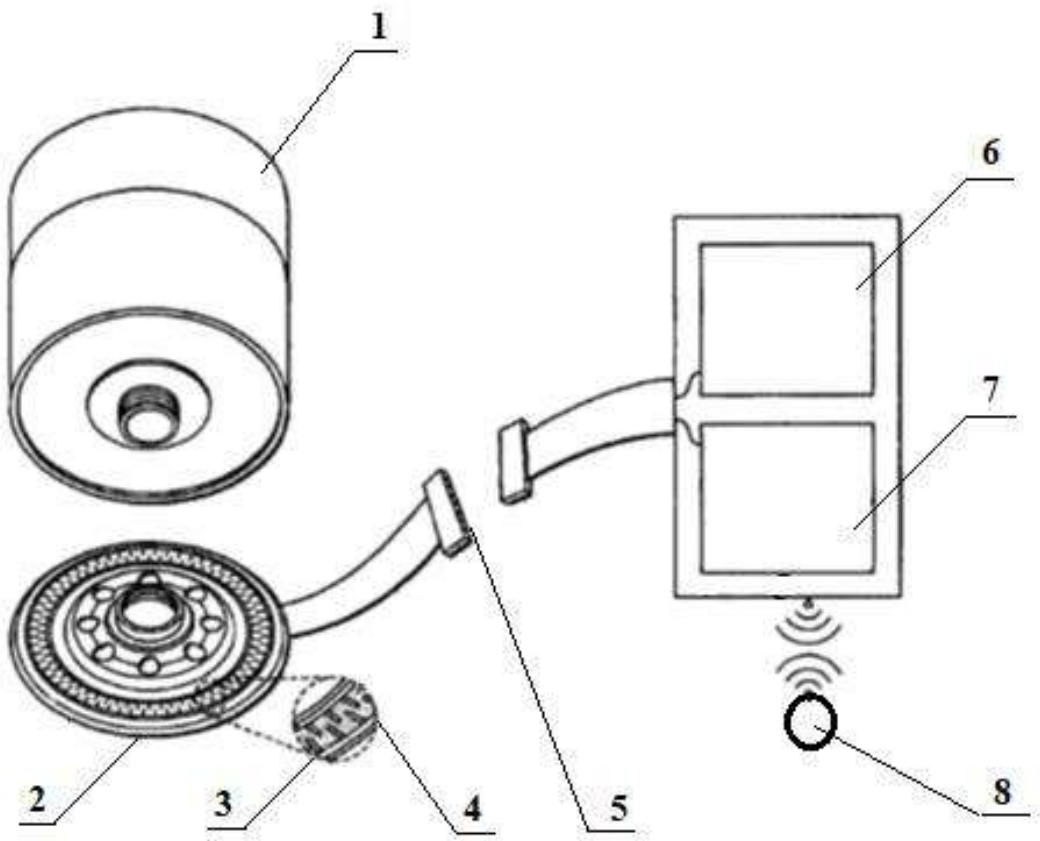
Рисунок 3 – Внешний вид индукционного магниточувствительного датчика

Контроль за содержанием жидких примесей в моторном масле можно производить с помощью емкостного датчика, который соответственно по состоянию общей емкости масла дает понять на сколько используемое моторное масло загрязнено жидкими примесями. Данный датчик возможно устанавливать в масляный поддон-картер. Образцы емкостного датчика показаны на рисунке 4.



а) контактный емкостной датчик с двумя электродами
б) бесконтактный емкостной датчик
Рисунок 4– Внешний вид емкостного датчика

На рисунке 5 показана возможная схема установки и работы датчика жидких примесей в масляном фильтре, как один из вариантов установки на АТТ.



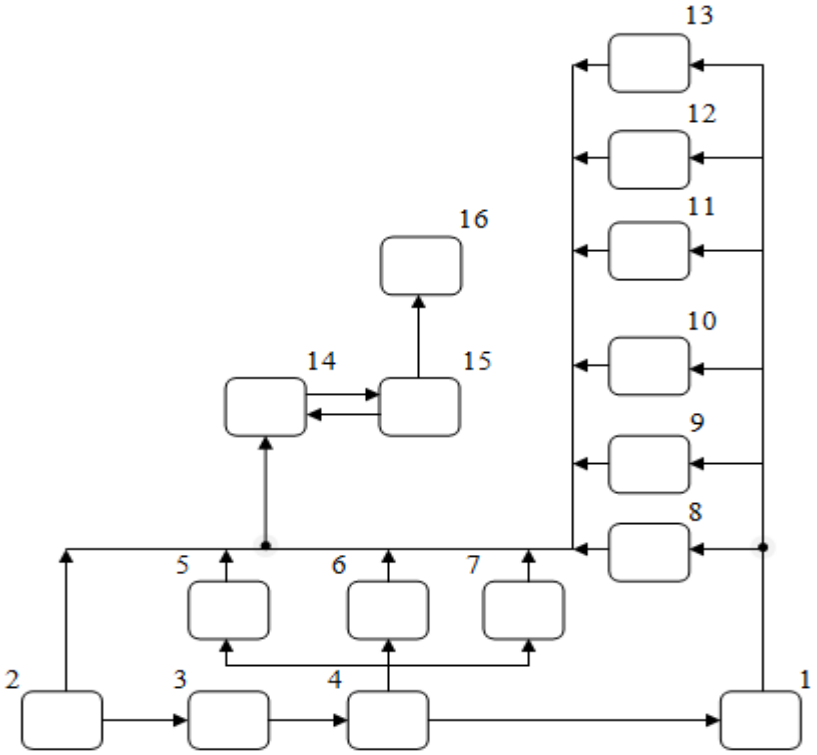
1 – масляный фильтр АТТ; 2 – сенсорный элемент датчика; 3 – электроды датчика; 4 – диэлектрическая подложка; 5 – разъем датчика; 6 – генератор угловых импульсов; 7 – усилитель импульсов с контролирующим устройством; 8 – сигнальная лампа на панели приборов АТТ

Рисунок 5 – Схема установки и работы датчика жидких примесей в масляном фильтре АТТ

Путем установки представленных выше вариантов датчиков возможно по двум основным показателям судить о качестве моторного масла. Этого будет вполне достаточно, чтобы в полевых условиях, при эксплуатации техники судить первоначально о качестве и состоянии моторного масла, залитого в двигатель. Но здесь следует отметить, что более точный прогноз состояния и качества моторного масла необходимо осуществлять с помощью более точных устройств, которые очень дорогие и громоздкие. В связи с этим для экспресс-анализа моторных масел, эксплуатируемых в ДВС АТТ, авторами создана легкая и переносная установка, состоящая из двух модулей [5].

Она, позволит в кратчайшие сроки и не требуя сложных операций определить фактическое состояние моторного масла и его основные параметры, необходимые для того, чтобы установить ресурс работы ДВС АТТ на данном масле. Внедрение разработанного технического решения для экспресс-анализа моторных масел позволит сократить время на проведение исследований образца и существенно снизить материальные затраты на проведение этих исследований.

Принципиальная схема, созданной авторами установки, представлена на рисунке 6.



1 – сосуд под образец масла; 2 – двигатель; 3 – трущийся ролик, 4 – приводной двигатель; 5, 6, 7, 8, 9,10 – различные датчики; 14 – блок программирования;15 – управляющий блок;16 – жидкокристаллический экран

Рисунок 6 – Принципиальная схема разработанного технического решения

Отбор тестируемого масла из поддона-картера эксплуатируемой АТТ (без вывода его из эксплуатации) в количестве 100 мл. осуществляется обычным шприцом со шлангом, через отверстие измерительного щупа контроля уровня масла. После чего, тестируемое масло, заливается в специальную емкость (на рисунке 7 не показана) и устанавливается на специальную площадку, находящуюся в задней части первого блока [6, 7].

Внешний вид первого модуля для определения мутности, кислотности, наличия жидких и мелкодисперсных металлических частичек и т. д., представлен в виде 3-D модели на рисунке 7.

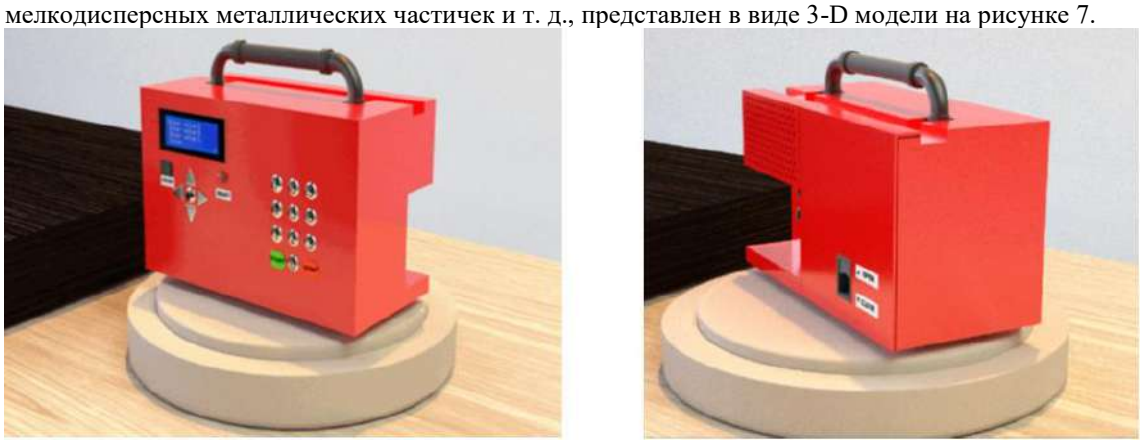
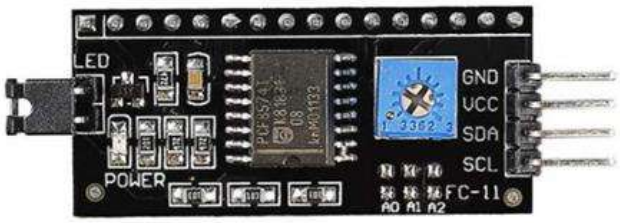


Рисунок 7 – Внешний вид устройства для экспресс-анализа моторного масла

Ниже на рисунках 8…11 представлены основные элементы данного первого блока.

На рисунке 8 представлен внешний вид экрана для визуализации основных показателей первого блока.



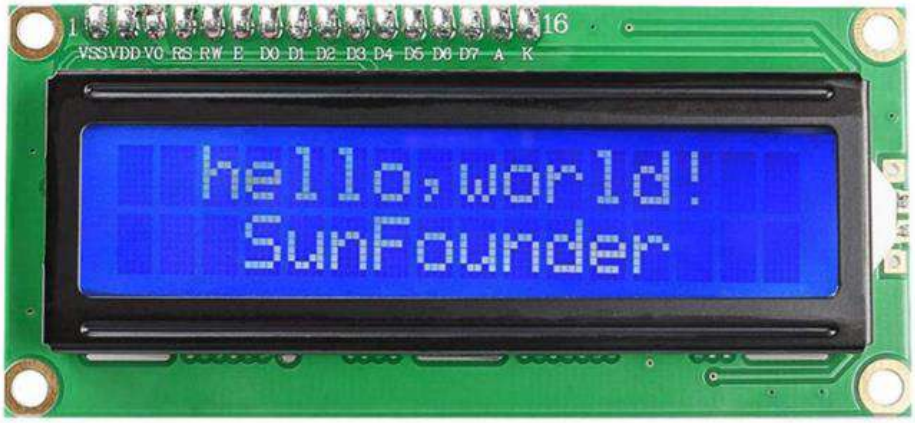


Рисунок 8 – Внешний вид экрана для визуализации основных показателей устройства

Рисунок 9 – Внешний вид PH-датчика первого блока устройства

Рисунок 10 – Внешний вид датчика мутности первого блока устройства

Рисунок 11 – Внешний вид датчика температуры первого блока устройства

Следует подробно остановиться на датчиках, установленных в первом блоке устройства.

1-й датчик температуры, который показывает температуру масла.

2-й контактный емкостной датчик.

3-й бесконтактный емкостной датчик с помощью которых можно определить наличие жидких примесей в масле.

4-й датчик мутности, он показывает мутность масла, с помощью чего можно определить степень загрязненности масла.

5-й индукционный магнитночуствительный датчик, с помощью этого датчика можно определить наличие мелкодисперсных металлических части в масле.

6-й ПШ-датчик, с помощью которого мы можем узнать кислотность образца.

Данный первый блок установки для экспресс-анализа качества моторных масел работает следующим образом. В емкость для испытуемого образца (масла), которая располагается возле установки (с задней стороны) заливается около 100 мл. Затем в емкость помещается один из

перечисленных выше датчиков, информация, передаваемая от датчика, отображается на информационном экране установки, а также на мониторе компьютера в виде графиков, представленных на рисунке 12.

Данная установка может работать автономно (например, от бортовой сети или АКБ 12 В АТТ), что позволит использовать ее в полевых условиях [8].

Авторами была создана возможность подключения данного блока к персональной вычислительной машине. При соединении первого блока к вычислительной машине, кроме того, что можно выводить цифровые значения основных показателей тестируемого масла в виде таблицы на монитор, также, с помощью разработанной программы, возможно получать различные графические зависимости. Это условие позволяет осуществлять наглядное сравнение всех основных параметров различных тестируемых масел и оперативно сравнивать их с эталонным образцом.

На рисунке 12 показана часть графических зависимостей, построенных по полученным значениям, снимаемых с датчиков и выводимых с помощью разработанного программного обеспечения.

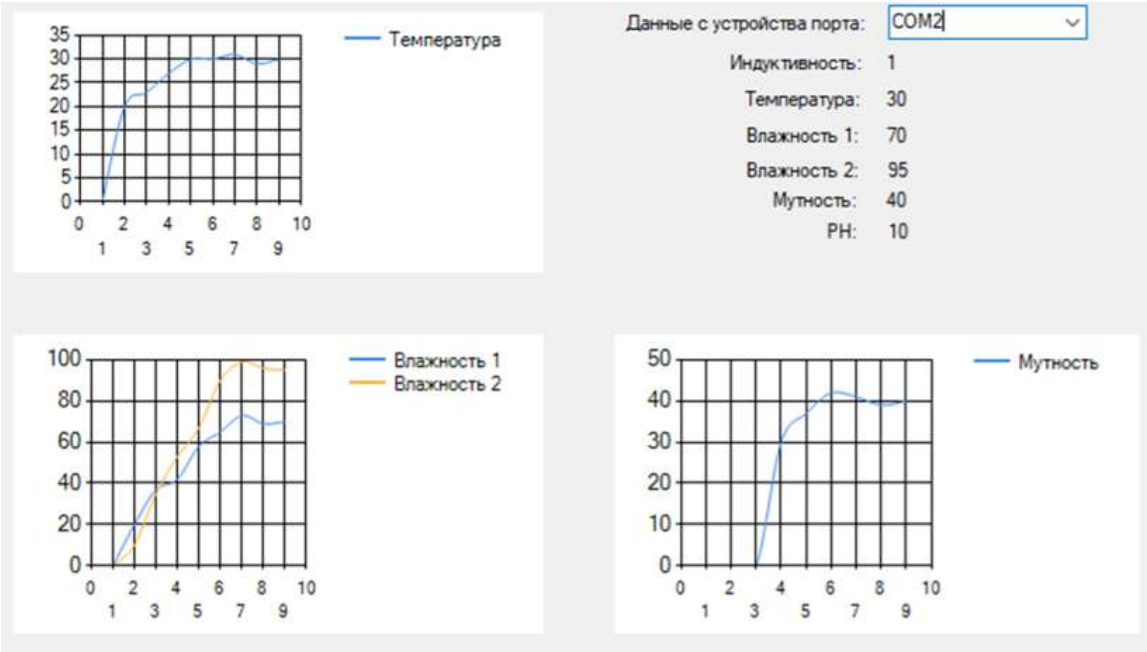


Рисунок 12 – График показателей соответствующих датчиков

Таким образом, в первом блоке установлены датчики определения температуры, влажности, емкости, индуктивности, мутности, окисленности тестируемого масла. На сегодняшний момент проводится опробование датчиков различной точности, для выбора оптимальных, также проводится промежуточное опробование датчиков при исследование различных свойств, а также качества моторных масел.

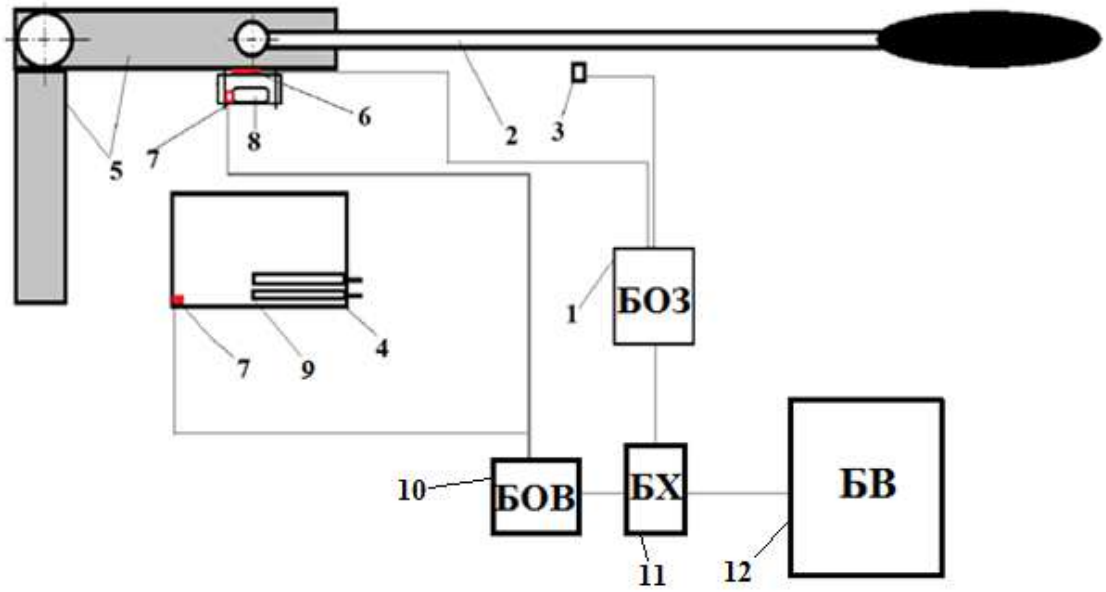
Проверка качества моторного масла осуществляется путем регистрации датчиками различных свойств в виде электрических сигналов, с дальнейшим переводом их в необходимые нам единицы (мутности, емкости, индуктивности, скорости пропускания звука).

На втором этапе экспресс-анализа моторного масла осуществляется сбор дополнительных показателей определяющих триботехнические свойства масел с помощью второго блока устройства, позволяющего отдельно от первого блока провести исследования качества моторных масел, применяемых для АТТ.

Решение этой задачи в целом является актуальной, поэтому его осуществления был создан второй блок установки, позволяющий в кратчайшие сроки и не требуя сложных операций оценить

реальное качество залитого в агрегат или механизм масла (с помощью оценки триботехнических свойства тестируемых масел), тем самым определить остаточный ресурс до его замены.

Принципиальная схема второго блока устройства, по определению триботехнических свойств моторных масел эксплуатируемой АТТ, представлена на рисунке 13.



1 – узел для определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия; 2 – динамометрическая рукоятка; 3 – амперметр, 4 – бак для масла; 5 –рукоять; 6 – датчик усилия прижатия; 7 – датчик температуры; 8 – упор; 9 – нагревательный элемент, 10 – блок определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, 11 – блок сбора, обработки, хранения и передачи информации, 12 – жидкокристаллический монитор

Рисунок 13 – Принципиальная схема второго блока устройства

Из общедоступных источников известен способ контроля качества масла с помощью больших промышленных установок. Основной недостаток заключается в том, что описанный способ требует большого количества времени для определения смазывающих свойств масла, и состоит из большого количества операций, расчетов, вычислений и продолжительных испытаний. Также к недостатку можно отнести то, что данное устройство не информативно, так как оценка происходит только по ширине изношенных канавок и в основном рассчитано на исследования в основном твердых материалов.

Техническим результатом разработанного устройства является значительное сокращение времени проводимого исследования и ориентация на исследование жидких образцов, за счет, того что плечи держателя соединены шарнирно, с возможностью фиксации относительно друг друга, одно из плеч вертикально закреплено на основании, в противоположном шарниру конце второго плеча установлен динамометрический ключ, с упором, закрепленном на втором плече держателя при этом упор, расположен в плоскости параллельной второму плечу держателя, между упором и вторым плечом установлен датчик реагирующий на усилие прижатия упора, в упоре и в емкости первый и второй датчик температуры соответственно, емкость снабжена нагревателем, механизм вращения ролика снабжен датчиком нагрузки, дополнительно введены блок определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия, блок определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, блок сбора, обработки, хранения и передачи информации, блок визуализации, при этом выход датчика нагрузки и усилия прижатия соединены с первым и вторым входом блока определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия

соответственно, выходы датчиков температуры соединены со входом блока определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, выход блока определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия и блока определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства соединены с первым и вторым входом блока сбора, обработки, хранения и передачи информации соответственно, а выход блока сбора, обработки, хранения и передачи информации соединен со входом блока визуализации [9].

Техническое решение состоящее из электродвигателя с вращающимся роликом, держателя с образцами, емкости для жидкости, отличается от известных тем, что плечи держателя соединены шарнирно, с возможностью фиксации относительно друг друга, одно из плеч вертикально закреплено на основании, в противоположном шарниру конце второго плеча установлен динамометрический ключ, с упором, закрепленном на втором плече держателя при этом упор расположен в плоскости параллельной второму плечу держателя, между упором и вторым плечом установлен датчик реагирующий на усилие прижатия упора, в упоре и в емкости первый и второй датчик температуры соответственно, емкость снабжена нагревателем, механизм вращения ролика снабжен датчиком нагрузки, дополнительно введены блок определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия, блок определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, блок сбора, обработки, хранения и передачи информации, блок визуализации, при этом выход датчика нагрузки и усилия прижатия соединены с первым и вторым входом блока определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия соответственно, выход датчиков температуры соединен со входом блока определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, выход блока определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия и блока определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства соединены с первым и вторым входом блока сбора, обработки, хранения и передачи информации соответственно, а выход блока сбора, обработки, хранения и передачи информации соединен со входом блока визуализации.

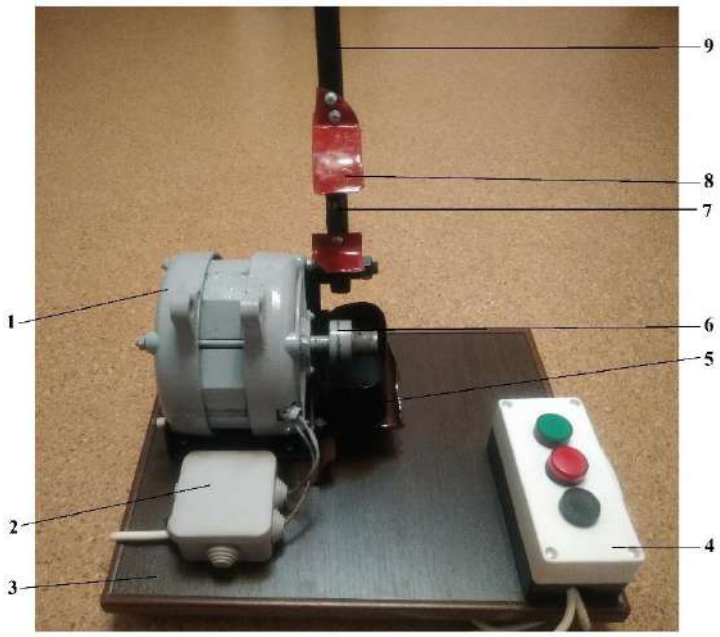
Сущность предлагаемого устройства заключается в том, что плечи держателя соединены шарнирно, с возможностью фиксации относительно друг друга, одно из плеч вертикально закреплено на основании, в противоположном шарниру, конце второго плеча установлен динамометрический ключ, с упором, закрепленном на втором плече держателя при этом упор расположен в плоскости параллельной второму плечу держателя, между упором и вторым плечом установлен датчик реагирующий на усилие прижатия упора, в упоре и в емкости первый и второй датчик температуры соответственно, емкость снабжена нагревателем, механизм вращения ролика снабжен датчиком нагрузки, дополнительно введены блок определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия, блок определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, блок сбора, обработки, хранения и передачи информации, блок визуализации, при этом выход датчика нагрузки и усилия прижатия соединены с первым и вторым входом блока определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия соответственно, выходы датчиков температуры соединены со входом блока определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, выход блока определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия и блока определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства соединены с первым и вторым входом блока сбора, обработки, хранения и передачи информации соответственно, а выход блока сбора, обработки, хранения и передачи информации соединен со входом блока визуализации [10].

Отличительная черта устройства позволяет по полученным параметры тестируемого масла возможно определить какое масло имеет лучшие смазывающие и охлаждающие свойства, а также какое влияние оказывает добавляемая присадка и температура.

Блоки 1, 10, 11 предназначены для считывания и передачи информации с датчиков на блок визуализации, изготовлен как плато Arduino UNO; динамометрический ключ 2 используется для приведения в движение подвижной рукоятки; амперметр 3 предназначен для определение силы тока потребляемого двигателем; ёмкость 4 предназначена для масла, установлена в нижней части канистры из под масла; рукоятка 5 предназначена для создания прижимного усилия упора закрепленного на ней неподвижного сменного элемента к подвижному ролику электродвигателя; 7 датчик температуры масла и упора в канистре с тестируемым образцом; 8 упор для создания силы

трения, представляет собой ролик выполненный из подшипника; 9 нагревательный элемент для подогрева масла; блок визуализации 12 может быть выполнен в виде персонального компьютера.

Внешний вид второго блока установки, представлен на рисунке 14.



1 – приводной двигатель; 2 – управляющий элемент; 3 – станина;
4 – пульт; 5 – канистра под тестируемый образец масла; 6 – вращающийся элемент;
7 – неподвижный элемент; 8 – маслоуловители; 9 – динамометрический элемент
Рисунок 14 – Внешний вид второго блока установки

Особенность блока заключается в том, что установлен динамометрический ключ, с упором, закрепленном на втором плече держателя, емкость снабжена нагревателем, механизм вращения ролика снабжен датчиком нагрузки, дополнительно введены блок определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия, блок определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства, блок сбора, обработки, хранения и передачи информации, блок визуализации, при этом выход датчика нагрузки и усилия прижатия соединены с первым и вторым входом блока определения зависимости нагрузки на двигатель от усилия прижатия соответственно, выходы датчиков температуры соединены со входом блока определения влияния температуры масла на его смазывающие свойства [9, 11].

Заключение. Разработанное устройство, состоящее из двух блоков, предполагает использование большого количества электронных составляющих, что позволяет получить точный и достоверный результат по тестируемому маслу при этом не теряя в качестве и точности измерений.

Рекомендуемая система, безусловно, способствует экономии и рациональному использованию смазочных материалов и непосредственно моторных масел в ДВС АТТ в современном агропромышленном комплексе.

Своевременная диагностика состояния и качества моторных масел позволит на ранней стадии оценить не только степень загрязненности, а частичный слив осадка на дне поддона-картера позволит предотвратить возможные поломки, и благодаря этому значительно продлить ресурс ДВС и АТТ в целом.

Таким образом, применение разработанного способа долива в систему смазки ДВС свежего масла с учетом слива именно той части масла, где находятся основные загрязняющие вещества (в

основном осадок), а также метода контроля состояния масла на наличие мелкодисперсных металлических частиц и жидких примесей как непосредственно на технике (см. рисунок 5), так и в стационарном режиме (см. рисунок 7 и 13) позволит повысить информативность процесса исследования реального состояния качества масла, залитого в агрегатах и механизмах АТТ, а также своевременно его заменять на новое, с учетом тяжелых условий эксплуатации.

Список источников

1. ГОСТ 17479.1-2015. Масла моторные. Классификация и обозначение. М.: Изд-во стандартов. 8 с.

2. Балабанов В.И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля. Методы и средства. М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. 61 с.

3. Износ и долговечность автомобильных двигателей. М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарёв. М. Машиностроение 1976. С. 14–58.

4. Папок К.К. Смазочные масла. М.: МО СССР, 1953. 101 с.

5. Микутенок Ю.А., Шкаренко В.А., Резников В.Д. Смазочные системы дизелей. Л-д: Машиностроение. 1986. 126 с.

6. Томилов А.А., Ломовских А.Е., Канищев А.С., Армянинов И.С. Способ и устройство для экс-пресс-сравнения состояния и качества моторных масел. Электронное периодическое издание «Воздушно-космические силы. Теория и практика». Издательство: ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. МО РФ (Воронеж) 2020 г. №15. С. 108–116.

7. Папок К.К., Виппер А.Б. Нагары, лаковые отложения и осадки в автомобильных двигателях. М.: Машгиз, 1956. 156 с.

8. Патент на изобретение № 2758746 от 01.11.2021 г. Российская Федерация МПК G01N 27/00, G01N 38/28, G01N 33/30, F01N 11/10. Способ оперативного контроля качества трансмиссионного масла. Филатов И.С., Воронин Н.В., Родионов Ю.В., Никитин Д.В. Рыбин Г.В., Ломовских А.Е. // Заявка №2021106346; заявл. 11.03.2021. 7 с.

9. Ломовских А.Е., Армянинов И.С., Прилепин О.Е., Маматказин Т.Р. Способ и устройство для экс-пресс-анализа состояния и качества моторных масел. Сборник материалов Международной НПК «Наука и обра-зование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». (Россия, Воронеж, 24-25 ноября 2020 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. С.85-89.

10. Рунда М.М. Метод контроля состояния моторных масел при длительном хранении техники: дис. канд. тех. наук: 05.11.13/ Рунда Михаил Михайлович. К.,2014. С. 37–59.

11. Верещагин В.И. Метод контроля состояния моторных масел по концентрации продуктов старения и противоизносным свойствам: дис. канд. тех. наук: 05.11.13 / Верещагин Валерий Иванович. Томск, 2014. 135 с.

References

1. GOST 17479.1-2015. Motor oils. Classification and designation. M.: Publishing House of standards. 8 p.

2. Balabanov V.I. Unassembled restoration of rubbing joints of the car. Methods and means. M.: LLC "AST Publishing House", 2003. 61 p.

3. Wear and durability of automobile engines. M.A. Grigoriev, N.N. Ponomarev. M. Mechanical engineering 1976. pp. 14-58.

4. Folders K.K. Lubricating oils. M.: USSR Ministry of Defense, 1953. 101 p.

5. Mikutenok Yu.A., Shkarenko V.A., Reznikov V.D. Diesel engine lubrication systems. L-d: Mechanical engineering. 1986. 126 p.

6. Tomilov A.A., Lomovskikh A.E., Kanishchev A.S., Armyaninov I.S. Method and device for ex-press comparison of the condition and quality of motor oils. Electronic periodical "Aerospace Forces. Theory and practice". Publishing house: FGKVOU VUNTS VVS "VVA" named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. Ministry of Defense of the Russian Federation (Voronezh) 2020 No.15. pp. 108-116.

7. Folders K.K., Vipper A.B. Nagary, varnish deposits and sediments in automobile engines. Moscow: Mashgiz, 1956. 156 p.

8. Patent for invention No. 2758746 dated 01.11.2021, Russian Federation IPC G01N 27/00, G01N 38/28, G01N 33/30, F01N 11/10. A method of operational quality control of transmission oil. Filatov I.S., Voronin N.V., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V. Rybin G.V., Lomovskikh A.E. // Application No. 2021106346; application No. 11.03.2021. 7 p.

9. Lomovskikh A.E., Armyaninov I.S., Prilepin O.E., Mamatkazin T.R. Method and device for express analysis of the condition and quality of motor oils. Collection of materials of the International NPC "Science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them". (Russia, Voronezh, November 24-25, 2020). Voronezh: Voronezh State Technical University, 2020. pp.85-89.

10. Runda M.M. Method of monitoring the condition of motor oils during long-term storage of equipment: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.11.13/ Runda Mikhail Mikhailovich. K.,2014. pp. 37-59.

11. Vereshchagin V.I. Method of monitoring the condition of motor oils by the concentration of aging products and anti-wear properties: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.11.13 / Vereshchagin Valery Ivanovich. Tomsk, 2014. 135 p.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; С.И. Данилин – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; Р. В. Могутнов – кандидат технических наук; А.Е. Ломовских - кандидат технических наук, доцент; И.С. Армянинов – соискатель.

Information about the authors

Y. Rodionov - Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Danilin - Candidate of Agricultural Sciences, Professor; R. Mogutnov - candidate of technical sciences; A. Lomovskikh - candidate of technical sciences, associate professor; I. Armenianinov - applicant.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 21.12.2023 Принята к публикации (Accepted): 15.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.362.36
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-100-107

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Николай Петрович Тишанинов[1], Александр Витальевич Анашкин[2], Сергей Владимирович Емельянович[3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Витальевич Анашкин, av-anashkin@mail.ru
Corresponding author: Alexander Anashkin, av-anashkin@mail.ru

Реферат. *Аэродинамические свойства компонентов зернового вороха при его послеуборочной подработке являются одним из важнейших параметров, влияющих на качество получаемого зерна и семян. Рассмотрены существующие устройства, позволяющие установить скорости витания зерновых материалов, отмечены их недостатки и ограничения. Разработан парусный пневмоклассификатор, обеспечивающий плавную регулировку скорости воздушного потока и высокую точность его измерения. Проведены экспериментальные исследования по установлению полигонов распределения скоростей витания для ряда зерновых материалов с помощью разработанного классификатора. Установлено, что диапазоны скоростей витания для разных культур существенно различаются. Для пшеницы и гречишки вьюнковой диапазоны скоростей витания не пересекаются, что позволяет полностью их разделить с помощью воздушного потока со скоростью 5,91-8 м/с. Скорость витания сорго (8,37-10,02 м/с) полностью перекрывается диапазоном этого показателя для пшеницы, поэтому разделить их с помощью аспирационных систем не представляется возможным. Диапазоны критических скоростей проса, вики и пшеницы частично пересекаются, что свидетельствует о невозможности полного отделения этих примесных компонентов без потерь зерна основной культуры. При скорости воздушного потока 9 м/с из зерносмеси пшеница-просо будет выделено 96,9 % примесного компонента при технологических потерях основной культуры на уровне 4 %. Даже при незначительном увеличении скорости воздушного потока неизбежно существенное увеличение потерь пшеницы. Вику можно полностью отделить от пшеницы при скорости воздушного потока 11 м/с с потерями 1,8 % пшеницы. Результаты выполненных исследований необходимы для повышения эффективности использования пневмосепарирующего оборудования за счет применения обоснованных рациональных режимов работы.*

Ключевые слова: *зерно, сорные примеси, скорость витания, полигон распределения, парусный пневмоклассификатор.*

RESULTS OF INVESTIGATIONS OF AERODYNAMIC PROPERTIES OF GRAIN MATERIALS

Nikolai Tishaninov[1], Alexander Anashkin[2], Sergey Emelyanovich[3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru, [3]seruvarovo@yandex.ru

Abstract. *The aerodynamic properties of the components of the grain pile during its post-harvest processing are one of the most important parameters affecting the quality of the resulting grain and seeds. Existing devices are considered that allow establishing the speed of soaring of grain materials, their shortcomings and limitations are noted. A sail pneumatic classifier has been developed that*

provides smooth adjustment of the air flow rate and high accuracy of its measurement. Experimental studies have been carried out to establish polygons for the distribution of soaring speeds for a number of grain materials using the developed classifier. It has been established that the ranges of soaring speeds for different crops differ significantly. The soaring speed ranges for wheat and bindweed buckwheat do not intersect, which allows them to be completely separated using an air flow at a speed of 5.91-8 m/s. The soaring speed of sorghum (8.37-10.02 m/s) is completely covered by the range of this indicator for wheat, so it is not possible to separate them using aspiration systems. The ranges of critical rates of millet, vetch and wheat partially intersect, which indicates the impossibility of complete separation of these impurity components without loss of grain of the main crop. At an air flow rate of 9 m/s, 96.9% of the impurity component will be released from the wheat-millet grain mixture with technological losses of the main crop at the level of 4%. Even with a slight increase in the air flow rate, a significant increase in wheat losses is inevitable. Vetch can be completely separated from wheat at an air speed of 11 m/s with a loss of 1.8% of wheat. The results of the performed studies are necessary to improve the efficiency of the use of pneumatic separating equipment through the use of reasonable rational operating modes.

Keywords: *grain, weed impurities, soaring speed, distribution area, sail pneumatic classifier.*

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Результаты исследований аэродинамических свойств зерновых материалов // Наука в Центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 100-107. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-100-107.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A., Emelyanovisch S. Results of investigations of aerodynamic properties of grain materials. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 100-107. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-100-107.

Введение. При послеуборочной подработке урожая зерновых культур на зерноочистительных агрегатах осуществляется разделение компонентов зерносмесей по ряду признаков, характеризующих физико-механические свойства сыпучих материалов [1-5]. Одним из важных признаков, характеризующих аэродинамические свойства сыпучего материала, является скорость витания частиц или критическая скорость. По этому признаку в существующих зерноочистительных технологиях с помощью аспираторов, аспирационных колонок, пневмосепараторов, пневмосепарирующих каналов отделяются легкие примеси от зерна основной культуры. При проектировании указанных устройств, а также пневмотранспортных установок [6, 7], для определения оптимальных режимов их работы необходима информация о полигонах распределения скоростей витания разделяемых или транспортируемых сыпучих материалов.

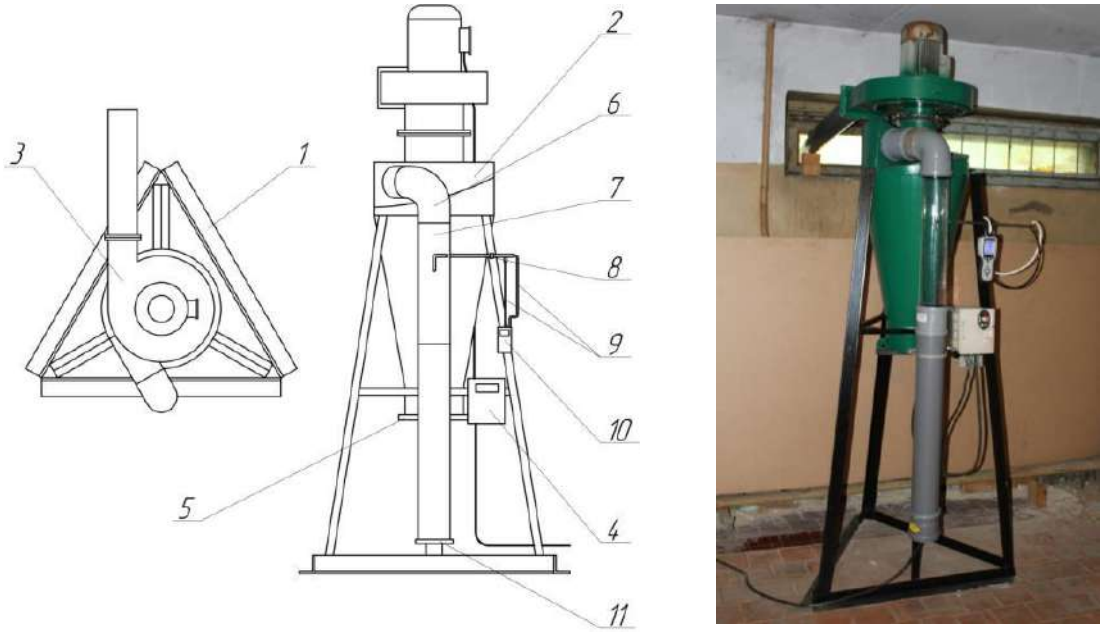
Кроме того физико-механические свойства зерновых материалов, в том числе аэродинамические, необходимо контролировать при экспериментальных исследованиях любых технологических процессов, протекающих в зерноочистительных технологиях, что повышает достоверность получаемых результатов.

В литературных источниках имеются результаты исследований аэродинамических свойств ряда зерновых материалов [8-16], однако эти свойства существенно зависят от множества факторов: влажности материала, натуры, плотности частиц, их формы и линейных размеров, шероховатости поверхности и т.д. Множественность сочетаний этих факторов требует контроля аэродинамических свойств в каждом конкретном случае разработки зерноочистительных технологий или эксплуатационной настройки оборудования. Существующие конструкции, позволяющие определить скорости витания зерновых материалов [17-20], имеют низкую точность измерений, габаритны, сложны и имеют существенные ограничения в использовании. В связи с этим разработан пневмоклассификатор, исключающий отмеченные недостатки.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования аэродинамических свойств зерновых материалов проводились на разработанном и изготовленном нами парусном классификаторе, конструктивная схема и общий вид которого представлены на рисунке 1.

Пневмоклассификатор содержит: раму 1; циклон 2 с вентилятором 3, подключенным к частотному преобразователю 4, и выгрузной крышкой 5; воздуховод 6 с прозрачной вставкой 7, в которую установлена трубка Пито 8 с помощью воздушных трубок 9, подключенных к дифференциальному манометру 10, и загрузочной чашей 11 с сеткой.

В качестве исследуемых материалов были использованы семена пшеницы, гречишки вьюнковой, сорго, проса, вики. На рисунке 2 представлена загрузочная чаша 11 с исследуемой навеской гречишки вьюнковой.



1 – рама, 2 – циклон, 3 –вентилятор, 4 – частотный преобразователь, 5 – выгрузная крышка, 6 – воздуховод, 7 – прозрачная вставка, 8 – трубка Пито, 9 – воздушные трубки, 10 – дифференциальный микроманометр, 11 – загрузочная чаша с сеткой

Рисунок 1 – Парусный пневмоклассификатор

Рисунок 2 – Загрузочная чаша с навеской гречишки вьюнковой

Порядок использования пневмоклассификатора следующий. Перед началом эксперимента в загрузочную чашу 11 засыпают навеску зерна исследуемого материала. Включают вентилятор 3 и с помощью частотного преобразователя 4 устанавливают начальную скорость воздушного потока в воздуховоде 6, которую контролируют дифференциальным манометром 10, соединенным с трубкой Пито 8 воздушными трубками 9. При этом часть исследуемого материала воздушным потоком будет вынесена из загрузочной чаши 11 в циклон 2. После этого вентилятор 3

выключают, открывают выгрузную крышку 5, собирают исследуемый материал и взвешивают на электронных лабораторных весах ВК-600 с точностью 0,01 г. Далее выгрузную крышку 5 закрывают, включают вентилятор 3, и с помощью частотного преобразователя 4 и микроманометра 10, увеличивают скорость воздушного потока согласно запланированным интервалам варьирования. Цикл измерений повторяют до полного израсходования исследуемого материала.

Результаты и их обсуждение. С помощью созданного нами оборудования были исследованы аэродинамические свойства некоторых зерновых материалов, таблица 1.

Таблица 1 – Скорости витания исследуемых материалов

Скорость воздушного потока V, м/с	Масса выделенных частиц m, г	Доля выделенных частиц (частота события) *f*, %
Пшеница		
8	0,44	1,3
9	0,9	2,7
10	7,81	23,2
11	18,6	55,8
12	5,6	16,8
Гречишка вьюнковая		
4,85	0,72	13,6
5,11	0,77	14,6
5,47	2,18	41,3
5,65	1,08	20,5
5,91	0,53	10,0
Сорго		
8,37	0,45	4,0
8,77	1,18	10,5
8,84	2,11	18,8
9,46	4,85	43,1
10,02	2,65	23,6
Просо		
7,49	0,17	1,9
7,79	0,4	4,5
8,17	0,86	9,8
8,45	2,14	24,3
8,7	3,15	35,7
8,99	1,65	18,7
9,16	0,45	5,1
Вика		
11,4	0,66	4,1
11,95	2,52	15,6
12,09	2,18	13,5
12,46	1,82	11,3
12,64	5,54	34,3
12,8	1,75	10,8
13,03	1,67	10,3

Из таблицы 1 видно, что диапазоны скоростей витания для разных культур существенно различаются. Если рассматривать пшеницу как основную культуру, а остальные в качестве сорных примесей, то по полученным результатам исследований можно установить возможности

выделения компонентов с помощью воздушного потока. Для пшеницы и гречишки вьюнковой диапазоны скоростей витания не пересекаются, что позволяет полностью их разделить с помощью воздушного потока со скоростью 5,91-8 м/с.

Скорость витания сорго (8,37-10,02 м/с) полностью перекрывается диапазоном этого показателя у пшеницы, поэтому разделить их с помощью аспирационных систем не представляется возможным. Поэтому сорго целесообразно выделять из пшеницы с помощью ячеистой поверхности кукольного триера [21].

Диапазоны критических скоростей проса, вики и пшеницы частично пересекаются, что свидетельствует о невозможности полного отделения этих примесных компонентов без потерь зерна основной культуры. Так при скорости воздушного потока 9 м/с из зерносмеси пшеница-просо будет выделено 96,9% примесного компонента при технологических потерях на уровне 4 %. Даже при незначительном увеличении скорости воздушного потока неизбежно существенное увеличение потерь пшеницы.

Вику можно полностью отделить от пшеницы при скорости воздушного потока 11 м/с с технологическими потерями 1,8 %. При этом пшеница будет выноситься воздушным потоком, превышающим ее критические скорости, а семена вики будут оседать. Поэтому такой режим пневмосепарирования можно рассматривать только в случае, когда основной культурой является вика, а пшеница присутствует в зерносмеси в малых количествах наряду с другими примесями. В этом случае степень выделения пшеницы, как примесного компонента, составит 98,2 %. Для полного ее выделения необходим воздушный поток со скоростью более 12 м/с, что приведет к потерям более 19,7 % вики.

В графическом виде полигоны распределения скоростей витания частиц некоторых из исследованных материалов представлены на рисунках 3 - 6.

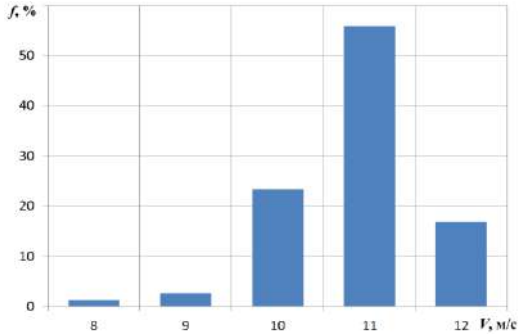


Рисунок 3 – Полигон распределения скоростей витания пшеницы

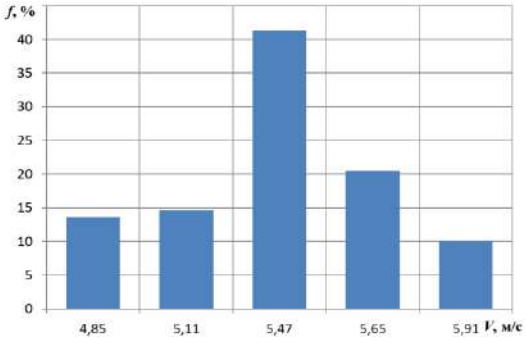


Рисунок 4 – Полигон распределения скоростей витания гречишки вьюнковой

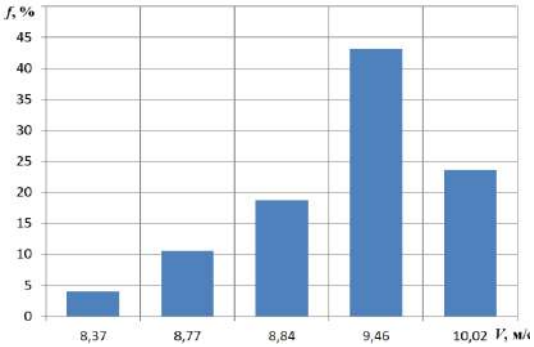


Рисунок 5 – Полигон распределения скоростей витания сорго

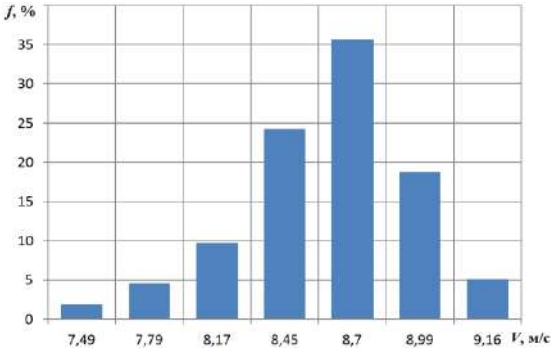


Рисунок 6 – Полигон распределения скоростей витания проса

В ходе исследований установлено, что взаимосвязь скорости воздушного потока (V) в воздуховоде с частотой тока (*f*) в схеме электропривода вентилятора имеет линейный характер с высокой степенью корреляции (величина достоверности аппроксимации составляет $R^2 = 0,9971$) и описывается уравнением:

$$V = 0,5483f - 0,2614. \quad (1)$$

Незначительные отклонения скорости потока объясняются нестабильностью напряжения в питающей сети.

Заключение. Разработанный парусный классификатор позволяет качественно выполнять исследования аэродинамических свойств зерновых материалов. Анализ установленных полигонов распределения их скоростей витания позволяет оценить возможности разделения компонентов зерносмесей с помощью воздушного потока в пневмосепарирующих зерноочистительных машинах с учетом качества очистки и вероятных технологических потерь зерна основной культуры. Кроме того, результаты исследований аэродинамических свойств зерновых материалов необходимы при разработке пневмосепарирующего оборудования и повышения эффективности его использования за счет применения рациональных режимов работы.

Список источников

1. Заика П.М., Мазнев Г.Е. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. – М.: «Колос», 1978. – 287 с.

2. Тиц З.Л., Анискин В.И. и др. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. М.: «Машиностроение», 1967. – 447 с.

3. Федоренко В.Ф., Ревякин Е.Л. Зерноочистка – состояние и перспективы. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 204 с.

4. Дринча В.М. Правила очистки семян трав // Земледелие. – 2001. – № 5. – С. 36.

5. Куликов В.Н., Миловидов М.Е. Оборудование предприятий элеваторной и зерноперерабатывающей промышленности. – М.: «Колос», 1984. – 336 с.

6. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: «Колос», 1976. – 344 с.

7. Александров А.Н., Козориз Г.Ф. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: Справочник / Под ред. А.Н. Александрова. – М.: Лесн. Пром-сть, 1988. – 248 с.

8. Деревенко В.В., Коробченко А.С., Аленкина И.Н. Скорость витания семян тыквы сортов «Зимняя сладкая» и «Гитара» // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2011. – № 5-6 (323-324). – С. 107-108.

9. Деревенко В.В., Глущенко Г.А. Скорость витания ядра и лузги семян подсолнечника // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2011. – № 1 (319). – С. 89-90.

10. Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Яковлев М.А., Смирнов А.В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик гранулированных сыпучих материалов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2 (31). – С. 29-33.

11. Воронов А.М. Разделение зерновой вороха белого люпина по аэродинамическим свойствам / В сборнике: Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России. Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых. –2016. – С. 98-101.

12. Карпов В.П., Жуков С.А. Исследование аэродинамических свойств стебельных кормов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 2 (30). – С. 147-149.

13. Шаршунов В.А., Сентюров Н.С., Цайц М.В. Определение скорости витания компонентов вороха льнокостры // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 171-175.

14. Вайтехович Ю.А., Кузнецов Н.С. Аэродинамические свойства зерен пшеницы: определение скорости их витания в воздушном потоке / В сборнике: Современные проблемы науки. Материалы Российской национальной научной конференции с международным участием. – 2017. – С. 56-59.

15. Гультяев И.А. Результаты исследования аэродинамических свойств зерна ячменя / В сборнике: Молодежь XXI века: шаг в будущее. Материалы XIX региональной научно-практической конференции. – 2018. – С. 233-234.

16. Доровских Д.В. Обоснование конструктивно-режимных параметров совмещенной пневмотранспортно-сепарирующей системы по критериям качества технологического процесса : дис. … канд. тех. наук :05.20.01. – 2002. – 245 с.

17. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат, 1986. – С. 581-582.

18. Пат. 2125493 Российская Федерация, Пневматический классификатор / Кирсанов В.А., Славянский В.Н., Таранушич В.А., Новоселов А.М., Богданов А.В. – № 94044407/03; заявл. 19.12.1994; опубл. 27.01.1999.

19. Пат. 2019315 Российская Федерация, Пневмоклассификатор / Герцен Н.И. – № 5028735/03; заявл. 24.02.1992; опубл. 15.09.1994.

20. Пат. 2169626 Российская Федерация, Пневмоклассификатор / Кирсанов В.А., Таранушич В.А., Филин В.М., Кирсанов М.В., Титаренко В.В. – № 99125484/03; заявл. 30.11.1999; опубл. 27.06.2001, Бюл. № 18.

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

References

1. Zaika P.M., Maznev G.E. Separation of seeds according to the complex of physical and mechanical properties. - M.: "Spike", 1978. - 287 p.

2. Tits Z.L., Aniskin V.I. and other Machines for post-harvest in-line seed treatment. M.: "Engineering", 1967. - 447 p.

3. Fedorenko V.F., Revyakin E.L. Grain cleaning - state and prospects. - M.: FGNU "Rosinformagrotech", 2006. - 204 p.

4 Drincha V.M. Rules for cleaning grass seeds // Agriculture. - 2001. - No. 5. - P. 36.

5. Kulikov V.N., Milovidov M.E. Equipment for enterprises of the elevator and grain processing industry. - M.: "Kolos", 1984. - 336 p.

6. Zuev F.G. Pneumatic transportation at grain processing enterprises. - M .: "Kolos", 1976. - 344 p.

7. Alexandrov A.N., Kozoriz G.F. Pneumatic transport and dust collection facilities at woodworking enterprises: a Handbook / Ed. A.N. Alexandrova. – M.: Lesn. Prom-st, 1988. - 248 p.

8. Derevenko V.V., Korobchenko A.S., Alenkina I.N. Vitalization rate of pumpkin seeds varieties "Winter Sweet" and "Guitar" Food technology. - 2011. - No. 5-6 (323-324). - S. 107-108.

9. Derevenko V.V., Glushchenko G.A. The speed of soaring of the kernel and husks of sunflower seeds. Izvestia of higher educational institutions. Food technology. - 2011. - No. 1 (319). – S. 89-90.

10. Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Yakovlev M.A., Smirnov A.V. Experimental study of the aerodynamic characteristics of granular bulk materials // Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy. - 2020. - No. 2 (31). - S. 29-33.

11. Voronov A.M. Separation of the grain heap of white lupine according to aerodynamic properties / In the collection: Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex of Russia. Collection of materials of the International scientific-practical conference of young scientists. –2016. - S. 98-101.

12. Karpov V.P., Zhukov S.A. Study of the aerodynamic properties of stalk fodder // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry. - 2018. - No. 2 (30). - S. 147-149.

13. Sharshunov V.A., Sentyurov N.S., Tsayts M.V. Determination of the soaring speed of the components of a heap of flax fires // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. - 2021. - No. 2. - P. 171-175.

14. Vaitekhovich Yu.A., Kuznetsov N.S. Aerodynamic properties of wheat grains: determining the speed of their soaring in the air stream / In the collection: Modern problems of science. Proceedings of the Russian National Scientific Conference with International Participation. - 2017. - S. 56-59.

15. Gultyaev I.A. The results of the study of the aerodynamic properties of barley grain / In the collection: Youth of the XXI century: a step into the future. Materials of XIX regional scientific-practical conference. - 2018. - S. 233-234.

16. Dorovskikh D.V. Substantiation of constructive-regime parameters of the combined pneumotransport-separating system according to the quality criteria of the technological process: dis. … cand. those. Sciences: 05.20.01. - 2002. - 245 p.

17. Listopad G.E., Demidov G.K., Zonov B.D. Agricultural and reclamation machines. - M.: Agropromizdat, 1986. - S. 581-582.

18. Pat. 2125493 Russian Federation, Pneumatic classifier / Kirsanov V.A., Slavyansky V.N., Taranushich V.A., Novoselov A.M., Bogdanov A.V. – No. 94044407/03; dec. 12/19/1994; publ. 01/27/1999.

19. Pat. 2019315 Russian Federation, Pneumatic classifier / Herzen N.I. - No. 5028735/03; dec. 02/24/1992; publ. 09/15/1994.

20. Pat. 2169626 Russian Federation, Pneumatic classifier / Kirsanov V.A., Taranushich V.A., Filin V.M., Kirsanov M.V., Titarenko V.V. – No. 99125484/03; dec. 11/30/1999; publ. 06/27/2001, Bull. No. 18.

21. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. The quality of isolation of mustard and sorghum seeds from wheat with cellular surfaces // Science in Central Russia. - 2017. - No. 3 (27). - S. 42-48.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор; А.В. Анашкин - доктор технических наук; С.В. Емельянович – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N.P. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor; A.V. Anashkin - Doctor of Technical Sciences; S.V. Emelyanovich – junior researcher.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 17.12.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.348.46
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-108-115

ФОРМАЛИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПРЫСКИВАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ РАСХОДОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Алексей Иванович Купреенко[1], Владимир Васильевич Кузнецов[2], Хафиз Мубариз-оглы Исаев[3], Самир Хафизович Исаев[4]
[1,2,3,4] Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия
[1]kupreenkoai@mail.ru, [2]vlg3k@rambler.ru, [3]haf-is@mail.ru, [4]Samir.isaev.94@inbox.ru

Автор ответственный за переписку: Алексей Иванович Купреенко, kupreenkoai@mail.ru
Corresponding author: Alexey Kupreenko, kupreenkoai@mail.ru

Реферат. *Разнообразие природных условий и возделываемых сельскохозяйственных культур, различный уровень окультуренности полей обусловливают различие оптимальных конструктивных параметров и функциональных свойств опрыскивателей для их эффективного использования. Для обоснования оптимальных параметров опрыскивателей применительно к различным условиям используются методы натурного эксперимента, расчётный метод и метод компьютерного моделирования. При компьютерном моделировании обязательно учитываются не только конструктивные, но и динамические характеристики агрегатов. Одним из этапов при компьютерном моделировании функционирования опрыскивающих агрегатов является предварительная формализация нестационарности и нелинейности их статических и динамических свойств. Методом формализации результатов натурного эксперимента получена формула зависимости главного момента инерции опрыскивателя при различном уровне жидкости в ёмкости цилиндрической формы. Для проведения натурного эксперимента предложен оригинальный стенд и методика проведения. Расчётным методом получена математическая зависимость изменения высоты центра масс опрыскивающего агрегата от конструктивных параметров ёмкости и уровня жидкости в ней. Полученные результаты могут быть использованы при Simulink-моделировании функционирования опрыскивающего агрегата и определении его оптимальных параметров для различных условий работы по известной методике.*

Ключевые слова: *опрыскиватель, ёмкость опрыскивателя, центр масс, момент инерции, формализация.*

FORMALIZATION OF NONLINEAR CHARACTERISTICS OF THE SPRAYER IN THE PROCESS OF WORKING FLUID CONSUMPTION

Alexey Kupreenko [1], Vladimir Kuznetsov [2], Khafiz Isaev [3], Samir Isaev [4]
[1,2,3,4]Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia
[1]kupreenkoai@mail.ru, [2]vlg3k@rambler.ru, [3]haf-is@mail.ru, [4]Samir.isaev.94@inbox.ru

Abstract. *The diversity of natural conditions and cultivated crops, the different level of fields cultivation determines the difference in optimal design parameters and functional properties of sprayers for their effective use. Field experiment methods, calculation method and computer simulation method are used to substantiate the optimal parameters of sprayers in relation to various conditions. In computer modeling, not only the structural, but also the dynamic characteristics of the units are necessarily taken into account. One of the stages in computer modeling of the spraying units functioning is the preliminary formalization of non-stationarity and non-linearity of their static and dynamic properties. The formula for the dependence of the main moment of inertia of the sprayer at a different level of liquid in a cylindrical container was obtained by formalizing the results of a full-scale experiment. The original stand and the method of carrying out are proposed for conducting a full-scale experiment. The mathematical*

dependence of the change in the height of the center of mass of the spraying unit on the design parameters of the tank and the liquid level in it was obtained by the calculation method. The results obtained can be used in Simulink modeling of the functioning of the spraying unit and determining its optimal parameters for various operating conditions using a known method.

Keywords: *sprayer, sprayer capacity, center of mass, moment of inertia, formalization.*

Для цитирования: Купреенко А.И., Кузнецов В.В., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Формализация нелинейных характеристик опрыскивателя в процессе расходования рабочей жидкости // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 108-115. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-108-115.

For citation: Kupreenko A., Kuznetsov V., Isaev K., Isaev S. Formalization of nonlinear characteristics of the sprayer in the process of working fluid consumption. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 108-115. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-108-115.

Введение. Инновационные технологии возделывания полевых сельскохозяйственных культур включают в себя операцию химической защиты растений с использованием опрыскивающих агрегатов [1]. Широкая номенклатура опрыскивающих агрегатов используется и в сельхозпредприятиях Брянской области [2, 3]. Наличие широкого спектра различий полевых условий работы в различных хозяйствах области, например, мелкоконтурность полей, различный микро и мезорельеф и т. д., разнообразие возделываемых полевых культур, не всегда позволяют эффективно использовать опрыскиватели серийных конструкций. Актуальность приобретает вопрос их дальнейшей оптимизации. В этом направлении коллективом Брянского ГАУ проводится работа не только по совершенствованию конструкций опрыскивателей [4, 5, 6, 7], но и по оптимизации их функциональных свойств.

В свою очередь, современные методы исследования и оптимизации параметров мобильных сельскохозяйственных агрегатов, в частности опрыскивающих, предполагают компьютерное моделирование их движения. При этом обязательно учитываются не только конструктивные, но и динамические характеристики агрегатов, зависящие от массы, моментов инерции, положения центра масс, диссипативных и жесткостных свойств внутренних связей [8].

Одним из этапов при компьютерном моделировании функционирования опрыскивающих агрегатов является формализация нестационарности и нелинейности их статических и динамических свойств. В приложении Simulink к компьютерной программе Manlab 6 [9] имеется библиотека блоков, из которых при моделировании возможно построение схем преобразования входных сигналов в выходные на основе задаваемых оператором математических описаний. Получить такие описания можно расчётным методом или методом формализации результатов натурных экспериментов.

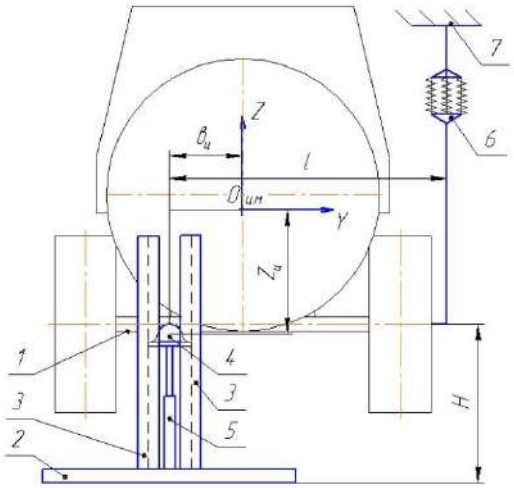
Автором [10] предложены для описания колебания неполно-налитой цистерны сложные математические зависимости, но не указан способ их реализации при моделировании функционирования опрыскивателей.

Материалы и методы. Целью работы явилось формализация изменения высоты центра масс и главного момента инерции опрыскивающего агрегата при расходовании рабочей жидкости в ёмкости.

Исследование проводилось с опрыскивателем? имеющим ёмкость для рабочей жидкости цилиндрической формы. Величину момента инерции I_x опрыскивателя относительно продольной оси агрегата при различном уровне жидкости в ёмкости определяли методом раскачивания на пружинном блоке.

Для исследования был разработан и изготовлен с использованием патента [11] специальный стенд, показанный на рисунке 1.

Раскачивая на пружинном блоке 6 опрыскиватель, установленный рамой 1 на вращающуюся в подшипниках ось 4, по схеме, представленной на рисунке 1, с помощью защищённой патентом [11] измерительной системы и ноутбука осуществляли запись 7 колебаний опрыскивателя в трёх повторностях.



1 – рама опрыскивателя; 2 – основание стенда; 3 – вертикальные стойки; 4 – ось на подшипниковых опорах с датчиком угла поворота на основе компьютерной мыши; 5 – домкрат; 6 – блок пружин; 7 – тележка кран-балки; $в_с$ и $z_с$ – координаты привязки точки опоры опрыскивателя к центру масс опрыскивателя; l – расстояние от точки подвеса опрыскивателя к блоку пружин до оси вращения по горизонтали, м.

Рисунок 1 – Схема установки опрыскивателя на стенд при определении момента инерции I_x.

Момент инерции опрыскивателя относительно оси вращения оси опоры определили по известной формуле (1)

$$I_0 = \frac{T^2 k_{CT}^2 l^2}{4\pi^2}, \quad (1)$$

где: T – период колебаний, с; k_{CT} – коэффициент жёсткости пружинного блока, Н/м;

l – расстояние от точки подвеса опрыскивателя к блоку пружин до оси вращения по горизонтали, м.

Перерасчёт момента инерции I_x относительно главной оси OX выполнили по формуле (2)

$$I_x = I_0 - M(l^2 - в_ц^2 - z_ц^2) \quad (2)$$

Ордината $z_ц$ центра масс опрыскивающего агрегата при различном уровне жидкости в ёмкости меняется. Определить её экспериментально технически сложно, поэтому нами применён расчётный метод.

На первом этапе формализовали зависимость между высотой центра масс ёмкости с жидкостью и временем работы распыливающего устройства опрыскивающего агрегата. Расчётная схема ёмкости цилиндрической формы с жидкостью приведена на рисунке 2.

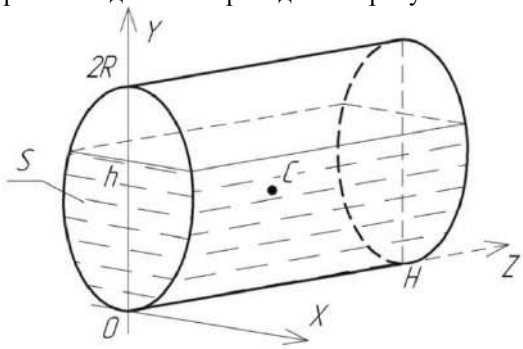


Рисунок 2 – Расчётная схема ёмкости опрыскивателя с жидкостью

Для расчётов приняли следующие обозначения: $m_б$ – масса пустой ёмкости, $m_ж$ – масса находящейся в ёмкости жидкости в произвольный момент времени t, R - ордината y центра масс пустой ёмкости, H - длина ёмкости, $y_ж$ - ордината центра масс находящейся в ёмкости жидкости. На основании схемы центр масс ёмкости с жидкостью имеет координаты C(0; y; H/2)

Таким образом, задача сводится к определению ординаты y_C центра масс ёмкости с жидкостью как двухмассовой системы.

В общем случае ордината центра масс двухмассовой системы определяется по формуле (3)

$$y_C = \frac{m_б \cdot R + m_ж \cdot y_ж}{m_б + m_ж} \tag{3}$$

Найдём $m_ж$ и $y_ж$., для чего выразим массу жидкости в полностью заполненной ёмкости через её геометрические параметры по формуле (4)

$$m = \pi R^2 H \rho \tag{4}$$

Обозначим через S площадь живого сечения ёмкости не полностью заполненной жидкостью в момент времени t.

Найдём площадь S, рисунок 2. Для этого рассмотрим рисунок 3.

Обозначив через S площадь живого сечения ёмкости не полностью заполненной жидкостью в момент времени t, получим

$$m_ж = \frac{S}{\pi R^2} m \tag{5}$$

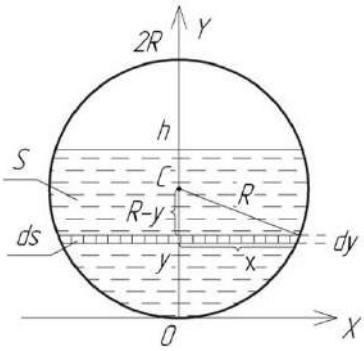


Рисунок 3 – Расчётная схема цилиндрической ёмкости опрыскивателя в поперечном сечении.

Пусть dS – площадь бесконечно узкой горизонтальной полоски шириной dy, находящейся на высоте y от дна ёмкости. Тогда, согласно рисунок 3,

$$dS = 2x dy \tag{6}$$

Учтя, что

$$x = \sqrt{R^2 - (R-y)^2}\,, \tag{7}$$

Получим

$$ds = 2\sqrt{R^2 - (R-y)^2} \cdot dy \tag{8}$$

Тогда вся искомая площадь S, изображённая на рисунке 3, найдётся интегрированием величины dS по формуле (9)

$$S = \sum dS = \int_0^h 2\sqrt{R^2 - (R-y)^2} \cdot dy \tag{9}$$

После преобразований получим формулу (10)

$$S = R^2\left[\frac{\pi}{2} - (1-\frac{h}{R})\sqrt{\frac{h}{R}(2-\frac{h}{R})} - \arcsin(1-\frac{h}{R})\right] \quad (10)$$

Обозначим
$$\frac{h}{R} = \gamma \quad (11)$$

Тогда
$$S = R^2 \cdot f(\gamma) \quad (12)$$

где
$$f(\gamma) = \frac{\pi}{2} - (1-\gamma)\sqrt{\gamma(2-\gamma)} - \arcsin(1-\gamma) \quad (13)$$

С учётом формулы (12) формула (5) примет вид

$$m_{ж} = \frac{f(\gamma)}{\pi} \cdot m \quad (14)$$

Далее найдём ординату $y_{ж}$ поверхности жидкости, налитой в ёмкость, т.е. ординату центра тяжести пластинки S, изображённой на рисунке 3.

$$y_{ж} = \frac{\sum ydS}{\sum dS} = \frac{2\int_0^h y\sqrt{R^2-(R-y)^2}dy}{S} \quad (15)$$

После преобразований получим

$$y_{ж} = \frac{2}{S}(RA - B) \quad (16)$$

где
$$A = \int_{R-h}^{R}\sqrt{R^2-t^2}dt \quad (17)$$

$$B = \int_{R-h}^{R}\sqrt{R^2-t^2}tdt \quad (18)$$

Интеграл (17) после вычисления примет вид

$$A = \frac{R^2}{2}f(\gamma) \quad (19)$$

Вычислим интеграл (18). Учтём при этом, что

$$\int\sqrt{R^2-t^2}\cdot tdt = -\frac{(\sqrt{R^2-t^2})^3}{3} + C$$ - табличный интеграл.

Применим формулу Ньютона – Лейбница и после преобразований получим формулу (20)

$$B = \int_{R-h}^{R}\sqrt{R^2-t^2}tdt = \frac{R^3}{3}(\sqrt{\gamma(2-\gamma)})^3 \quad (20)$$

С учётом формул (19) и (20) формула (16) примет вид

$$y_{ж} = \frac{2}{S}\left[\frac{R^3}{2}f(\gamma) - \frac{R^3}{3}(\sqrt{\gamma(2-\gamma)})^3\right] = R\cdot\frac{3f(\gamma) - 2(\sqrt{\gamma(2-\gamma)})^3}{3f(\gamma)} \quad (21)$$

Введём обозначение

$$P(\gamma) = \frac{3f(\gamma) - 2(\sqrt{\gamma(2-\gamma)})^3}{3f(\gamma)} \quad (22)$$

Тогда
$$y_{ж} = R \cdot P(\gamma) \tag{23}$$

Подставив значения $m_{ж}$ из (14) и $y_{ж}$ из (23) в формулу (3), получим

$$y_C = \frac{m_б R + \frac{f(\gamma)}{\pi} \cdot mR \cdot P(\gamma)}{m_б + \frac{f(\gamma)}{\pi} \cdot m} \tag{24}$$

Отсюда следует, что:

$$\frac{y_C}{R} = \frac{m_б + \frac{1}{\pi} \cdot f(\gamma) \cdot P(\gamma) \cdot m}{m_б + \frac{1}{\pi} f(\gamma) m} \tag{25}$$

Введя безразмерные величины $\frac{y_c}{R} = y_0$ и $\frac{m_б}{m} = m_0$, получим окончательно

$$y_0 = \frac{m_0 + \frac{1}{\pi} \cdot f(\gamma) P(\gamma)}{m_0 + \frac{1}{\pi} \cdot f(\gamma)} \tag{26}$$

Пусть из ёмкости за единицу времени при работе опрыскивающего агрегата расходуется объём жидкости q. При этом уровень жидкости в ёмкости будет понижаться. Найдём зависимость между уровнем жидкости h и временем работы t. За начало отсчёта времени принимаем положение, когда ёмкость заполнена полностью, т. е. $h = 2R$.

Пусть в момент времени t высота жидкости в ёмкости равна h. Тогда за время dt, прошедшее после времени t, высота жидкости уменьшится на некоторую величину dh. Соответствующая элементарная полоска сечения бочки будет иметь площадь

$$ds = -2\sqrt{R^2 - (R-h)^2}\, dh, \tag{27}$$

а соответствующий объём жидкости dV, израсходованный из ёмкости за время dt, будет равен

$$dV = ds \cdot H = -2H\sqrt{R^2 - (R-h)^2}\, dh \tag{28}$$

С другой стороны,

$$dV = q \cdot dt \tag{29}$$

Сравнивая формулы (28) и (29), получим

$$dt = -\frac{2H}{q}\sqrt{R^2 - (R-h)^2}\, dh \tag{30}$$

Интегрируя равенство (30), получим

$$t = -\frac{2H}{q}\int \sqrt{R^2 - (R-h)^2}\, dh \tag{31}$$

Вычислив интеграл, стоящий в правой части формулы (31), получим

$$t = -\frac{2h}{q} \cdot \frac{R^2}{2}\left[f(\gamma) - \frac{\pi}{2} \right] + C \tag{32}$$

Учитывая, что при $t = 0$ уровень жидкости $h=2R$, а согласно (13) $f(2) = \pi$, получим константу интегрирования C.

$$C = \frac{\pi R^2 H}{2q} \tag{33}$$

Подставив значение константы в формулу (32), получим

$$t = \frac{V}{q}\left[1 - \frac{f(\gamma)}{\pi}\right] \tag{34}$$

По формуле (34) для любого заданного значения γ можно найти время t за которое будет достигнут заданный уровень жидкости в ёмкости.

По формуле (3), с учётом (26), для любого заданного значения γ можно найти величину ординаты центра тяжести ёмкости с находящейся в ней в текущий момент времени жидкостью.

$$y_c = y_0 R, \tag{35}$$

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы при Simulink-моделировании функционирования опрыскивающего агрегата и определении его оптимальных параметров для различных условий работы по методике, изложенной в [8].

Список источников

1. В.Е. Ториков, О.В. Мельникова // Научные основы агрономии. СПб., 2020.

2. Материально-техническое обеспечение и инновационное развитие АПК Брянской области / С.А. Бельченко, И.Н. Белоус, В.В. Ковалев, М.П. Наумова, И.Д. Сазонова // Актуальные вопросы экономики и агробизнеса: сб. тр. XII междунар. науч.-практ. конф. Брянск, 2021. С. 388-400.

3. Сычев С.Н., Бельченко С.А., Ториков В.Е., Дронов А.В., Осипов А.А. Развитие АПК Брянской области (2018-2022) / // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2022. - № 5 (93). - С. 3-10.

4. Машина для борьбы с сорняками: пат. 69706. / Рос. Федерация: U1 / Кузнецов Е.В., Ермичев В.А., Кузнецов А.В., Кузнецов В.В.; заявл. 07.24.2007; опубл. 01.10.2008.

5. Машина для борьбы с сорняками в защитной зоне: пат. 74763. / Рос. Федерация: U1 / Кузнецов Е.В., Ермичев В.А., Ожерельев В.Н., Кузнецов А.В., Кузнецов В.В.; заявл. 27.02.2008; опубл. 20.07.2008.

6. Агрегат для возделывания высокостебельных культур: пат. 197380. / Рос. Федерация: U1 / Кузнецов В.В., Случевский А.М., Блохин В.Н.., Евдокименкн С.Н., Сазонов Ф.Ф., Лаптева Н.А.; заявл. 16.12.2019; опубл. 23.04.2020.

7. Опрыскиватель: пат. 2403987 Рос. Федерация: C1/ Ожерельев В.Н., Кузнецов В.В., Ожерельева Н.В., Ожерельева М.В., Кравцова Л.П.; № 2009116067/05; заявл. 27.04.2009; опубл. 20.11.2010.

8. Кузнецов А.В., Кузнецов В.В., Кузнецов Е.В. Исследование штанговых опрыскивателей как динамических систем методом имитационного моделирования // Достижения науки агропромышленному производству: материалы XLIV междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2005. С. 262-267.

9. Simulink: среда создания инженерных приложений / под ред. В.Г. Потёмкина. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.

10. Белогорский В.П. Анализ боковых колебаний неполно налитой цистерны опрыскивателя при случайных возмущающих воздействиях // Повышение эффективности использования автотракторной и сельскохозяйственной техники. Пенза: Изд.-во Пенз. гос. с.-х. акад., 2005. С. 271-274.

11. Стенд для измерения моментов инерции сельскохозяйственных машин: пат. 192272 Рос. Федерация: U1 / Кузнецов В.В., Блохин В.Н., Гринь А.М., Кубышкин А.В., Лаптева Н.А., Адылин И.П.; заявл. 11.03.2019; опубл. 11.09.2019.

References

1. V.E. Torikov, O.V. Mel'nikova // Scientific foundations of agronomy. St. Petersburg, 2020.

2. Development of the agro-industrial complex of the Bryansk region - 2020 / N.M. Belous, S.A. Bel'chenko, V.E. Torikov, I.N. Belous, A.A. Osipov // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2020. No. 6 (82). pp. 3-10.

3. Logistics and innovative development of the agro-industrial complex of the Bryansk region / S.A. Bel'chenko, I.N. Belous, V.V. Kovalev, M.P. Naumova, I.D. Sazonova // Topical issues of economics and agribusiness: Sat. tr. XII int. scientific-practical. conf. Bryansk, 2021, pp. 388-400.

4. Machine for weed control: Pat. 69706. / Ros. Federation: U1 / Kuznetsov E.V., Ermichev V.A., Kuznetsov A.V., Kuznetsov V.V.; dec. 07.24.2007; publ. 01.10.2008.

5. Machine for weed control in the protective zone: Pat. 74763. / Ros. Federation: U1 / Kuznetsov E.V., Ermichev V.A., Ozherel'ev V.N., Kuznetsov A.V., Kuznetsov V.V.; dec. 02/27/2008; publ. 07/20/2008.

6. Unit for cultivation of high-stemmed crops: Pat. 197380. / Ros. Federation: U1 / Kuznetsov V.V., Sluchevsky A.M., Blokhin V.N., Evdokimenko S.N., Sazonov F.F., Lapteva N.A.; dec. 12/16/2019; publ. 04/23/2020.

7. Sprayer: Pat. 2403987 Ros. Federation: C1/ Ozherel'ev V.N., Kuznetsov V.V., Ozherel'eva N.V., Ozherel'eva M.V., Kravtsova L.P.; No. 2009116067/05; dec. 04/27/2009; publ. 11/20/2010.

8. Kuznetsov A.V., Kuznetsov V.V., Kuznetsov E.V. Study of boom sprayers as dynamic systems by simulation // Achievements of science in agro-industrial production: materials of the XLIV Intern. sci.-tech. conf. Part 2. Chelyabinsk: ChGAU Publishing House, 2005. S. 262-267.

9. Simulink: environment for creating engineering applications / ed. V.G. Potemkin. M.: DIALOG-MEPhI, 2003. 496 p.

10. Belogorsky V.P. Analysis of lateral oscillations of an incompletely filled sprayer tank under random disturbances // Improving the efficiency of the use of automotive and agricultural machinery. Penza: Publishing house Penz. state s.-x. Acad., 2005. S. 271-274.

11. Stand for measuring the moments of inertia of agricultural machines: Pat. 192272 Ros. Federation: U1 / Kuznetsov V.V., Blokhin V.N., Grin A.M., Kubyshkin A.V., Lapteva N.A., Adylin I.P.; dec. 03/11/2019; publ. 09/11/2019.

Информация об авторах

А.И. Купреенко – доктор технических наук, профессор; В. В. Кузнецов – кандидат технических наук, доцент; Х. М. Исаев – кандидат экономических наук, доцент; С.Х. Исаев – старший преподаватель.

Information about the authors

A. Kupreenko - Doctor of Technical Sciences, Professor; V. Kuznetsov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; K. Isaev – candidate of economic sciences, associate professor; S. Isaev - Senior Lecturer.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 18.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 16.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.347.3.012.3.001.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-116-123

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ «КУБАНЬ-ЛК1» ПРИ ЗАРАВНИВАНИИ КОЛЕИ

Анатолий Иванович Рязанцев [1]***, Александр Николаевич Зазуля*** [2]***, Евгений Юрьевич Евсеев*** [3]***, Алексей Игоревич Смирнов*** [4]***, Алексей Олегович Антипов*** [5]***, Игорь Валерьевич Малько*** [6]

[1] *Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Московская обл., Коломенский р-он, пос. Радужный, Россия*
[1]*Рязанский государственный агротехнологический университет П. А. Костычева, г. Рязань, Россия*
[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[2]zazulja_an@rambler.ru
[1,3,4,5,6]*Государственный социально-гуманитарный университет, Московская обл. г.о. Коломна, Россия*
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[5]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

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

Реферат. *Вопросы увеличения показателей надежности работы мелиоративных систем, на примере многоопорной дождевальной машины(ДМ) «Кубань-ЛК1», работающей в движении по кругу рассматриваются в работе. Установлено, что в следствие увеличенной массы конструкции ДМ, возникает необходимость оснащения ходовых систем, движителями с увеличенной шириной профиля. Использование дискового заравнивающего устройства предлагается для ликвидации отрицательного воздействия колеи от ходовых систем ДМ. Отмечается, что дождевальная машина «Кубань-ЛК», ходовые системы которой оснащены пневматическими шинами типоразмера 18.4R24, образует колею до 0.30 м и более. С учетом постоянного статического давления на почву ДМ, обоснован показатель движителей – несущая способность почвы, определяемый зависимостью профессора А.И. Рязанцева. По данным поисковых исследований выявлено, что с увеличением числа полных оборотов машины по орошаемой поверхности, значения несущей способности возрастают, в среднем в 3.5 раза, как с установленным заравнивающим устройством, так и без него, поэтому возникает необходимость установки движителей с увеличенным удельным давлением в сравнении с серийными образцами. Было установлено в ходе проведения лабораторных, а также лабораторно-полевых испытаний, что при движении ДМ «Кубань-ЛК1», на одно колесо её ходовой системы, приходится давление равное 16 кН, следовательно она должна быть оборудована увеличенными по профилю шинами. Экспериментально выявлено, что установка, движителей указанного типоразмера снижает показатели по потреблению мощности мотор-редукторами на 25-26%, а также обеспечивает снижение площади повреждения сельскохозяйственной продукции в среднем на 33%.*

Ключевые слова: *дождевальная машина, работающая по кругу; дисковое заравнивающее устройство; надежность движения; энергозатраты на передвижение; опорные свойства ходовой системы; пневмошины; увеличенный профиль.*

EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE RUNNING SYSTEM "KUBAN-LK1" WHEN LEVELING THE TRACK

Anatoly Ryazantsev [1], Alexander Zazulya [2], Evgeny Evseev [3], Alexey Smirnov [4], Alexey Antipov [5], Igor Malko [6]

[1]All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga», Moscow region, Kolomenskoye district, village Raduzhny, Russian Federation

[2]All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation

[1]Ryazan State Agrotechnological University of P. A. Kostychev, Ryazan, Russia

[1,3,4] State Social and Humanitarian University, Moscow region, Kolomna, Russian Federation

[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196

[2]zazulja_an@rambler.ru

[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661

[5]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Abstract. *Issues of increasing the reliability of the operation of reclamation systems, using the example of a multi-support sprinkling machine (DM) "Kuban-LK1", operating in motion in a circle, are considered in the work. It has been established that due to the increased mass of the DM structure, it becomes necessary to equip the running systems with propellers with an increased profile width. The use of a disk leveling device is proposed to eliminate the negative impact of the track from the running systems of the DM. It is noted that the Kuban-LK sprinkling machine, whose running systems are equipped with pneumatic tires of size 18.4R24, forms a track of up to 0.30 m or more. Taking into account the constant static pressure on the soil DM, the indicator of movers is justified - the bearing capacity of the soil, determined by the dependence of Professor A.I. Ryazantsev. According to exploratory studies, it was revealed that with an increase in the number of full revolutions of the machine on an irrigated surface, the values of the bearing capacity increase, on average, by 3.5 times, both with and without a leveling device installed, so it becomes necessary to install propellers with an increased specific pressure in comparison with serial samples. It was found in the course of laboratory, as well as laboratory and field tests, that when the DM "Kuban-LK1" moves, one wheel of its running system has a pressure equal to 16 kN, therefore it must be equipped with tires enlarged in profile. It has been experimentally found that the installation of propellers of the specified size reduces the power consumption of gearmotors by 25-26%, and also reduces the area of damage to agricultural products by an average of 33%.*

Keywords*: sprinkler machine working in a circle; disk leveling device; traffic reliability; energy consumption for movement; supporting properties of the running system; pneumatic tires; enlarged profile.*

Для цитирования: Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Смирнов А.И., Антипов А.О., Малько И.В. Оценка параметров ходовой системы «КУБАНЬ-ЛК1» при заравнивании колеи // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 116-123. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-116-123.

For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Smirnov A., Antipov A., Malko I. Evaluation of the parameters of the running system “KUBAN-LK1” when leveling the track. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 116-123. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-116-123.

Введение.

Одной из самых востребованных и производительных дождевальных машин (ДМ), работающих в движении по кругу, является «Кубань-ЛК1», которая получила широкое распространение в мире благодаря своим техническим характеристикам. Проводимые работы по усовершенствованию ее характеристик, не устранили один из главных недостатков – высокую массу конструкции, что требует оснащения ходовых систем ДМ энергоэффективными пневматическими колесами с увеличенным профилем. Однако, установка таким движителей не исключает образования широкой и глубокой колеи, при многократности проходов дождевальной машины за поливной сезон. Негативное влияние колеи от движителей ДМ сказывается на

условиях работы уборочной техники, что приводит к возрастанию показателей сопротивления качению и значительно увеличивает повреждаемость сельскохозяйственных культур. Исходя из этого, актуальной задачей является устранение указанных недостатков, что требует разработки и проведения технических и технологических мероприятий с учетом снижения энергетических затрат, повышения несущей способности орошаемой площади, и соответственно, снижения материальных потерь.

Анализ работ известных ученых, таких как Гаврилица А.А., Рязанцев А.И., Салдаев А.М., Цымбаленко С.В. показал, что при движении дождевальной машины «Кубань-ЛК1», оснащенной различными по конструкции движителями, образуется колея, глубина которой составляет до 0.30 и более, что вызывает увеличение энергозатрат ДМ, снижение тягово-сцепных характеристик, а также образование поверхностного стока воды, в зоне движения ходовых систем.

Наиболее эффективным решением по снижению отрицательного эффекта от образования колеи, является оснащение ходовых систем ДМ дисковыми заравнивающими устройствами, с дальнейшим проведением лабораторных и лабораторно-полевых исследований по оценке несущей способности почвы, засыпанной в колею, с учетом многократности проходом ДМ за поливной сезон и высыханием почвенной поверхности за время межполивного периода.

Материалы и методы.

Во время работы ДМ в старт-стопном режиме, в тяжелых рельефных условиях, ее ходовая система, оказывает статическое давление на орошаемую поверхность, что значительно деформирует ее. Из чего следует, что при расчете параметров движителей ДМ необходимо учитывать максимальное значение прочности почвы, т.е. несущую способность.

Определить показатели несущей способности поверхности передвижения ($P_{0пп1}$), возможно по зависимости (1) профессора Рязанцева А.И.:

$$P_{0пп1} = [P_{0дп1} - (1.4 \times m_{дост.1}^{0.65} + 8 \times 1.01^{m_{ст.1}})] \quad (1)$$

где: $P_{0дп1}$ — несущая способность почвы до полива, кПа; $P_{0пп1}$ — несущая способность почвы после полива, кПа; $m_{дост.1}$,— достоковая норма полива, м^3/га, $m_{ст.1}$ – стоковая норма полива, м^3/га.

Процесс высыхания суглинистой почвы, после работы заравнивающего устройства происходит за межполивной период, при этом ее влажность W уменьшается с 50% до 10% (рисунок 1). По данных поисковых исследований, в начале второго прохода ДМ, несущая способность увеличивается в среднем со 100 до 1000 кПа (рисунок 2, линия 2) и определятся по зависимости (2):

$$P_{0дп2} = aW + b \quad (2)$$

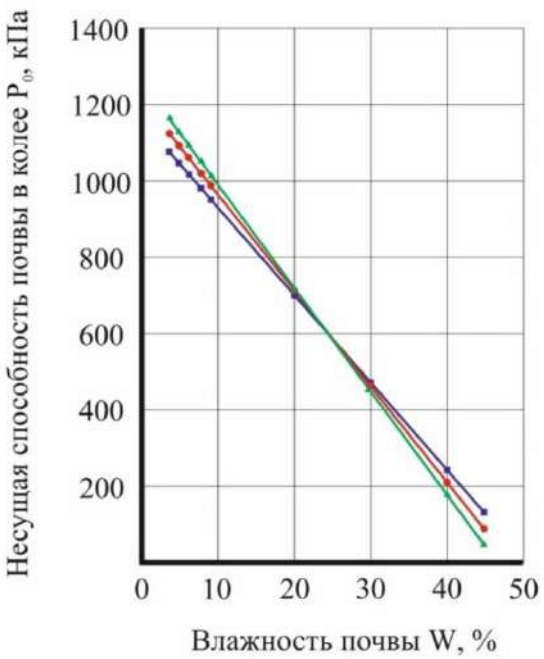
где: a и b - эмпирические коэффициенты.

Исходя из этого, во время второго прохода, показатели несущей способности поверхности передвижения снижаются до 340–360 кПа (линия 3 на рисунке 2) и определяется по выражению (3):

$$P_{0пп2} = [P_{0дп2} - (1.4 \times m_{дост.2}^{0.65} + 8 \times 1.01^{m_{ст.2}})] \quad (3)$$

где: $m_{дост.2}$,— достоковая норма полива после второго прохода, м^3/га, $m_{ст.2}$ – значение величины стока, после второго прохода, м^3/га.

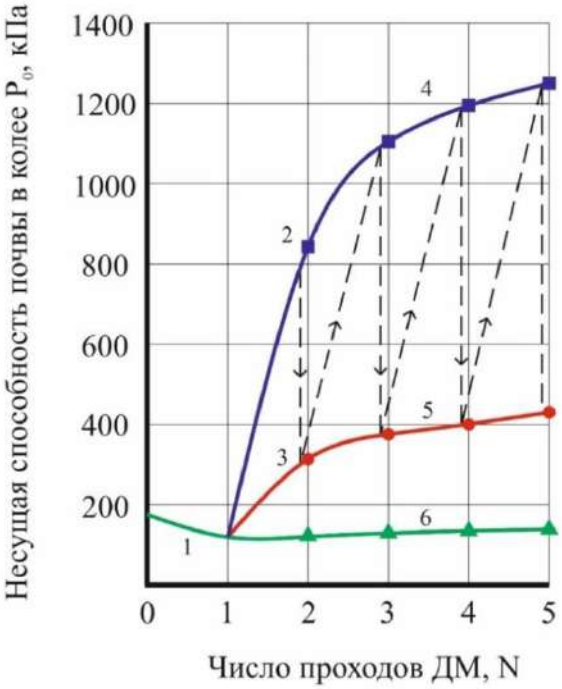
Исходя из выражения (3) можно заключить, что при последующих проходах дождевальной машины с установленным на ходовой системе заравнивающим устройством видно, что показатели несущей способности почвы возрастают (линии 4, 5 на рисунке 2 – с заравнивающим устройством, линия 6 на рисунке 2 – без заравнивающего устройства).



- опыт 1; - опыт 2; - опыт 3.

1, 2, 3 - повторности опытов

Рисунок 1 – Зависимость влажности почвы от несущей способности (показатели получены при лабораторно-полевых исследованиях в АО «Озёры» Московской обл.).



кривая 4 и 5 – с установленным заравнивающим устройством, кривая 6 – без него

Рисунок 2 - Зависимость несущей способности от числа проходов ДМ.

Возрастание показателей несущей способности поверхности орошаемого круга (после второго и последующих проходов), в среднем в 3.5 раза (340–360 кПа – с заравнивающим устройством, 80-100 – без него), дало возможность оснащать ходовые системы ДМ, движителями с увеличенным удельным давлением в сравнении с серийными образцами (например: шинами 11.2R24 с узким профилем).

Полевые исследования усовершенствованной ДМ «Кубань-ЛК1» проводились на предприятии ОА «Озеры» в Коломенском районе Московской области, на базовой модификации машины (10 тележек, длиной 474 м.), при поливе картофеля. В ходе исследований определялись показатели энергозатрат и параметров колеи ходовых систем ДМ, оборудованной различными пневматическими движителями.

В ходе подготовки к проведению исследований последняя тележка ДМ «Кубань-ЛК1» оснащалась серийными пневматическими шинами 18.4R24 и опытными образцами 11.2R44, с установленным, за соответствующим движителем, заравнивающим устройством (рисунок 3). В ходе проведения лабораторно-полевых испытаний, при определении изменения варьируемых величин использовались данные экспертной оценки, а также априорные данные и значения лабораторных испытаний.

а – движитель 18.4R24 б - движитель 11.2R44

Рисунок 3 – Ходовая система ДМ с установленным заравнивающим устройством.

Результаты и обсуждение. Один из показателей, определяемых в ходе лабораторно и лабораторно-полевых исследований, энергетические затраты на качение ДМ, ходовая система которой, оснащалась различными типоразмерами движителей. По экспериментальным данным, было выведено выражение регрессии (4), в котором многочлены определены из погрешности аппроксимации (до 5%), а также построена многофакторная зависимость (рисунок 4).

$$f = 0.6614 - 0.0004 \times B - 0.0035 \times P_0 + 2.4291E - 19 \times B^2 + 7.4074E - 7 \times B \times P_0 + 5.1111E - 6 \times P_0^2 \quad (4)$$

Наименьшие энергетические затраты (коэффициент сопротивления качению $f = 0.05 – 0.10$), как показатели исследования, обеспечиваются за счет повышения несущей способности почвы, так при заравнивании колеи $P_0 = 320 - 350$ кПа, без заравнивания $P_0 = 70 - 80$ кПа, что соответствует $f = 0.28 – 0.32$.

Благодаря значительному повышению несущей способности почвы, в зоне работы ДМ, и уменьшению энергетических затрат на движение, согласно рисунку 4, возможно оснащение

ходовых систем тележек пневмошинами 11.2R44 с шириной профиля (B) 300 мм., вместо серийных образцов типоразмера 18.4R24 с шириной профиля (B) 460 мм.

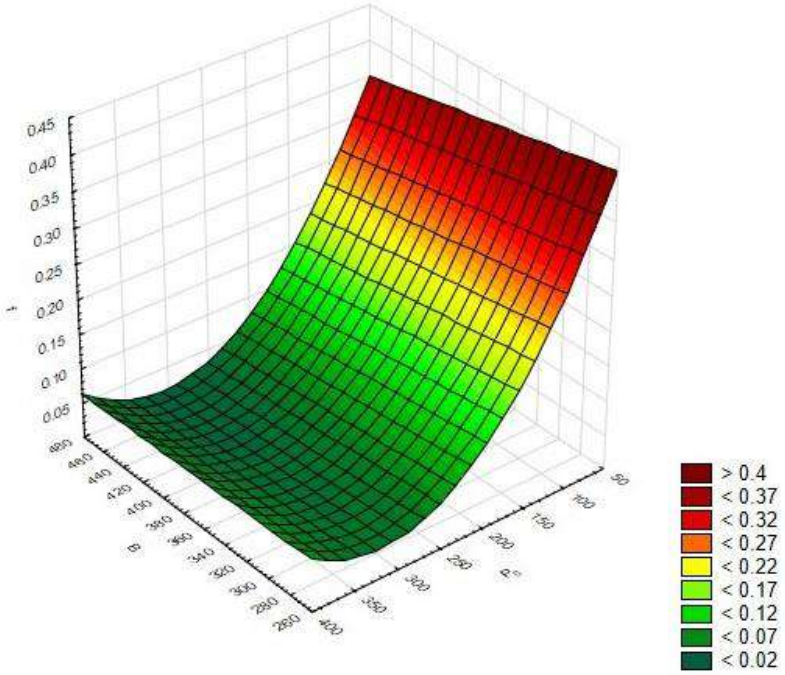


Рисунок 4 – Многофакторная зависимость коэффициента сопротивления качению от ширины профиля пневматических шин и несущей способности почвы после 5 прохода.

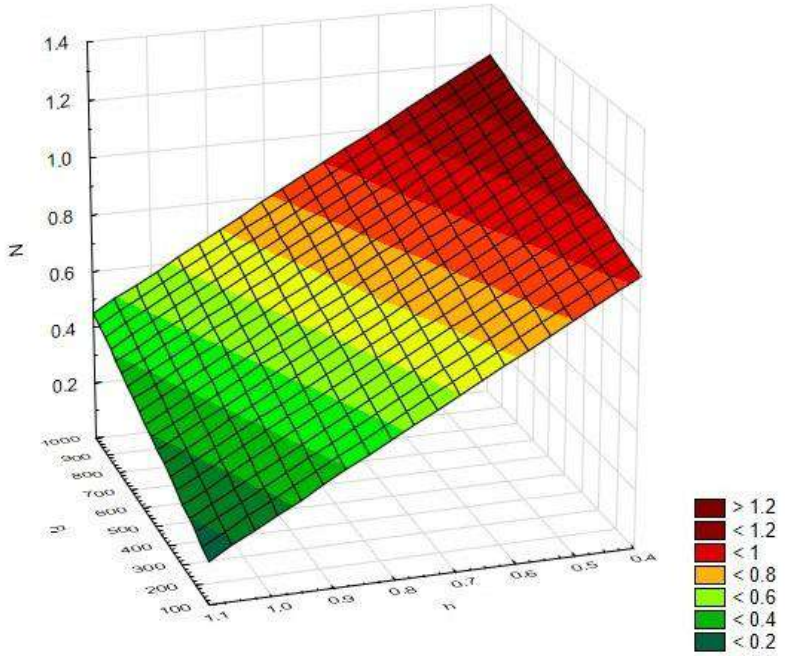


Рисунок 5 – Многофакторная зависимости мощности электроприводов ходовой системы ДМ от коэффициента сопротивления качению и КПД.

Зависимость на рисунке 5, а также регрессионное выражение (5), показывают снижение потребляемой мощности электроприводами ходовых систем ДМ. Данное понижение значений

связано с уменьшение коэффициента сопротивления качению при применении дискового заравнивающего устройства (с 10.0 до 1.6 кН), что соответствует коэффициенту полезного действия электроприводов, в среднем $\eta = 0.50$ или 0.26 кВт (снижение с 1.10 до 0.82 кВт), что для все машины базовой модификации (10 тележек) составляет 2.50 – 2.70 кВт (снижение с 11 до 8.3 – 8.5 кВт) или на 25-27%.

$$N = 1.3118 + 0.0004 \times P_f - 1.06 \times h - 1.0958E - 8 \times P_f^2 - 1.0815E - 17 \times P_f \times h - 0.0267 \times h^2 \quad (5)$$

В результате проведения исследований, были получены высокие показатели коэффициента использования времени смены – 0.97, а также коэффициент эксплуатационной надежности – 0.89, что соответствует агротехническим требованиям. Нарушений технологии полива ДМ «Кубань-ЛК1» не зафиксировано.

Наряду с агротехническими показателями определен показатель размера площади повреждения сельскохозяйственной продукции, снижающийся при использовании усовершенствованной ходовой системы ДМ. Так площадь повреждаемости снижается на 0.3 га (с 1.05 га до 0.705 га), что в общем соответствует снижению на 33% (с 1.47 до 0.97) при площади орошения 72 га.

Заключение. Экспериментальные исследования усовершенствованной ходовой системы, позволили установить:

1. При максимальной нагрузке ДМ на колесо в 16 кН, с учетом максимального значения несущей способности орошаемой поверхности, ходовая система должна оснащаться движителями типоразмера 11.2R44 с шириной профиля (B) 300 мм., диаметром (D)1.6 м. и давлением (p) 0.15 Мпа.

2. Ходовая система, оборудованная движителями с уменьшенной шириной профиля, также должна оснащаться дисковым заравнивающим устройством.

3. За счет предложенных технических решений значительно снижается, потребляемая электроприводами, мощность, в среднем на 26%, это также позволило снизить повреждение сельхозпродукции (с 1.05 га до 0.705 га или на 33%), при площади орошаемой поверхности в 72 га.

Список источников

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

2. А. И. Рязанцев Способ подготовки многоопорной дождевальной машины кругового действия к работе. Патент № 2774902, A01G 25/09 1. / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, А. О. Антипов, А. И. Смирнов; заявитель ФГБНУ ВНИИ «Радуга»; № 2021118529; заявл.25.06.2021; опубл. 24.06.2022, Бюл. № 18.

3. Патент на полезную модель № 210945, A01G 25/09. Самоходная тележка многоопорной дождевальной машины / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Рембалович Г. К., Смирнов А.И., Безносюк Р.В., заявитель ФГБОУ ВО «РГАТУ им. П.А. Костычева - 2021137208, заявлено 14.12.2021, опубл. 13.05.2022. Бюл. №14.

4. Патент на полезную модель № 214987, A01G 25/09. Заравнивающее устройство колеи от тележек дождевальной машины кругового действия / Рязанцев А.И., Турапин С.С., Смирнов А.И., Смирнова Е.А., заявитель ФГБНУ ВНИИ «Радуга» - 2022125991, заявлено 05.10.2022, опубл. 23.11.2022. Бюл. №33.

5. Патент на полезную модель №214166, A01B 37/00. Устройство для заравнивания колеи от тележек дождевальной машины кругового действия / Рязанцев А.И., Турапин С. С., Смирнов А.И., Смирнова Е.А., заявитель ФГБНУ ВНИИ «Радуга» - 2022106717, заявлено 15.03.2022, опубл. 13.10.2022. Бюл. №29.

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

7. Технологические особенности полива и показатели оценки эффективности ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И., Евсеев Е.Ю. //

Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, 2019. №4 (44). С.110-113.

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

References

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

2. A. I. Ryazantsev Method of preparing a multi-support sprinkler machine of circular action to work. Patent No. 2774902, A01G 25/09 1. / A. I. Ryazantsev, S. S. Turapin, A. O. Antipov, A. I. Smirnov; applicant of the Federal State Budgetary Research Institute "Raduga"; No. 2021118529; application No. 25.06.2021; publ. 24.06.2022, Bul. No. 18.

3. Utility model Patent No. 210945, A01G 25/09. Self-propelled trolley of a multi-support sprinkler machine / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Rembalovich G. K., Smirnov A.I., Beznosyuk R.V., applicant FGBOU VO "RGATU named after P.A. Kostychev - 2021137208, declared 12/14/2021, publ. 13.05.2022. Byul. No. 14.

4. Patent for utility model No. 214987, A01G 25/09. Leveling device of the track from the trolleys of a circular sprinkler machine / Ryazantsev A.I., Turapin S.S., Smirnov A.I., Smirnova E.A., applicant of the Federal State Budgetary Research Institute "Raduga" - 2022125991, declared 05.10.2022, publ. 23.11.2022. Byul. No. 33.

5. Utility model Patent No. 214166, A01B 37/00. A device for leveling the track from the trolleys of a circular sprinkler machine / Ryazantsev A.I., Turapin S. S., Smirnov A.I., Smirnova E.A., applicant of the Federal State Budgetary Research Institute "Raduga" - 2022106717, declared 15.03.2022, publ. 13.10.2022. Byul. No.29.

6. Optimization of wide-reach circular sprinkler machines for complex soil-relief conditions/ A. I. Ryazantsev, A.O. Gavrilitsa. – Chisinau: Stiinza, 1991. – 200 p.

7. Technological features of irrigation and indicators for evaluating the effectiveness of the running system DM "Kuban-LC1" / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Malko I.V., Smirnov A.I., Evseev E.Yu. // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2019. No.4 (44). p.110-113.

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

Информация об авторах

А.И. Рязанцев - доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ; А.Н. Зазуля - доктор технических наук, профессор; Е.Ю. Евсеев - ассистент; А.И. Смирнов – ассистент; А.О. Антипов – кандидат технических наук, доцент, И.В. Малько – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A.I. Ryazantsev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; A.N. Zazulya - Doctor of Technical Sciences, Professor; E.Y. Evseev - Assistant; A.I. Smirnov – Assistant; A.O. Antipov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, I.V. Malko – Candidate of Technical Sciences, associate Professor.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.12.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 629.721.892.697(022)
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-124-132

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ В МНОГОКАНАЛЬНОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ

Улюкина Елена Анатольевна[1], Львов Владимир Анатольевич[2], Шарыкин Федор Евгеньевич[3]
[1]РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
[1]eulykina@rgau-msha.ru
[2]МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия
[2]lvov@bmstu.ru
[3]25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России, г. Москва, Россия
[3]fedor_rf@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Елена Анатольевна Улюкина, eulykina@rgau-msha.ru
Corresponding author: Elena Ulyukina, eulykina@rgau-msha.ru

Реферат. *Современные потребности технологий, машин и оборудования агропромышленного комплекса обуславливают необходимость решения вопросов очистки дизельных топлив от механических примесей. Однако существующие конструкции типовых фильтров, содержащих сменные фильтрующие элементы, обладают малым ресурсом и не всегда обеспечивают требования эффективной очистки топлив, в результате чего не исключена возможность возникновения внезапных отказов средств механизации. В целях оценки эффективности применения многоканального гидродинамического фильтра оригинальной конструкции, проведены теоретические исследования процесса предварительной очистки данным устройством дизельного топлива от твердых полидисперсных частиц загрязнений. В результате исследований впервые подтверждена возможность использования стохастического подхода для описания процесса предварительной очистки топлива в гидродинамическом фильтре с коническими фильтрующими элементами на различных режимах работы. Разработана стохастическая модель исследуемого процесса. Теоретически показано, что предварительная очистка топлива в многоканальном гидродинамическом фильтре с коническими фильтрующими элементами может быть описана с помощью стационарных решений уравнения Фокера-Планка-Колмогорова. Найдены основные параметры и безразмерные комплексы, учитывающие особенности описания процесса предварительной гидродинамической очистки топлива в конических фильтрующих элементах с учетом влияния случайных составляющих.*

Ключевые слова: *гидродинамический фильтр, стохастическая модель, дизельное топливо, эффективность очистки, механические примеси, параметры процесса.*

STOCHASTIC MODEL OF DIESEL FUEL PRETREATMENT IN A MULTICHANNEL HYDRODYNAMIC FILTER

Elena Ulyukina[1], Vladimir Lvov[2], Fedor Sharykin[3]
[1]RSAU–MACA named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia
[1]eulykina@rgau-msha.ru
[2]MSTU named after N.E. Bauman, Moscow, Russia
[2]lvov@bmstu.ru
[3]25th state research Institute of chemmotology at Ministry of defense of Russia, Moscow, Russia
[3]fedor_rf@mail.ru

Abstract. *Modern needs of technologies, machinery and equipment of the agro-industrial complex make it necessary to solve the issues of cleaning diesel fuels from mechanical impurities. However, the*

existing designs of standard filters containing replaceable filter elements have a small resource and do not always meet the requirements of efficient fuel purification, as a result of which the possibility of sudden failures of mechanization means is not excluded. In order to evaluate the effectiveness of the use of a multichannel hydrodynamic filter of the original design, theoretical studies of the process of preliminary purification of diesel fuel by this device from solid polydisperse particles of pollution have been carried out. As a result of the research, for the first time, the possibility of using a stochastic approach to describe the process of pre-purification of fuel in a hydrodynamic filter with conical filter elements in various operating modes has been confirmed. A stochastic model of the process under study has been developed. It is theoretically shown that the preliminary purification of fuel in a multichannel hydrodynamic filter with conical filter elements can be described using stationary solutions of the Foker-Planck-Kolmogorov equation. The main parameters and dimensionless complexes, taking into account the features of the description of the process of preliminary hydrodynamic fuel cleaning in conical filter elements, taking into account the influence of random components, are found.

Keywords*: hydrodynamic filter, stochastic model, diesel fuel, cleaning efficiency, mechanical impurities, process parameters.*

Для цитирования: Улюкина Е.А., Львов В.А., Шарыкин Ф.Е. Стохастическая модель предварительной очистки дизельных топлив в многоканальном гидродинамическом фильтре // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 124-132. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-124-132.

For citation: Ulyukina E., Lvov V., Sharykin F. Stochastic model of diesel fuel pretreatment in a multichannel hydrodynamic filter. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 124-132. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-124-132.

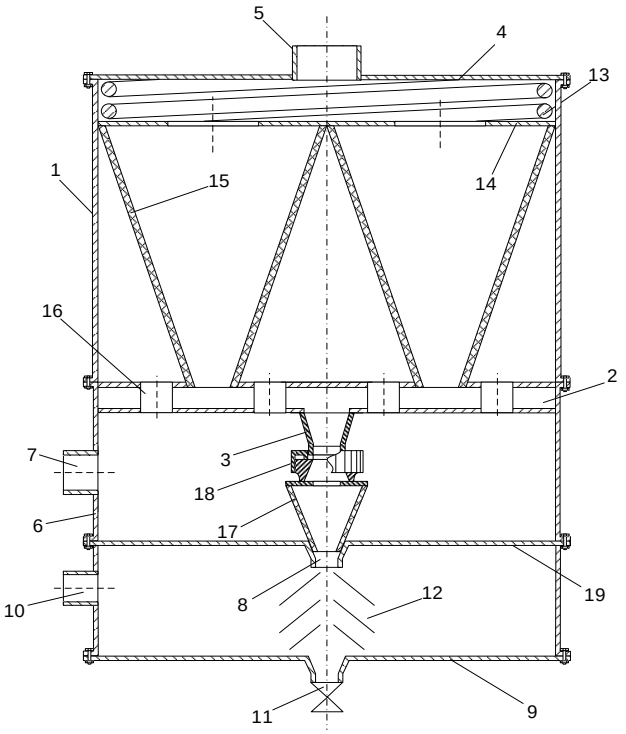
Введение. В агропромышленном комплексе, при решении широкого класса производственных, технических и технологических задач, включая задачи безопасности, надежности и экологии, в системах топливоподготовки широкое применение находят фильтры грубой и тонкой очистки. Вместе с тем, существующие конструкции типовых фильтров, содержащих сменные фильтрующие элементы (ФЭ), обладают малым ресурсом и не всегда обеспечивают требования эффективной очистки топлива. Особое место среди средств очистки, исключающих присущие традиционным очистителям недостатки, занимают многоканальные гидродинамические фильтры [1]. Однако расчет ФЭ в подобных конструкциях может вызвать серьёзные допущения, поскольку базируется на детерминированных точечных оценках, не учитывающих многих факторов, особенно в случае предварительной очистки топлив от мелкодисперсных частиц загрязнений. Указанные обстоятельства не исключают ошибок при конструктивном оформлении гидродинамических фильтров и расчетах ресурса работы их ФЭ, что обусловлено незавершенностью разработки общей теории процесса переноса при гидродинамическом фильтровании.

Таким образом, определение количественных оценок комплексных показателей протекающих процессов, в частности непрерывной функции эффективности предварительной гидродинамической очистки топлива в ФЭ многоканального гидродинамического фильтра является актуальной и практически значимой задачей современных систем топливоподготовки в агропромышленном комплексе. А задачей данных исследований можно считать получение явного вида функции, характеризующей основные параметры исследуемой дисперсной системы.

Материалы и методы. Авторами данных исследований разработана оригинальная конструкция многоканального гидродинамического фильтра, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1 [2, 3].

Конструкция такого фильтра содержит цилиндрический корпус с полым днищем и центральным коническим патрубком, герметичную крышку с входным патрубком, насадку с выходным и сливным патрубками и сливной отсек, сообщающийся со сливным патрубком. Отсек снабжён боковым патрубком, ведущим через линию рециркуляции ко входному патрубку, и нижним сливным краном для отвода неочищенного топлива. Под сливным патрубком внутри отсека размещены наклонные пластины. При этом, наличие в конструкции сливного отсека для

приема и сепарации неочищенного топлива (1-2 % от поступившего объема) с направлением его на наклонные пластины и последующим отводом в линию рециркуляции обеспечивает повторную очистку, снижает потери очищаемого топлива до минимальных значений и повышает степень его очистки.



1 – корпус;2 – полое днище; 3 – центральный конический патрубок; 4 – герметичная цилиндрическая крышка; 5 – входной патрубок; 6 – насадка; 7, – выходной патрубок; 8 – сливной патрубок;9 – сливной отсек; 10 – рециркуляционный патрубок; 11 – сливной кран; 12 – наклонные пластины; 13 – нажимная пружина; 14 – плоское основание; 15, 17 – фильтрующая перегородка; 16 – проходной канал; 18 – накидная гайка; 19 – днище цилиндрической насадки

Рисунок 1 – Принципиальная схема многоканального гидродинамического фильтра

Внутри корпуса расположены основные ФЭ, которые посредством нажимной пружины поджаты к полому днищу, выполненному в виде плоского основания с 4 симметричными отверстиями, на каждом из которых большим основанием закреплен ФЭ в форме правильного усеченного конуса с круглым основанием. Меньшие основания элементов ведут в полость днища для сбора неочищенного топлива, сообщающуюся с центральным коническим патрубком. В конструкции полого днища предусмотрено наличие каналов для поступления очищенного топлива в насадку, внутри которой расположен дополнительный ФЭ, также имеющий форму усеченного конуса.

Все ФЭ выполнены из металлической сетки с фторопластовым покрытием, их форма, сужающаяся по направлению потока топлива, создает условия для его продольного перемещения с постоянной скоростью вдоль поверхности перегородки. Это обеспечивает одинаковое гидравлическое сопротивление во всех точках. Равнозначное гидравлическое сопротивление на фильтрующих перегородках дополнительного и основных ФЭ достигается, благодаря выбору соотношения их рабочих поверхностей 1:10, так как суммарный объем топлива, создающего продольный поток вдоль внутренних поверхностей перегородок и поступающего для очистки в дополнительный ФЭ, составляет ~ 10 % от объёма всего очищаемого топлива.

В многоканальном гидродинамическом фильтре уменьшение высоты ФЭ в *n* раз по сравнению с аналогичным фильтром, содержащим 1 ФЭ, достигается благодаря геометрическому подобию их перегородок, при этом нормированная площадь поперечного сечения не увеличивается, а пропускная способность сохраняется. Применение принципа многоканальности позволяет снизить габаритные размеры устройства и технологически упростить его изготовление при обеспечении требуемой тонкости фильтрования и пропускной способности.

Фильтр предложенной конструкции работает следующим образом. Загрязнённое топливо под давлением подаётся во входной патрубок, откуда поступает в полость между крышкой и основанием основных ФЭ, далее через отверстия поступает в сужающиеся внутренние полости самих ФЭ. При этом, очищенное топливо отводится через каналы в насадку, а неочищенное создает продольный поток и через меньшие основания ФЭ поступает в полость днища. Оттуда неочищенное топливо через центральный конический патрубок направляется во внутреннюю полость дополнительного ФЭ, очищается и отводится через выходной патрубок вместе с очищенным топливом.

Оставшаяся концентрированная суспензионно-эмульсионная смесь повторно фильтруется и разделяется в сливном отсеке, наиболее чистая часть поступает через боковой патрубок в линию рециркуляции для повторного фильтрования, а неочищенная – собирается и удаляется через сливной кран.

Для очистки сбрасываемого из дополнительного ФЭ топлива, содержащего твёрдые загрязнения, предусмотрен динамический отстойник, выполненный в виде пакета наклонных пластин, обеспечивающих тонкослойное осаждение загрязнений. При его работе сбрасываемое топливо подводится к перфорированной центральной трубке отстойника, а выход топлива из отстойника осуществляется по периферии пластин. Данный подход повышает эффективность очистки, так как скорость потока при движении по поверхности пластин замедляется, благодаря чему создаются благоприятные условия для седиментации загрязнений.

Для рассмотренной конструкции теоретические исследования процесса предварительной очистки дизельного топлива в конусном ФЭ многоканального гидродинамического фильтра выполнены методом математического моделирования с использованием стохастического подхода.

Результаты и их обсуждение. В целях определения количественных оценок комплексных показателей непрерывной функции эффективности предварительной очистки топлива в конических ФЭ многоканального гидродинамического фильтра: $T = T(d_ч)$, где $d_ч$ – размер частицы загрязнений, приведена расчетная схема движения частиц загрязнений (рисунок 2).

Для основных допущений моделирования существует ряд предпосылок. Анализ криволинейного движения твердых частиц загрязнений размером d_i <100 мкм в жидкостных потоках показал, что в тангенциальном направлении их скорость, без учета седиментационной составляющей, практически совпадает со скоростью движения дисперсионной среды. При этом, скорости движения частиц загрязнений и топлива, а также их траектории в радиальном направлении могут существенно отличаться друг от друга. Различия обусловлены присутствием не только центробежных, гравитационных и других сил, но и случайных составляющих протекающих процессов, что существенно усложняет картину движения полидисперсных частиц загрязнений [4].

Для обоснованного применения допущений, при разработке математической модели стохастического процесса предварительной очистки, указанные обстоятельства потребовали конкретизации расчетной схемы движения топлива и частиц загрязнений.

В дальнейшем будем считать, что очистка топлива от твердых полидисперсных частиц загрязнений осуществляется в ФЭ, который имеет форму перевернутого усеченного конуса с заданными геометрическими размерами. При этом, свойства дисперсионной среды и дисперсной фазы, а также структурные, гидродинамические, фильтровальные и другие свойства пористой перегородки ФЭ считаем известными.

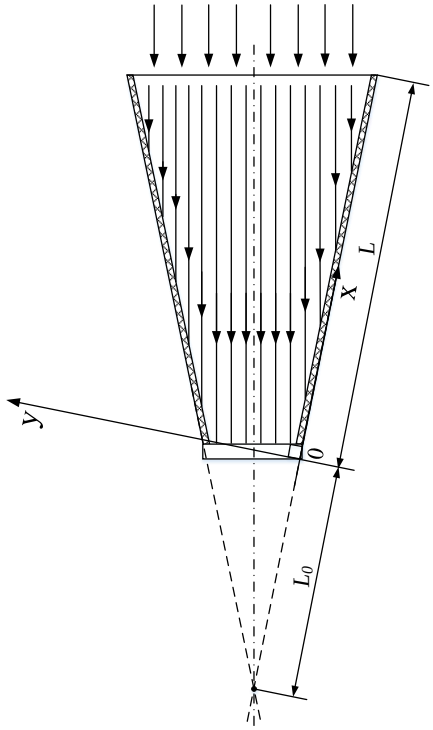


Рисунок 2 – Расчетная схема движения частиц загрязнений в ФЭ гидродинамического фильтра

Полагаем, что очищаемый поток топлива подается во внутреннюю полость ФЭ практически вертикально, через основание конуса с известным расходом Q_0, параллельно его оси. Также допускаем, что часть очищаемого потока с расходом Q_C выводится через нижнее сечение конуса, параллельное плоскости его основания. Основная часть потока топлива с расходом $Q_\phi = Q_0 - Q_C$ подается на пористую перегородку ФЭ, где происходит окончательная очистка топлива фильтрованием. При этом, линии тока топлива, отклонившись от прямолинейного движения по вертикали, в непосредственной близости от поверхности ФЭ, поступают на нее по нормали, а задержанные на ней частицы загрязнений могут перемещаться вдоль образующей конуса.

Считаем, что при постоянном расходе топлива Q_0, равномерно поступающего через основание ФЭ, кинетическая стадия процесса предварительной очистки заканчивается уже на входе в него. В результате чего во внутреннем объеме ФЭ устанавливается стационарное распределение по скоростям потока топлива и возможно относительно медленное изменение во времени характеристик ФЭ, а также гидродинамических параметров рассматриваемой дисперсной системы. Полагая, что движение частиц загрязнений размера d_i может быть удовлетворительно описано в рамках стоксового приближения, принимаем случайные воздействия на эти частицы в различные моменты времени статистически независимыми друг от друга (δ – коррелированы во времени) и меняющимися гораздо быстрее, по сравнению с вызываемыми ими изменениями наблюдаемых величин.

Данные допущения обуславливают реализацию квазиустановившегося стохастического движения во внутреннем объеме ФЭ, а взаимодействие частиц загрязнений – соответствующее теории случайных Марковских процессов.

Обращаясь к определению усредненных детерминированных характеристик протекающих процессов будем считать, что очищаемое топливо, которое поступает на вход ФЭ с равномерным

распределением частиц загрязнений всех размеров, является мало- и/или среднеконцентрированной суспензией.

Введем в рассмотрение ортогональную систему координат, связанную с образующей ФЭ гидродинамического фильтра, начало которой расположено в нижнем сечении, на расстоянии L_0 от вершины полного конуса (рисунок 2). Тогда для данной системы координат скорость движения частицы загрязнений в векторной форме можно определить, как:

$$\vec{v}_i = \vec{w}_0 + \vec{v}_ч, \tag{1}$$

где $\vec{w}_0$ – скорость движения топлива, м/с;

$\vec{v}_ч$ – скорость движения частицы загрязнений относительно топлива, м/с.

В рамках метода предельных оценок, для стоксовой частицы эквивалентного размера d_i и массы m_i в подвижной системе координат, скорость движения частицы загрязнений относительно топлива определим через максимальную скорость ее осаждения:

$$\vec{v}_ч = \alpha_s \vec{v}_s = \frac{\alpha_s(\rho_ч - \rho_m) g d_ч^2}{18\mu}, \tag{2}$$

где α_s – коэффициент изменения максимальной скорости движения частицы,

$\vec{v}_s$ – скорость осаждения частицы в топливе, м/с.

μ – динамическая вязкость топлива, Па·с;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

ρ_m, $\rho_ч$ – плотность топлива и частицы соответственно, кг/м^3.

Используя линейное приближение, представим скорость движения топлива $\vec{w}_0$ в произвольном направлении $\vec{r}$, как:

$$\vec{w}_0(\vec{r}) = \vec{w}_{вых}(\vec{r}) + \frac{\Delta\vec{w}(\vec{r})\vec{r}}{\Delta r}, \tag{3}$$

где $\vec{w}_{вых}(\vec{r})$ – средняя скорость движения топлива на выходе из ФЭ, м/с;

$\frac{\Delta\vec{w}}{\Delta\vec{r}}$ – относительное изменение скорости движения топлива в выбранном направлении.

Тогда, с учетом уравнений (1)…(3) для скорости движения частицы загрязнений размером d_i в проекции на координату X, выбранную вдоль образующей ФЭ, получаем:

$$v_X = -Cos\frac{\Theta}{2}(v_ч + w_{вых} + kX) = -Cos\frac{\Theta}{2}(v_0 + kX), \tag{4}$$

где $v_0 = v_ч + w_{вых}$ – средняя осевая скорость движения частиц на выходе из ФЭ, м/с;

$k = \frac{\alpha(w_{вх} - w_{вых})}{L} = \frac{\alpha_1 \Delta w}{L}$ – относительное изменение средней скорости движения топлива вдоль образующей ФЭ;

$w_{вх} = \frac{\alpha_0 Q_0}{S_{вх}}$ и $w_{вых} = \frac{\alpha_c Q_c}{S_{вых}}$ – средняя осевая скорость движения топлива на входе и выходе ФЭ, м/с;

$S_{вх} = \frac{\pi D_{вх}^2}{4}$ и $S_{вых} = \frac{\pi D_{вых}^2}{4}$ – площадь сечения ФЭ на входе и выходе, м^2;

Θ – угол конусности ФЭ, º;

$\alpha_0, \alpha_c, \alpha_1$ – поправочные коэффициенты;

L – длина образующей ФЭ конусной формы, м;

$D_{вх}$ и $D_{вых}$ – диаметры оснований ФЭ, м;

$\Delta w = (w_{вх} - w_{вых})$ – изменение осевой составляющей скорости движения топлива в ФЭ, м/с.

В результате, с учетом влияния случайных составляющих протекающих процессов, уравнение (4) можно записать в следующем виде:

$$\frac{dX}{dt} = -Cos\frac{\Theta}{2}(v_0 + kX) + \tilde{m}\tilde{\xi}(t), \tag{5}$$

где $\tilde{m}\tilde{\zeta}(t)$ – ланжевеновский источник, характеризующий интенсивность случайных составляющих протекающих процессов.

Переход к безразмерной координате $x = \frac{X}{L}$ приводит уравнение (5) к виду:

$$\frac{dx}{dt} = -Cos\frac{\Theta}{2}\left(\frac{v_0}{L} + kx\right) + \left(\frac{\tilde{m}}{L}\right)\tilde{\xi}(t) \tag{6}$$

После введения в рассмотрение нормированной на единицу функции плотности распределения частиц загрязнений по безразмерной координате x, $f = f(x, t)$, которая характеризует вероятность нахождения частиц загрязнений размера d_i в момент времени t в интервале безразмерной координаты образующей ФЭ $x + dx$, для уравнения Фокера-Планка-Колмогорова [5], имеем:

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = \frac{B}{2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial Cos\frac{\Theta}{2}(\frac{v_0}{L} + kx) f(x,t)}{\partial x}, \tag{7}$$

где $B = \frac{b_0 \tilde{m}^2}{L^2}$ – интенсивность случайных составляющих протекающих процессов;

b_0 – аналог коэффициента диффузии в пространстве безразмерной координаты.

В результате преобразований уравнения (7) получаем:

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = a\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2} + (bx + c)\frac{\partial f(x,t)}{\partial x} + ef(x,t), \tag{8}$$

где $a = \frac{B}{2} = \frac{b_0 \tilde{m}^2}{2L^2}$; $b = e = kCos\frac{\Theta}{2}$; $c = Cos\frac{\Theta}{2}\frac{v_0}{L}$.

При $b \neq 0$ замена $y = x + \frac{c}{d}$ приводит уравнение (8) к следующему виду:

$$\frac{\partial f(y,t)}{\partial t} = a\frac{\partial^2 f(y,t)}{\partial y^2} + by\frac{\partial f(x,t)}{\partial y} + ef(y,t) \tag{9}$$

Преобразование $f(y,t) = u(z,\tau)\exp(et)$, $\tau = \frac{a}{2b}\exp(2bt)$, $z = y\exp(bt)$ позволяет перейти от уравнения (9) к уравнению с постоянными коэффициентами вида:

$$\frac{\partial u(z,t)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z^2} \tag{10}$$

Для $z \in R$, при начальном условии $u = \varphi(z)$ в начальный момент времени $\tau = 0$, получаем решение уравнения (10) в виде [5]:

$$u(z,\tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(z-\zeta)^2}{4\tau}\right] \varphi(\zeta) d\zeta \qquad (11)$$

Полагая, что $u = \varphi(z) = \varphi(\zeta) = \delta(\zeta) = \delta(0)$, где $\delta(\zeta)$ – δ - функция Дирака, имеем:

$$u(z,\tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}} \exp\left(-\frac{z^2}{4\tau}\right) \qquad (12)$$

Возвращаясь к исходным координатам, для функции $f = f(x,t)$ получаем:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\frac{2\pi a}{b}}} \exp\left(-\frac{\left(x+\frac{c}{b}\right)^2}{\frac{2a}{b}}\right) = \sqrt{\frac{\alpha_1 \Delta w Cos \frac{\Theta}{2}}{\pi L B}} \exp\left(-\frac{\alpha_1 \Delta w Cos \frac{\Theta}{2}\left(x+\frac{v_0}{\alpha_1 \Delta w}\right)^2}{BL}\right) \qquad (13)$$

Решения уравнений (11)…(13) дают возможность более полного изучения протекающих процессов и позволяют выявить определяющие параметры гидродинамического фильтрования топлива в ФЭ конической формы, которые условно можно разделить на следующие группы: конструктивные и технологические параметры, а также физико-химические свойства очищаемого топлива. В составе основных конструктивных параметров могут быть выделены величины: L; L_0; $D_{вх}$; $D_{вых}$; Θ. Основными технологическими параметрами можно считать: Q_0; Q_c; $Q_ф$; v_0; $w_{вх}$; $w_{вых}$, к физико-химическим свойствам топлива следует отнести: $\vec{v}_s$; μ; ρ_s; ρ_m; $f_d(d_i)$ – гранулометрический состав загрязнений на входе в ФЭ.

Наряду с выделенными группами, совместно с постоянными коэффициентами α_0, α_c, α_1, α_s, найденными на основе экспериментальных данных, определяющими величинами также являются относительные постоянные безразмерные комплексы $\frac{a}{b} = \frac{BL}{2\alpha_1 \Delta w}$ и $\frac{c}{b} = \frac{v_0}{\alpha_1 \Delta w}$, которые соответственно характеризуют интенсивность случайных составляющих протекающих процессов и среднюю осевую скорость движения частиц загрязнений на выходе из ФЭ, по сравнению со средним изменением осевой составляющей скорости движения топлива в самом элементе.

В практике инженерных расчетов, использование решений (11)…(13) могут вызвать существенные затруднения, что требует введения дополнительных обоснованных допущений, позволяющих упростить практическое применение условий однозначности. На подобную возможность также указывает решение уравнения (13), независящее от времени. Все это делает необходимым проведение дальнейшего, более детального исследования свойств предложенной стохастической модели.

Выводы. В результате проведенных исследований впервые подтверждена возможность использования стохастического подхода для описания процесса предварительной очистки дизельного топлива в многоканальном гидродинамическом фильтре с коническими ФЭ на различных режимах его работы.

Теоретически показано, что процесс предварительной очистки топлива в гидродинамических фильтрах с коническими ФЭ может быть описан с помощью стационарных решений уравнения Фокера-Планка-Колмогорова.

Найдены основные параметры и безразмерные комплексы, учитывающие особенности описания процесса предварительной очистки топлива в конических ФЭ с учетом влияния случайных составляющих.

Список источников

1. Kovalenko V.P., Galko S.A., Sharykin F.E. Technical solutions for purifying fuels and oils at their life cycle stages // Chemistry and technology of fuels and oils. 2016. Т. 51. № 6. P. 623-626.

2. Многоканальный гидродинамический фильтр: патент 168131 Российская Федерация, МПК B 01 D 36/00(2006.01) / В.В. Прошкин, А.Н. Каптюх, Д.Д. Морошан, В.П. Коваленко, А.Ф. Мороз, Р.Г. Мамедов, Ф.Е. Шарыкин; заявл. 04.07.2016; опубл. 18.01.2017, Бюл. № 2.

3. Установка для очистки жидкостей и газов: патент 2630125 Российская Федерация, МПК B 01 D 36/00(2006.01) / В.П. Коваленко, Ф.Е. Шарыкин, С.А. Галко, Д.У. Думболов, А.В. Тодорив; заявл. 22.03.2016; опубл. 05.09.2017, Бюл. № 25.

4. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994. 350 с.

5. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М.: Физматлит, 2001. 576 с.

References

1. Kovalenko V.P., Galko S.A., Sharykin F.E. Technical solutions for purifying fuels and oils at their life cycle stages. Chemistry and technology of fuels and oils. 2016. Т. 51. № 6. P. 623-626.

2. Proshkin V.V., Kaptukh A.N., Moroshan D.D., Kovalenko V.P., Moroz A.F., Mamedov R.G., Sharykin F.E. Mnogokanalnyigidrodinamicheskiifiltr [Multichannel hydrodynamic filter]: RF PatentNo. 168131 C2, MPKB 01 D 36/00. No. 2016126526, 2017. (In Russ.)

3. Kovalenko V.P., Sharykin F.E., Galko S.A., Dumbolov D.U., Todoriv A.V. Ustanovkadliaochistkizhidkostei I gazov [Installation for cleaning liquids and gases]: RF Patent No. 2630125 C2, MPK B 01 D 36/00. No. 2016110423, 2017. (In Russ.)

4. Ternovskii I.G., Kutepov A.M. Gidrociklonirovanie [Hydrocycloning]. M., Nauka, 1994. 350 p. (In Russ.)

5. Polianin A.D. Spravochnikpolineinymuravneniiammatematicheskoifiziki [Handbook of linear equations of mathematical physics]. M., Fizmatlit, 2001. 576 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Е.А.Улюкина – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры; В.А.Львов – старший преподаватель; Ф.Е.Шарыкин – старший научный сотрудник.

Information about the authors

E.Ulyukina – Doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department; V.Lvov – Senior lecturer; F.Sharykin – Senior scientific employee.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 21.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2023

Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-133-146

К ОЦЕНКЕ ИНГИБИТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ

Лариса Геннадьевна Князева [1], Андрей Валерьевич Дорохов [2], Николай Алексеевич Курьято[3]
[1,2,3]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[1]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[2]dorokhov.andryusha@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370

Автор ответственный за переписку: Князева Лариса Геннадьевна, Knyazeva27@mail.ru
Corresponding author: Larisa Knyazeva, Knyazeva27@mail.ru

Реферат. *Рассмотрены возможные критерии эффективности ингибиторной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования: интегральные и дифференциальные; количественные, полуколичественные, качественные; обобщенная количественная оценка на основе весомости каждого из видов разрушений; массовые, глубинные, объемные; технико-экономические; эколого-токсилогические и др. Отмечено, что каждый из критериев в отдельности не всегда однозначен в конкретных условиях, что может привести к субъективной оценке целесообразности использования тех или иных ингибиторов коррозии (ИК).Выделены как перспективные электрохимические методы оценки эффективности ингибиторной защиты, что связано со стремлением исследователей к сокращению времени коррозионных испытаний. В качестве примера рассмотрено исследование системы металл — защитное покрытие — электролит методом поляризационного сопротивления с оценкой вклада каждой составляющей. Исследовали композиции на основе трансформаторного ТКп, индустриального И-20А, моторного М10Г$_2$к, свежего и отработанного (ММО) и комбинированных ИК CortecVpCI-368 и Cortec VpCI-369. Покрытия на стали предварительно формировались в течение суток. Сравнение результатов по защитной эффективности композиций в И-20А с полученными также методом поляризационных кривых и гравиметрическими методами в 0,5М растворе NaCl и в термовлагокамере Г-4 показало качественно подобные результаты, что свидетельствует о достоверности результатов, полученных методом поляризационного сопротивления. Максимальная защитная эффективность наблюдается для композиций на основе ММО с концентрацией ИК 3 -10 масс. % в ММО.*

Ключевые слова: *коррозия, сельскохозяйственная техника, критерии, эффективность, ингибиторная защита, масла, комбинированный ингибитор, метод поляризационного сопротивления.*

TO THE EVALUATION OF INHIBITOR PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINERY AND EQUIPMENT

Knyazeva Larisa[1], Dorokhov Andrey[2], Kur`yato Nikolay[3]
[1,2,3]All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russia
[1]Knyazeva27@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3232-2210
[2]dorokhov.andryusha@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1778-457X
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370

Abstract. *Possible criteria for the effectiveness of inhibitor protection of agricultural machinery and equipment: integral and differential; quantitative, semi-quantitative, qualitative; a generalized quantitative assessment based on the weightiness of each type of destruction; mass, deep, volumetric; technical and economic; environmental and toxicological, etc. were considered. It was noted that each of the criteria taken separately is not always unambiguous in specific conditions, which can lead to a subjective assessment of the appropriateness of using certain corrosion inhibitors (CI). Electrochemical methods for assessing the effectiveness of inhibitor protection are highlighted as promising, which is associated with the desire of researchers to reduce the time of corrosion testing. As an example, a study of the metal-protective coating-electrolyte system by the method of polarization resistance with an assessment of the contribution of each component is considered. Compositions based on trans-former TKp, industrial I-20A, motor M10G2k, fresh and used (MMO), and combined IR CortecVpCI-368 and Cortec VpCI-369 were studied. Coatings on steel were preliminarily formed during the day. Comparison of the results on the protective effectiveness of compositions in I-20A with those also obtained by the method of polarization curves and gravimetric methods in a 0.5 M NaCl solution and in a thermal moisture chamber G-4 showed qualitatively similar results, which indicates the reliability of the results obtained by the method of polarization resistance. The maximum protective efficiency is observed for compositions based on MMO with an IC concentration of 3 -10 wt. % in MMO.*

Keywords: *corrosion, agricultural machinery, criteria, efficiency, inhibitory protection, oils, combined inhibitor, polarization resistance method.*

Для цитирования: Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А. К оценке ингибиторной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования // Наука в Центральной России. 2023. Т. 61 № 1. С. 133-146. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-133-146.

For citation: Knyazeva L., Dorokhov A., Kur`yato N. On the assessment of the inhibitory protection of agricultural machinery and equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 133-146. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-133-146.

Введение. Сельскохозяйственная техника и оборудование подвергаются атмосферной коррозии в период эксплуатации и хранения во время временного неиспользования. Наиболее сильно страдают стальные поверхности, причем на интенсивность коррозионных разрушений влияют: состав и обработка металлической поверхности, стимуляторы коррозии, которые могут оказаться в воздушной атмосфере и на поверхности металла. Например, шлифованные и полированные стальные поверхности в начальный момент лучше сопротивляются коррозионному разрушению. В атмосфере животноводческих помещений, загрязненной такими газами, как сероводород, углекислый газ, аммиак, коррозия протекает быстрее. Чтобы дольше сохранять сельскохозяйственную технику и оборудование в рабочем состоянии требуется надежная противокоррозионная защита.

Для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии широко применяется ингибиторная защита (ИЗ)[1-5]. Ее эффективность зависит от условий среды и природы металла. Защитное действие ингибиторов коррозии (ИК), как правило, связано с их адсорбцией на поверхности металла, что приводит к уменьшению площади коррозионно-активной поверхности [1]. Оптимальный подбор ИК под условия среды невозможен без использования объективных и точных экспериментальных методов оценки их защитной эффективности в лабораторных и в производственных условиях.

Корректная оценка состояния поверхности металла до и после нанесения покрытия на основе визуальных, весовых, электрохимических, физических и аналитических методов необходима для правильного заключения об эффективности ИЗ. Трудности возникают при определении эффективного времени начала разрушения защитного покрытия и оценке срока его службы.

Среди множества критериев для оценки эффективности ингибиторной защиты используют: интегральные, определяющие коррозионный эффект; дифференциальные – скорость коррозии; показатели коррозионной стойкости. Как правило, проводится сравнение значений критериев в присутствии и в отсутствии ИК. К сожалению, каждый из критериев в отдельности не всегда однозначно характеризуют эффективность ингибиторной защиты в конкретных условиях, что

может привести к субъективной оценке целесообразности использования тех или иных ИК для защиты сельскохозяйственной техники и оборудования в конкретных условиях.

Для сравнительной оценки коррозионной стойкости сталей в различных условия разработан целый ряд международных и отечественных стандартов. Так в IS0 15156 предлагаются методы оценки по результатам лабораторных испытаний и на основании опыта эксплуатации в реальных условиях. Лабораторные испытания дешевле и быстрее, опыт эксплуатации в реальных условиях – дорог и рискован с точки зрения потери техникой и оборудованием надежности. Критерии оценки эффективности ингибиторной защиты напрямую связаны с методами исследования коррозионных поражений, что отражено в ряде отечественных стандартов (таблица 1)

Таблица 1 - Методы исследования и критерии эффективности ИЗ из ряда действующих отечественных стандартов

№ п/п	ГОСТ		Методы	Критерии эффективности ингибиторной защиты
	№	Название		
1	9.054-75	Консервационные масла, смазки и ингибированные пленкообразующие нефтяные составы	5 методов ускоренных испытаний консервационных материалов, связанных с выдерживанием металлических образцов с покрытиями в условиях повышенной относительной влажности воздуха и температуры без конденсации, с периодической или постоянной конденсацией влаги, при воздействии сернистого ангидрида с периодической конденсацией влаги на образцах, в атмосфере солевого тумана, в растворе электролита; определение способности масел вытеснять бромистоводородную кислоту.	Визуально площадь коррозионного разрушения за определенное время испытаний или по времени появления первого коррозионного очага; изменение цвета и блеска поверхности металлической пластины визуально или по изменению отражательной способности (ГОСТ 9.308-85).
2	9.908-85	Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости	Количественные, полуколичественные (балльные) и качественные	В основе время достижения заданной (допустимой) степени коррозионного поражения в определенных условиях
3	9.506-87	Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах	Электрохимический (метод поляризационных кривых), гравиметрический	Плотность коррозионного тока. Защитная способность ИК
4	9.509-89	Средства временной противокоррозионной защиты. Методы определения защитной способности	Электрохимические - для сравнительной экспресс-оценки и предварительной качественной оценки степени защиты; Имитационные - для оценки защитной способности в условиях, имитирующих реальные условия хранения и транспортирования законсервированных изделий.	По виду и степени поражений образцов качественным и полуколичественным методом.
5	9.514-99	Ингибиторы коррозии металлов для водных систем. Электрохимический метод определения защитной способности	Метод лабораторных коррозионных испытаний путем измерения скорости электрохимической коррозии с помощью индикатора поляризационного сопротивления	Коэффициент торможения коррозии. Степень защиты.
4	9.106-2021	Единая система защиты от коррозии и старения. Коррозия металлов. Термины и определения	Коррозионные на определение коррозионной стойкости. Лабораторные, натурные (полевые), эксплуатационные, ускоренные (в условиях близким к эксплуатационным, но более краткосрочные), ресурсные с целью определения срока службы покрытия	Коррозионный ток, защитный ток, плотность тока пассивации. Потенциалы: активации, начала пассивации, перепассивации, питтингообразования. Защитная концентрация ИК. Степень защиты. Водородный показатель коррозии, кислородный показатель коррозии. Визуальная оценка.

Разнообразие методов порождает еще большее разнообразие возможных критериев ИЗ.

В конструкциях сельскохозяйственной техники и оборудования широко распространены различные рамы, кузова из тонколистовой стали, для которых характерна преимущественно сплошная равномерная коррозия в атмосферных условиях. При наличии сплошной коррозии могут использоваться массовые, глубинные, объемные количественные критерии оценки эффективности ингибиторной защиты. Каждый из этих критериев отдельно достаточно информативен. Одним из наиболее распространенных массовых критериев в случае равномерной коррозии при лабораторных испытаниях является величина скорости коррозии (К, г/(м^2 ч) металла при введении ИК в коррозионную среду, определяемая через изменение массы металла при коррозии в единицу времени, отнесенная к единице поверхности.

$$К = \frac{m_o - m_1}{m_0 S\tau}, \quad (1)$$

где m_0 - масса образца до испытаний, кг; m_1- масса образца после испытаний и удаления продуктов коррозии, кг; S - площадь поверхности образца,τ -время коррозионного процесса, ч.

Площадь поверхности плоской металлической пластинки в этом случае определяют по формуле:

$$S = 2[(ab - \frac{\pi d^2}{\pi}) + h(a + b + \frac{\pi d}{2}) \quad (2)$$

где a– длина образца, м; b– ширина образца, м; h– толщина образца, м; d– диаметр отверстия, м.

Массовый критерий плохо применим к практике реальной эксплуатации техники и оборудования, потому что их невозможно взвесить с достаточной точностью. Из положения выходят, располагая на технике и оборудовании лабораторные образцы – свидетели и изменение массы фиксируют на них.

Со скоростью коррозии неразрывно связаны величина коэффициента торможения – γ, раз и величина защитной эффективности ИК - Z, %, определяемые по формулам (3,4):

$$\gamma = К_0/К_и \quad (3)$$

$$Z = \frac{K_0 - Kи}{K_0} \cdot 100\ \%, \quad (4)$$

где K_0 и $K_и$ – скорости коррозии металла в отсутствие и при наличии ИК в системе, соответственно.

Эти критерии взаимосвязаны (5,6):

$$\gamma = \frac{1}{1-Z}, \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{1}{1 - Z/100}, \quad (6)$$

что отражено в таблице 1

Таблица 1 – Сравнение показателей Z и γ

Показатель	Значение												
Z, %	20	30	40	50	60	70	80	90	95	98	99	99,5	99,9
γ, раз	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5	3,3	5	10	20	50	100	200	1000

Как указано в ГОСТ 9.106-2021 возможны и такие критерии оценки эффективности ингибиторной защиты, как единицы плотности электрического тока при электрохимических испытаниях, через плотности тока можно выразить скорость и коэффициент торможения коррозионного процесса (7).

$$\gamma = \frac{i_o}{i_1} \quad (7)$$

При протекании сплошной коррозии с постоянной скоростью могут использоваться как критерии ИЗ время до уменьшения массы на единицу площади на допустимую величину (t_m,год) и время проникновения на допустимую глубину l, (t_1, год) определяемые по формулам (3):

$$\tau_m = \frac{\Delta m}{v_m} \quad \tau_1 = \frac{\Delta l}{v_1}, \quad (8)$$

где v_m- скорость убыли массы, кг/м^2·год; v_1- линейная скорость коррозии, м/год.

При допущении в случае сплошной коррозии, что изменение массы образца прямо пропорционально глубине проникновения коррозии, массовый показатель можно пересчитать в глубинный (П), который для стали имеет вид (9):

$$П = \frac{К_и, 8760}{7,87} . 10^{-3} = 1,1131 K_и \quad (9)$$

где П – глубинный показатель скорости коррозии (проницаемость металла), мм/год; 8760 – количество часов в году; 7,87 – плотность железа, г/см^3.

Иначе П можно выразить через изменение массы образца:

$$П = 8,76 \cdot \Delta m/\rho \quad (10)$$

где $\cdot\Delta m$ – потеря массы металла или сплава при коррозии, ρ – плотность металла

Объемный показатель, равный объему поглощенного кислорода или выделившегося водорода в ходе процесса на единице поверхности за единицу времени при оценке эффективности ингибиторной защиты сельскохозяйственной техники практически не используется из-за его большей сложности, его больше применяют при фундаментальных научных исследованиях ИК.

Очевидно, что, с одной стороны, К, Z и П - важные технологические факторы, которые необходимо учитывать при выборе ингибиторной защиты на практике. Но, с другой стороны, эти критерии напрямую зависят от концентрации используемого ИК, поэтому также важны с экономической и с экологической точек зрения. Следует помнить, что стоимость ИК на рынке непрерывно растет, поэтому, чем меньше концентрация ИК, обеспечивающая нужную защитную эффективность, тем это более экономически выгодно. Не секрет, что многие ИК токсичны. Так, многие высокоэффективные маслорастворимые ингибиторы коррозии аминного типа относятся ко второму и третьему классу опасности, поэтому, чем меньшая концентрация ИК требуется для эффективной противокоррозионной защиты металла, тем лучше с экологической точки зрения. В результате, минимальная концентрация ИК, обеспечивающая заданный уровень его защитной эффективности, также может служить критерием для оценки эффективности ингибиторной защиты. Но тут возникают вопросы с тем, какой уровень ингибиторной защиты следует задавать, чтобы учесть, в том числе, экономические факторы.

Стоимость ингибиторной защиты складывается из стоимости используемых материалов и оборудования для их нанесения, стоимости трудовых затрат, связанных с осуществлением технологического процесса и стоимости амортизационных расходов. На уровень ингибиторной защиты влияет амортизационный срок службы сельскохозяйственного оборудования и техники. Вообще сельскохозяйственная техника и оборудование относятся к 5 группе с амортизационным сроком от 7 до 10 лет. Считается, что срок службы лакокрасочных покрытий, которые обычно используют для новой техники, не превышает 3 лет. Чтобы обеспечить амортизационный срок службы техники и оборудования теоретически достаточно ингибиторов коррозии, обеспечивающих защитную эффективность порядка 70 % и совсем не обязательно выдвигать требование к ингибиторам о защитной эффективности не менее 90 %. Очень часто более высокой защитной эффективностью обладают более дорогие ИК. Но все это очень условно, и с каждым случаем нужно разбираться отдельно непосредственно в условиях эксплуатации. Часто технику и оборудование эксплуатируют и за пределами амортизационного срока.

В работе [5] был предложен технико-экономический критерий эффективности ИЗ (11):

$$C_{ИК}/Z \rightarrow min, \quad (11)$$

где $C_{ИК}$ – удельная стоимость ингибированного материала, руб/кг,

Z – рациональная защитная эффективность, обеспечивающая необходимую долговечность материала.

На основе многолетних наблюдений предложено уравнение регрессии для скорости коррозии стальных деталей:

$$K = 0{,}78\ H + 1{,}22\ T + 0{,}173[Cl^-] + 0{,}3[SO_2] - 52{,}68, \quad (12)$$

где H -средняя годовая относительная влажность, %,

T – средняя годовая температура, ^{0}C,

$[Cl^-]$ – средняя годовая концентрация хлоридов, мг/м^3,

$[SO_2]$ - средняя годовая концентрация диоксида серы, мг/(м^3 сут).

Анализ уравнения по состоянию загрязнений вредными выбросами в регионах с учетом ПДК диоксида серы и хлоридов показал, что их влияние на К незначительно (0,3 – 0,5 %), поэтому уравнение (12) можно использовать в упрощенном виде (13)

$$K = 0{,}78\ H + 1{,}22\ T - 52{,}68 \quad (13)$$

Интересны комплексные оценки технико-экономической эффективности применения ингибированных материалов [6]. Путем сложения оценок по десятибалльной системе по ряду показателей (стойкость к различным реагентам, стоимость, массу, прочность, физическую стойкость и теплостойкость) определяют суммарный балл, характеризующий технико-экономическую эффективность материала.

Авторы работы [7] предлагают оценивать эффективность ИК методом математического планирования. В качестве факторов многофакторного эксперименты используют концентрации ИК и солей растворяющегося металла, температуру. Оценивали статистическую значимость коэффициентов в уравнении регрессии по методу наименьших квадратов, проверяли, используя критерии Стьюдента, а адекватность модели оценивали по критерию Фишера. Этот метод не потерял своей актуальности и сегодня.

Методами статистического моделирования предлагают прогнозировать сроки службы консервационных материалов в работе [8] на основе исследований кинетики коррозионных поражений стали в разных климатических зонах, выявлении и оценке главных атмосферных факторов, ускоряющих этот процесс. Изучали прежде всего поверхностную коррозию. По модели кинетической кривой строили такие критерии защитной эффективности консервационных материалов как время достижения определенного порога критического поражения поверхности, площадь коррозионного поражения (S) для заданного момента времени, коэффициент торможения γ. Все эти критерии могут быть использованы в виде точечных оценок и доверительных интервалов.

Существует удельно-стоимостной критерий эффективности ингибиторной защиты, руб /м^3, показывающий, сколько стоит ингибиторная защита единицы площади защищаемой поверхности [7].

Интересен подход, связывающий защитную эффективность, определенную в лабораторных условиях с промышленной оценкой ИК, предложенный в работе [9], отраженный в данных таблицы 2.

Таблица 2 – Критерии оценки эффективности ИК

Лабораторные условия	Промышленная оценка ИК			
	слабо	средне	хорошо	отлично
Z, %	≥90	$75 \leq Z < 90$	$50 \leq Z < 74$	< 50

С эколого-токсикологическими критериями ИЗ все достаточно сложно, так как далеко не всегда известны значения ПДК, которые используются при расчете предотвращенного экологического ущерба от использования ингибиторной защиты. В качестве экспрессной

интегральной оценки токсичности в [9] предложено использовать критерии биохимического (БПК) и химического (ХПК) потребления кислорода в растворах с соответствующей концентрацией ИК.

Частная собственность не способствует учету противокоррозионных свойств конструкционных материалов на стадии проектирования и разработки техники и оборудования, проведению дорогостоящих противокоррозионных мероприятий при ее эксплуатации структурами технического сервиса предприятий-изготовителей, сохранению основных фондов, оптимизации затрат на противокоррозионную защиту. Технику эксплуатируют в разных регионах, сокращая сроки хранения в период неиспользования, иногда вообще не проводя противокоррозионных мероприятий. На первое место может выйти не обеспечиваемая защитная эффективность ингибиторной защиты, а минимизация затрат.

Локальная коррозия, как правило опасней сплошной равномерной, но в сельскохозяйственном производстве на нее меньше обращают внимания, так как ее тяжелее учитывать на больших металлических поверхностях и с ней сложнее бороться.

При возникновении таких типов коррозии (местной пятнами, питтинговой, точечной, межкристаллитной, растрескивающей, подповерхностной и т.д.) требуются специфичные критерии оценки эффективности ингибиторной защиты. Как указано в ГОСТ 9.908-85 для местной коррозии пятнами, диаметр которых больше глубины прокорродировавшего металла, например, подходит критерий степени поражения поверхности (%), определяемой через отношение суммы поверхностей пятен к общей площади образца. В этом случае одного показателя недостаточно, требуется еще определять глубину поражения металла. Аналогично, в случае питтинговой коррозии актуальны одновременно три критерия (степень поражения поверхности, максимальная глубина проникновения, максимальный размер поперечника питтинга). В случае межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания глубинного критерия проникновения коррозионного поражения недостаточно, необходимо использовать критерии, характеризующие снижение механических свойств.

Вообще, среди количественных методов оценки эффективности ингибиторной защиты очень перспективны электрохимические, что связано со стремлением исследователей к сокращению времени коррозионных испытаний. К тому же сама коррозия протекает чаще всего по электрохимическому механизму, поэтому электрохимические методы теоретически позволяют точнее описать коррозионные процессы. Очень важным преимуществом электрохимических методов является отсутствие необходимости снимать защитное покрытие для определения, начались ли процессы коррозионного разрушения под ним.

К наиболее простым электрохимическим методам относится измерение электрохимического потенциала (Е) металла, по значению которого, совместно с pH среды по диаграммам Пурбе можно судить о том, находится ли металл в пассивном состоянии или активно растворяется. Привлекают экспресностью, простотой аппаратурного оформления достаточно информативные методы снятия поляризационных кривых – зависимостей анодного и катодного тока от потенциала. В упомянутом выше ГОСТ 9.506-87 (таблица 1), в частности, описывают потенциодинамический и гальваностатический варианты этого метода. В [10] с помощью потенциометрии по промежутку времени от начала испытаний до найденного экстраполяцией момента пробоя, определяют срок службы покрытия. В ГОСТ 9.509-89 (таблица 1) предлагают ряд электрохимических испытаний:

- с помощью полярографа при выдерживании металла в парах ИК:

$$Z = \Delta h/\tau, \tag{14}$$

где Δh - разность амплитуд волн поляризационной кривой без ингибитора и поляризационной кривой стационарного вида с ингибитором, мм;

τ - время выдержки электрода в парах ингибитора до достижения поляризационной кривой стационарного вида, мин;

- измерение сопротивления (R,Ом) и емкости (C, Ф) образцов в растворе NaCl при различных частотах переменного тока:

$$R = \frac{R_{изм.}[1+(2\pi f)^2 \cdot C^2_{изм.} \cdot R^2_{изм.}]}{(2\pi f)^2 \cdot C^2_{изм.} \cdot R^2_{изм.}}, \qquad C = \frac{C_{изм.}}{1+(2\pi f)^2 \cdot C^2_{изм.} \cdot R^2_{изм.}} \tag{15}$$

где f - частота переменного тока, Гц;
$R_{изм}$- измеренные значения сопротивления при каждой частоте тока, Ом;
$C_{изм}$ - измеренные значения емкости при каждой частоте тока, Ф.

Метод поляризационного сопротивления, основанный на принципе Стерна-Гири (ГОСТ 9.514-99, таблица 1) предполагает, что вблизи стационарного потенциала зависимость между плотностью тока I и сдвигом потенциала ΔE прямолинейна:

$$R_n = \frac{\Delta E}{i} \tag{16}$$

где Rп - поляризационное сопротивление, ΔE – сдвиг потенциала от стационарного значения в катодном или анодном направлении, не превышающий 25 мВ.

Плотность коррозионного тока:

$$i_{кор} = \frac{b_k b_a}{2{,}3(b_k b_a)} \cdot \frac{1}{R_n}, \tag{17}$$

где b_k и b_a – тафелевские наклоны катодного и анодного процессов. Зависимость (9) позволяет сравнивать эффективность ингибиторов по значениям поляризационного сопротивления.

Коррозиметр «Моникор-2М» реализует на практике метод Стерна-Гири.

В работе [11] предложено определять характер защитного действия ИК путем сравнения катодных и анодных граничных сопротивлений и соответствующих сдвигов потенциала стального электрода от стационарного значения.

Одним из наиболее широко используемых в настоящее время методов исследования коррозионной стойкости металлов является импедансный [12], основанный на измерении электрической емкости и сопротивления металла под пленкой защитного покрытия, погруженного в электролит при наложении на систему переменного тока.

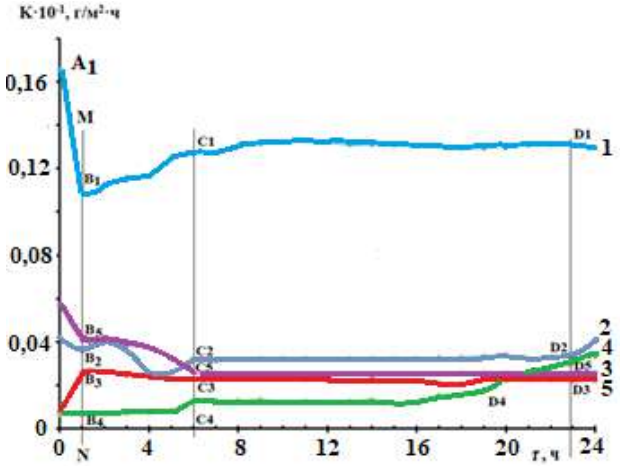
В работах [12,13] описывают систему металл — защитное покрытие — электролит с помощью стационарных потенциалов, поляризационных характеристик, омического сопротивления, емкости, скорости диффузии и т. п., как электрохимически активную систему. Выявлено, что, если при введении ИК защитная способность возрастает, то величина Z определяется свойствами не только ИК, а защитной системы «фазовая пленка — ингибитор», в целом». Методом определения поляризационного сопротивления можно оценить вклад каждой из составляющих такой системы [9, 12,13].

В данной работе представлены в качестве примера использования последнего метода результаты исследования ингибированных масляных композиций.

Результаты и обсуждение. Исследовали композиции на основе трансформаторного ТКп, индустриального И-20А, моторного М10Г$_2$к, свежего и отработанного (ММО) и комбинированных ИК CortecVpCI-368 и Cortec VpCI-369 [14,15]. При измерениях методом поляризационных кривых покрытия на стали предварительно формировались в течение суток. Метод линейного поляризационного сопротивления позволяет проследить за коррозионными процессами в режиме реального времени.

Рассмотрим отдельно зависимости изменения скорости коррозии во времени незащищенной стальной поверхности, защищенной только маслом, защищенной ингибированным маслом (рисунки 1- 5).

Как следует из рисунка 1 в первые 24 часа скорость атмосферной коррозии углеродистой стали 0,8кп невелика за счет защитного действия сформированной на поверхности металла воздушно-оксидной пленки (рисунок 1, кривая 1). Затем при абсорбции пленкой влаги, видимо, меняется структура поверхностной пленки и снижается ее защитная способность, что приводит к систематическому повышению скорости коррозии.



1 – Фон, 2 – И20А; 3 - М10Г$_2$к, 4– ТКп; 5 – ММО
Рисунок 1 – Изменение скорости коррозии во времени

Введем точки A_1, B_1, C_1, D_1 на кривой 1. Точка A_1 – начало отсчета протекания коррозионного процесса, для этого момента времени (τ_{A1}) скорость коррозии будет K_{A1}. Величины защитной эффективности к моментам времени τ_{B1}, τ_{C1} и τ_{D1} могут быть рассчитаны из зависимостей:

$$Z_{B1} = (K_{A1} - K_{B1})/K_{A1}, \quad (18)$$

$$Z_{C1} = (K_{A1} - K_{C1})/K_{A1}, \quad (19)$$

$$Z_{D1} = (K_{A1} - K_{D1})/K_{A1}. \quad (20)$$

На участке A_1B_1 скорость коррозии быстро снижается во времени за счет образования поверхностных твердофазных оксидных образований. На участке C_1D_1 вблизи τ_C величина $dK/d\tau$ существенно снижена, либо вообще стремится к нулю, когда достигается стационарное состояние защитной пленки вблизи τ_D. Таким образом, твердофазная защитная пленка характеризуется вполне определенной величиной Z_D.

Нанесение на поверхность корродирующей стали пленок исследуемых масел приводит к снижению скорости коррозии (рисунок 1, кривые 2-5) и, соответственно, возрастанию защитного эффекта системы «твердофазная пленка-масло». В такой бимодальной защитной системе есть два компонента, оказывающие защитное действие. Принимаем, что вклад твердофазной пленки сохраняется без изменения в присутствии масла. Защитная эффективность твердофазной защитной пленки (Z_B, Z_C и Z_D) оценена по данным кривой 1 рисунка 1.

$$Z_{\Sigma,B} = Z_B + Z_{B,м}, \quad (21)$$

$$Z_{\Sigma,C} = Z_C + Z_{C,м}, \quad (22)$$

$$Z_{\Sigma,D} = Z_D + Z_{D,м}. \quad (23)$$

Для масла к моментам τ_B, τ_C и τ_D имеем:

$$Z_{B,м} = (K_{B1} - K_{B2})/ K_{A1}, \quad (24)$$

$$Z_{C,м} = (K_{C1} - K_{C2})/K_{A1}, \quad (25)$$

$$Z_{D,м} = (K_{D1} - K_{D2})/K_{A1}. \quad (26)$$

Полученные данные для исследуемых масел отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Защитная эффективность бимодальной системы «твердофазная пленка -масло» по данным рисунка 1

Масло	Защитная эффективность (Z), %								
	Z_{B1}	Z_{C1}	Z_{D1}	$Z_{B,\,M}$	$Z_{C,\,M}$	$Z_{D,\,M}$	ZΣ, B	ZΣ, C	ZΣ, D
И20-А	34,1	24.8	21,7	44,2	57,3	58,1	91,4	82,1	79,8
ММО	34,1	24,8	21,7	50,0	60,8	62,7	84,1	85,7	84,5
М10Г2к	34,1	24,8	21,7	46,0	60,8	60,8	80,1	85,6	82,5
ТКп	34,1	24,8	21,7	60,6	68,5	59,4	94,1	93,3	81,1

Как следует из представленных результатов, к 24 часам экспозиции максимальный вклад в суммарный защитный эффект обеспечивают защитные пленки ММО, причем защитный эффект приблизительно одинаков через 1 час, и через 23 часа.

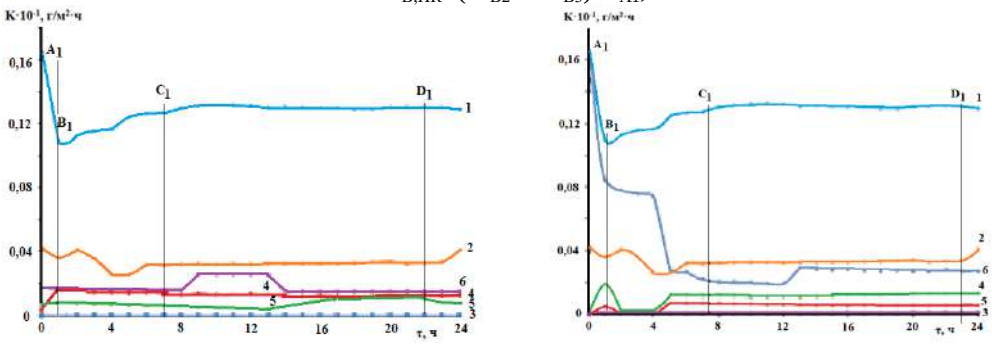
В случае масел, ингибированных комбинированными ИК CortecVpCI-368 (1) и Cortec VpCI-369 принимаем аддитивное действие всех трех компонентов системы: твердофазной пленки (ТФК), неингибированного масла (НМ) и ИК.

$$Z_{\Sigma} = Z_{ТФК} + Z_{НМ} + Z_{ИК} \quad (27)$$

На рисунке 2 приведены зависимости изменения скорости коррозии для ингибированного индустриального масла И-20А в первые 24 часа. В таблице 4 приведены данные о вкладах компонентов в реперных точках. Максимальный вклад ингибиторов коррозии в общую защитную эффективность наблюдается при их концентрации 3 масс.%.

Защитный эффект 3 масс. % ИК ко времени в точке Вможно рассчитать из зависимости:

$$Z_{B,ИК}=(K_{B2}\text{-K } K_{B3})/K_{A1}, \quad (28)$$



а б

Рисунок 3 – Изменение во времени скорости коррозии И-20А, ингибированного CortecVpCI-368 (а) и Cortec VpCI-369 (б) в концентрации, масс. %: 1 – 0 (фон), 2 – 0 (И-20А); 3 - 3; 4 – 5; 5 – 7; 6 – 10

Таблица 3 – Защитная эффективность «твердофазная пленка - индустриальное масло - ИК» по данным рисунка 3

$C_{ИК}$, масс.%	Защитная эффективность (Z), %											
	Твердофазная пленка			Неингибированное масло (НМ)			ИК, $Z_{ИК}$			Суммарный защитный эффект		
	Индустриальное масло											
	Z_{B1}	Z_{C1}	Z_{D1}	$Z_{B,\,M}$	$Z_{C,\,M}$	$Z_{D,\,M}$	$Z_{B,\,ИК}$	$Z_{C,\,ИК}$	$Z_{D,\,ИК}$	$Z_{\Sigma,\,B}$	$Z_{\Sigma,\,C}$	$Z_{\Sigma.D}$
0	34/34	25/25	22/22	44/44	57/57	58/58						
3	34/34	25/25	22/22	44/44	57/57	58/58	22/22	18/17	20/20	~100/ ~100	~100/ ~99	~100/ ~100
5	34/34	25/25	22/22	44/44	57/57	58/58	12/11	11/12	13/13	90/89	93/94	93/93
7	34/34	25/25	22/22	44/44	57/57	58/58	16/19	15/15	13/17	94/97	97/97	93/97
10	34/34	25/25	22/22	44/44	57/57	58/58	12/-29	10/3	11/4	90/49	92/85	91/84

Приведенные данные свидетельствуют о максимальном вкладе ИК в общую защитную эффективность при концентрации 3 масс. % и о наименьшем - при концентрации 10 масс. %, причем существенные различия между вкладами CortecVpCI-368 и Cortec VpCI-369 наблюдаются только в последнем случае. В И-20А вклады ИК выше, чем для составов на основе ТКп (таблица 4).

Максимальный вклад ИК в общую защитную эффективность композиций с ТКп наблюдается также при их концентрации 3 масс.%. Только в этом случае кривая изменения скорости коррозии проходит ниже кривой, полученной для пленки неингибированного ТКп. При концентрации ИК в масле 5 и 7 масс. % кривая идет ниже только при времени 20-24 часа, можно это связать с его медленной адсорбцией. Возможно, причина еще и в том, что исходные масла и вводимые нами исследуемые ИК вступают в антагонизм, что не проявляется при низкой концентрации ИК (3 масс. %). Но, чем выше концентрация ИК, тем сильнее проявляется антагонизм, поэтому кривая для масла с 10 масс. % ИК идет выше кривой неингибированного масла в течение всего времени измерения. Вклады CortecVpCI-368 и Cortec VpCI-369 мало отличаются друг от друга.

Таблица 4– Защитная эффективность «твердофазная пленка-трансформаторное масло - ИК»

$C_{ИК}$масс. %	Защитная эффективность композиций с CortecVpCI-368/ CortecVpCI-369, %											
	Твердофазная пленка			Неингибированное масло (НМ)			ИК, $Z_{ИК}$			Суммарный защитный эффект		
	Трансформаторное масло											
	Z_{B1}	Z_{C1}	Z_{D1}	$Z_{B,\,М}$	$Z_{C,\,М}$	$Z_{D,\,М}$	$Z_{B,\,ИК}$	$Z_{C,\,ИК}$	$Z_{D,\,ИК}$	$Z_{\Sigma,\,B}$	$Z_{\Sigma,\,C}$	$Z_{\Sigma.D}$
0	34/34	25/25	22/22	61/61	69/69	59/59						
3	34/34	25/25	22/22	61/61	69/69	59/59	4/4	7/7	10/10	99/99	~100/ ~100	~100/ ~100
5	34/34	25/25	22/22	61/61	69/69	59/59	-2/-9	2/3	4/3	93/87	94/93	95/94
7	34/34	25/25	22/22	61/61	69/69	59/59	-2/-1	4/3	5/5	93/95	98/97	96/96
10	34/34	25/25	22/22	61/61	69/69	59/59	-13/-10	-9/-17	-13/-16	82/85	85/77	78/75

В таблице 5 приведены данные по защитной эффективности для ингибированного моторного масла М10$Г_2$к, свежего и отработанного (ММО). Как следует из приведенных данных суммарный защитный эффект для композиций на основе ММО, выше, чем для свежего М10$Г_2$к, причем высокие значения защитной эффективности достигаются практически сразу.

Таблица 5 – Защитная эффективность «твердофазная пленка – моторное масло - ИК»

$C_{ИК}$, мас. %	Защитная эффективность (Z), %											
	Твердофазная пленка			Неингибированное масло (НМ)			Твердофазная пленка			Суммарный защитный эффект		
	CortecVpCI-368/ CortecVpCI-369 в М10$Г_2$к											
	Z_{B1}	Z_{C1}	Z_{D1}	$Z_{B,\,М}$	$Z_{C,\,М}$	$Z_{D,\,М}$	$Z_{B,\,ИК}$	$Z_{C,\,ИК}$	$Z_{D,\,ИК}$	$Z_{\Sigma,\,B}$	$Z_{\Sigma,\,C}$	$Z_{\Sigma.D}$
0	34/34	25/25	22/22	46/46	61/61	61/61						
3	34/34	25/25	22/22	46/46	61/61	61/61	16/16	14/14	14/14	96/96	~100/ ~100	97/97
5	34/34	25/25	22/22	46/46	61/61	61/61	-17/-11	-3/0	-1/3	63/69	83/86	82/83
7	34/34	25/25	22/22	46/46	61/61	61/61	12/8	10/7	7/8	92/88	96/93	90/91
10	34/34	25/25	22/22	46/46	61/61	61/61	-14/-11	3/-12	5/-11	66/69	89/74	88/72
	CortecVpCI-368/ CortecVpCI-369 в ММО											
	Z_{B1}	Z_{C1}	Z_{D1}	$Z_{B,\,М}$	$Z_{C,\,М}$	$Z_{D,\,М}$	$Z_{B,\,ИК}$	$Z_{C,\,ИК}$	$Z_{D,\,ИК}$	$Z_{\Sigma,\,B}$	$Z_{\Sigma,\,C}$	$Z_{\Sigma.D}$
0	34/34	25/25	22/22	50/50	61/61	63/63						
3	34/34	25/25	22/22	50/50	61/61	63/63	16/16	14/14	15/15	~100/ ~100	~100/ ~100	~100/ ~100
5	34/34	25/25	22/22	50/50	61/61	63/63	14/11	11/12	13/13	98/95	97/98	98/98

7	34/34	25/25	22/22	50/50	61/61	63/63	16/16	14/14	13/15	~100/ ~100	~100/ ~100	98/ ~100
10	34/34	25/25	22/22	50/50	61/61	63/63	12/1	10/3	13/15	96/85	96/89	98/ ~100

Для всех масляных композиций оптимальная концентрация ИК – 3 масс.%, для композиций на основе ММО 3 - 10 масс.%. При всех концентрациях ИК во всех исследованных маслах в принципе получены достаточно близкие значения скорости коррозии. Следует отметить, что для метода поляризационного сопротивления характерен большой разброс результатов параллельных экспериментов, что характерно для пленок наноразмерной толщины.

Таким образом, согласно исследованиям, проведенным методом поляризационного сопротивления оптимальный растворитель-основа – ММО, оптимальная концентрация ИК - 3 масс. % и 3 -10 масс. % в ММО.

В таблице 6 приведены сравнительные данные, полученные из электрохимических и гравиметрических испытаний, по влиянию концентрации составов на основе Cortec VpCI-368 и Cortec VpCI-369 в индустриальном масле И-20А на их защитную эффективность на стали 0,8кп.

Таблица 6 – Зависимость защитной эффективность композиций на основе Cortec VpCI-368 и Cortec VpCI-369 в И-20А на стали 0,8кп при электрохимических и гравиметрических испытаниях

Концентрация VpCl в И-20А, масс. %	Защитная эффективность (Z), % при исследованиях							
	CortecVpCI-368				CortecVpCI-369			
	электрохимия в 0,5 М NaCl по методам		гравиметрия		электрохимия в 0,5 М NaCl по методам		гравиметрия	
	поляризационных кривых	поляризационного сопротивления (24 ч)	0,5 М NaCl	Г-4	поляризационных кривых	поляризационного сопротивления (24 ч)	0,5 М NaCl	Г-4
0	41	58	21	41	41	58	21	45
3	89	~100	29	86	71	~100	29	97
5	96	93	69	97	87	93	69	99
7	96	93	69	97	97	97	69	99
10	96	91	69	98	98	84	69	~100
100	89		81	~100	71		80	~100

При сравнении результатов исследований разными методами во всех случаях получены качественно подобные результаты. Различия связаны с различными условиями проведения экспериментов в разных методах исследования. Введение ИК в масло в количестве 3-10 масс. % позволяет не менее, чем в два раза увеличить защитную эффективность покрытия. Максимальная защитная эффективность для композиций при 3 масс. % ИК, полученная методом поляризационного сопротивления, при остальных исследованиях не подтвердилась. Значения защитной эффективности композиций с CortecVpCI-368 и CortecVpCI-369 С при концентрации от 3 до 10 масс. % достаточно близки между собой при различных методах исследования.

Выводы. Критерии эффективности ИЗ разнообразны. Масляные композиции перспективно рассматривать методом поляризационного сопротивления, определяя вклад в общую защитную эффективность всех компонентов. Защитную эффективность (Z) отдельно ИК и всей защитной системы в целом можно использовать в качестве объективного критерия эффективности ИЗ. Для быстрой, эффективной и достоверной оценки эффективности ИЗ желательно одновременно использовать несколько методов исследования и, возможно, несколько различных критериев, а также проводить статистическую обработку данных, чтобы подтвердить достоверность полученных результатов. Лабораторные исследования необходимо проверять на практике в непосредственных условиях эксплуатации и хранения сельскохозяйственной техники и оборудования.

Список источников

1. Козлова Л.С., Сибилева С.В., Чесноков Д.В., Кутырев А.Б. Ингибиторы коррозии (обзор)//Авиационные материалы и технологии. - 2015.-№ 2.- С.67 – 75.

2. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. T. 55. № 4. C. 412-423.

3. Кузнецова Е.Г., Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Петрашев А.И., Гайдар С.М. Защитная эффективность водорастворимых ингибиторов коррозии при консервации сельскохозяйственной техники//Техника в сельском хозяйстве. - 2012. - № 6. – С. 23-25.

4. Брянский Б.Я., Бутакова Ю.А., Мухин В.А., Новикова В.В., Проскура А.Г. О выборе ингибиторов коррозии на основе измерений граничного сопротивления // Вестник Омского университета. - 2017. - № 1. - С. 55 – 58.

5. Голубев М.И. Повышение эффективности хранения лесохозяйственных машин путем разработки и применения ресурсосберегающих консервационных составов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: 2013

6. Цикерман Л.Я., Кесельман Г.С. Технико-экономическая эффективность противокоррозионной защиты подземных металлических трубопроводов. М.: Изд-во ЦНИИТЭнефтегаз, 1964.

7. Тыр С.Г., Федоров Ю.В., Бобошко З.А. Оценка ингибиторов коррозии методом математического планирования// Защита металлов. -1989.-Т.25.- № 6.- С. 998-1001.

8. Лапига А.Г., Калинина Э.В., Карпов В.А., Михайлова О.Л. Прогнозирование сроков службы консервационных материалов методами статистического планирования// Химия и технология топлив и масел. -1998.-№9.- С.24-27

9. Вигдорович В.И., Стрельникова К.О. Критерии оценки защитной эффективности ингибиторов коррозии//Конденсированные среды и межфазные границы.-Т.13.- №1.-С.24-28.

10. Способ определения срока службы защитных покрытий на металлах в агрессивных средах. Авторское свидетельство № 1817013. Опубл. 23.05.93. Бюл. № 19.

11. Кичигин В.И., Шерстобитова И.Н., Шеин А.Б. Импеданс электрохимических и коррозионных систем: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь, Перм. гос. ун-т, 2009. 239 с.

12. Vigdorovich, V.I. Addition of surface polysulfide film to the inhibitor protective action against hydrosulfide corrosion of carbon steel / V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova and N.V. Shel // Surf. InterfaceAnal. – 2010. – V. 42, № 5, 6. – P. 626 – 628.

13. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Князева Л.Г., Шель Н.В., Кузнецова Е.Г., Дорохов А.В., Остриков В.В., Урядников А.А. Способ дифференциации вкладов компонентов антикоррозионной системы, формирующейся на корродирующей металлической поверхности, в ее интегральную эффективность в агрессивной среде. Патент на изобретение RU 2648012 C2, 21.03.2018. Заявка № 2016109163 от 14.03.2016.

14. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

15. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

References

1. Kozlova L.S., Sibileva S.V., Chesnokov D.V., Kutyrev A.B. Corrosion inhibitors (review)//Aviation materials and technologies. - 2015.-No. 2.- P.67 - 75.

2. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials//Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. V. 55. No. 4. S. 412-423.

3. Kuznetsova E.G., Prokhorenkov V.D., Knyazeva L.G., Petrashev A.I., Gaidar S.M. Protective effectiveness of water-soluble corrosion inhibitors in the conservation of agricultural machinery//Technology in agriculture. - 2012. - No. 6. - S. 23-25.

4. Bryansky B.Ya., Butakova Yu.A., Mukhin V.A., Novikova V.V., Proskura A.G. On the choice of corrosion inhibitors based on measurements of boundary resistance // Bulletin of the Omsk University. - 2017. - No. 1. - S. 55 - 58.

5. Golubev M.I. Improving the efficiency of storage of forestry machines through the development and use of resource-saving conservation compositions. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences. M.: 2013

6. Tsikerman L.Ya., Keselman G.S. Technical and economic efficiency of anti-corrosion protection of underground metal pipelines. M.: Publishing house of TsNIITEneftegaz, 1964.

7. Tyr S.G., Fedorov Yu.V., Boboshko Z.A. Evaluation of corrosion inhibitors by the method of mathematical planning// Protection of metals. -1989.-T.25.- No. 6.- S. 998-1001.

8. Lapiga A.G., Kalinina E.V., Karpov V.A., Mikhailova O.L. Forecasting the service life of conservation materials by methods of statistical planning // Chemistry and technology of fuels and oils. - 1998.-№9.- P.24-27

9. Vigdorovich V.I., Strelnikova K.O. Criteria for evaluating the protective effectiveness of corrosion inhibitors//Condensed media and interphase boundaries.-T.13.- No. 1.-C.24-28.

10. Method for determining the service life of protective coatings on metals in aggressive environments. Copyright certificate No. 1817013. Publ. 05/23/93. Bull. No. 19.

11. Kichigin V.I., Sherstobitova I.N., Shein A.B. Impedance of electrochemical and corrosion systems: textbook. special course allowance. Perm, Perm. state un-t, 2009. 239 p.

12. Vigdorovich, V.I. Addition of surface polysulfide film to the inhibitor protective action against hydrosulfide corrosion of carbon steel / V.I. Vigdorovich, L.E. Tsygankova and N.V. Shell // Surf. InterfaceAnal. - 2010. - V. 42, No. 5, 6. - P. 626 - 628.

13. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V., Kuznetsova E.G., Dorokhov A.V., Ostrikov V.V., Uryadnikov A.A. A method for differentiating the contributions of the components of an anti-corrosion system formed on a corroding metal surface to its integral efficiency in an aggressive environment. Patent for invention RU 2648012 C2, 03/21/2018. Application No. 2016109163 dated March 14, 2016.

14. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur'yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021 Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

15. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur'yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021 Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

Информация об авторах

Л.Г. Князева Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент; А.В. Дорохов - кандидат химических наук; Н.А. Курьято – младший научный сотрудник.

Information about the authors

L. Knyazeva – Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor; A. Dorokhov - Candidate of Chemical Sciences; N. Curiato - junior researcher.

Вклад авторов: Л.Г. Князева – обзор литературы, формулировка цели и выводов, обработка и анализ результатов исследований; А.В. Дорохов и Н.А. Курьято – проведение экспериментальных исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: L. Knyazeva - literature review, formulation of the goal and conclusions, processing and analysis of research results; A.Dorokhov and N.Kur`yato – conducting experimental studies.

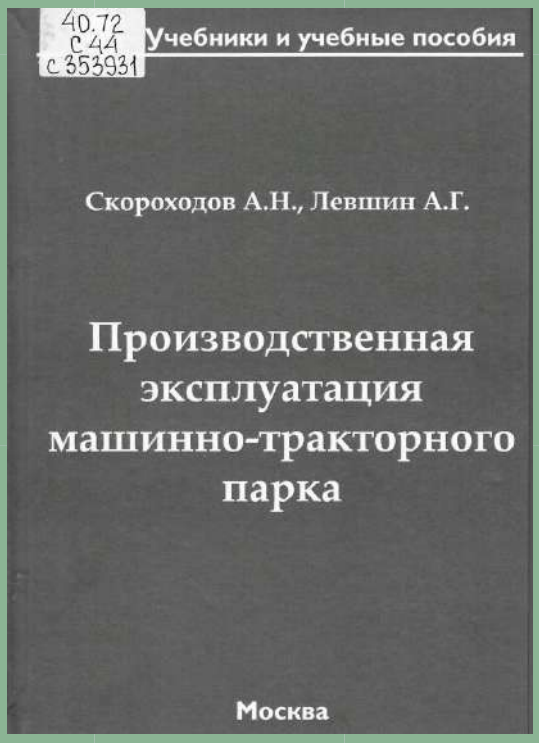
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 12.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2023

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 28.02.2023. Заказ № 22.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 15,43 усл. печ. л. Тираж 100 экз.

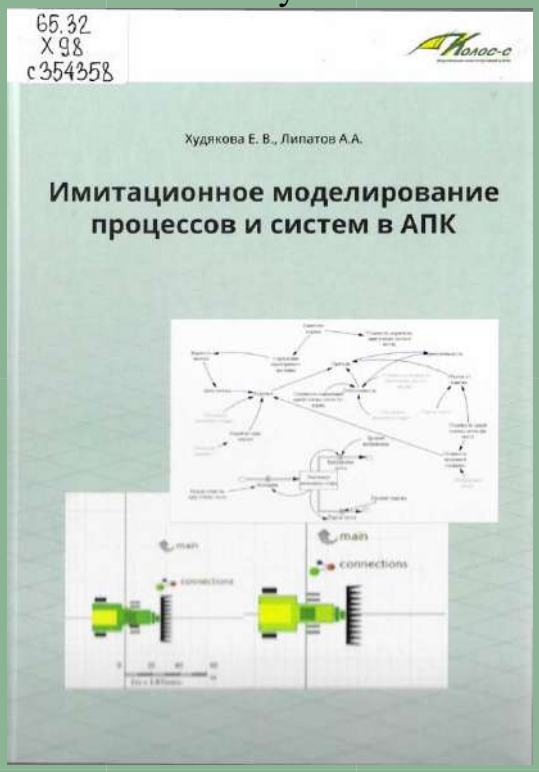
Из фонда Тамбовской областной универсальной научной библиотеки им. А. С. Пушкина

Скороходов А. Н., Левшин А.Г. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка : для использования в учеб. процессе при подготовке бакалавров и магистров по направления «Агроинженерия» / А. Н. Скороходов, А. Г. Левшин. - Москва : Колос-с, 2021. - 476с.



Освещены вопросы производственной эксплуатации машинно-тракторных агрегатов и отдельных технологических звеньев. Учтены особенности использования машинно-тракторного парка при новых формах хозяйствования (фермерских и др.). Обобщен опыт применения ЭВМ в эксплуатационных расчетах. Наряду с теоретическими основами использования сельскохозяйственной техники приведено много конкретных численных примеров.

Худякова Е. В. Липатов А.А. Имитационное моделирование процессов и систем в АПК: учебник / Е. В. Худякова, А. А. Липатов. - Москва : Колос-с, 2021.- 255с.



Учебник разработан в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта по дисциплине «Имитационное моделирование» для специальности «Прикладная информатика (в экономике)». В учебнике изложены общие вопросы имитационного моделирования и способы построения имитационных моделей с помощью программ Vensim, GPSS World и AnyLogic. Издание предназначено для магистров аграрных вузов.

Контактная информация:
эл. почта:
cdpi@tambovlib.ru.
телефон: 8(4752)72-77-00 (доб.) 306