ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

№ 6(66) 2023

Наука в центральной России
Science in the central Russia

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

Геннадию Михайловичу Шулаеву *85* лет*!*

Шулаев Г. М. — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в животноводстве.

Уважаемый ***Геннадий Михайлович!***

Сотрудники ФГБНУ ВНИИТиН сердечно поздравляют Вас с ***85***-летним юбилеем. Своим трудом Вы заслужили высокий авторитет и уважение коллег. Присущие Вам высокий профессионализм, ответственность, целеустремлённость и грамотный подход к решению поставленных задач, заслуживают искренних слов уважения и гордости..

Ваша эрудиция и труд Ученого получили высокую оценку и признание специалистов сельского хозяйства. Многочисленные разработки по оптимизации технологических процессов в животноводстве, выполненные под Вашим руководством, широко используются в производстве. Ваши разработки направленные на повышение эффективности функционирования биотехнических систем вносят существенный вклад в отечественную науку.

Ваш жизненный путь, наполненный творческим подъемом и неукротимой энергией, является ярким примером, достойным восхищения, образцом для молодежи, посвятившей себя служению отечественной Науке.

Желаем Вам крепкого здоровья на долгие годы, новых профессиональных свершений и побед, семейного благополучия и большого личного счастья!

Редакция журнала «НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

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

Периодическое печатное издание, журнал Periodical printed edition, magazine

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

№ 6 (66), 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

ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ, 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 – заведующий отделом научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК ФГБНУ «Росинформагротех», доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Московской области

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

КАРТОШКИН Александр Петрович – профессор кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – главный научный сотрудник лаборатории хранения и защиты техники от коррозии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор химических наук, доцент

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

КОРНЕВ АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ – заместитель главного редактора, ведущий научный сотрудник лаборатории использования моторного топлива с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

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

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

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

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – главный редактор, заместитель директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН, кандидат технических наук

ОРОБИНСКИЙ Владимир Иванович – декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – заместитель главного редактора, исполняющий обязанности директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

САФОНОВ Валентин Владимирович – профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.В.Вавилова», доктор технических наук, профессор

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

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»

Периодическое печатное издание, журнал Periodical printed edition, magazine
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 6 (66), 2023 г.
Основанв 2012 г. It is based in 2012.
Выходит 6 раз в год There are 6 times a year

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПЕЧАТНОГО ИЗДАНИЯ, ЖУРНАЛА
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ SCIENCE IN THE CENTRAL RUSSIA»

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

АНАШКИН Александр Витальевич – заведующий лабораторией 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, профессор
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 – главный научный сотрудник лаборатории использования моторного топлива ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор
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 – главный научный сотрудник лаборатории 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 программист 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.
№ 6 (66). Дата выхода в свет 27.12.2023. 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.
Периодическое печатное издание, журнал «Наука в центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано Федеральной службой 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

Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Рыбин Г.В., Щегольков А.В., Елизаров И.А., Блохин М.С.
ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ 7

Щегольков А.В.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СУШКИ И ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С ЭФФЕКТОМ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ 17

Кошелев А.В., Аль-Саади Д.А.Ю., Забродская А.В., Вязинкин В.С.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ МОТОРНОГО МАСЛА БЕЗ ЕГО СЛИВА ИЗ СИСТЕМЫ СМАЗКИ 27

Ли Р.И., Киба М.Р., Гребеньков Д.В., Ерохин В.Е.
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБИННОЙ МЕШАЛКИ ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ 33

Ожерельев В.Н., Самусенко В.И., Кузьменко И.В.
ОСОБЕННОСТЬ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОСАДКИ МАЛИНЫ САЖЕНЦАМИ С АСИММЕТРИЧНОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ 44

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

Фадеев Д.Г., Шишин Д.А., Прокофьев С.В.
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НЕСЕМЕННОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР 53

Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О.
ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРИВОДА МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН, ТИПА «КУБАНЬ-ЛК1» 62

Сутягин С.А., Агеев П.С., Павлушин А.А., Курдюмов В.И., Семыкин В.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДИСКА ПРИ ОБЖАРКЕ ЗЕРНА В УСТАНОВКЕ КОНТАКТНОГО ТИПА 71

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

Брыксина В.А., Каданцева Я.В., Курьято Н.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФОПРОДУКЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ 80

МЕТОДЫ РАСЧЕТА, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ, РОБОТИЗИРОВАННЫХ И БИОМАШИННЫХ СИСТЕМ

Конев А.Ю., Глазков А.Ю., Хольшев Н.В., Прохоров А.В., Ведищев С.М.
МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В «FLOW SIMULATION» «SOLIDWORKS 2018» ПРОЦЕССА ОБТЕКАНИЯ ЛОПАТКИ СМЕСИТЕЛЯ КОРМОВ 93

Пожидаева Д.С., Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Коваленко И.А., Лунева Л.А.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 102

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

Родионов Ю.В., Агафонов А.К., Ломовских А.Е., Берестевич Г.В., Север А.В., Рыбин Г.В.
ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗРАЗБОРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ И МЕХАНИЗМОВ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ 111

Родионов Ю.В., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Январёв В.С., Север А.В., Рыбин Г.В.
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И СОСТАВА РЕМОНТНЫХ БРИГАД ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТЕХНИКИ 123

CONTENTS

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

Rodionov Yu., Nikitin D., Rybin G., Shchegolkov A., Elizarov I., Blokhin M.
LIQUID RING VACUUM PUMPS OF A COMBINED TYPE FOR ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR PROCESSING PLANT RAW MATERIALS 7

Shchegolkov A.
AUTOMATED SYSTEM OF DRYING AND PURIFICATION OF VEGETABLE RAW MATERIALS USING ELECTRIC HEATERS WITH SELF-REGULATION OF TEMPERATURE AND THERMAL ACCUMULATORS 17

Koshelev A., Al – Saadi D.A.Yu., Zabrodskaya A., Vyazankin V.
RESEARCH RESULTS TO DETERMINE A RATIONAL METHOD FOR REMOVING CONTAMINATIONS FROM MOTOR OIL WITHOUT DRAINING IT FROM THE LUBRICATION SYSTEM 27

Li R., Kiba M., Grebenkov D., Erokhin V.
OPTIMIZATION OF DESIGN AND REGIME DATA THE TURBINE MIXER FOR DISPERSION OF SOLUTIONS POLYMERIC COMPOSITES 33

Ozherelev V., Samusenko V., Kuzmenko I.
FEATURE OF MECHANIZED PLANTING OF RASPBERRY SEEDLINGS WITH AN ASYMMETRICAL ROOT SYSTEM.....44

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

Fadeev D., Shishin D., Prokofiev S.
ANALYSIS OF THE GRINDING PROCESS OF THE NON-SEED PART OF THE CROP 53

Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A.
EVALUATION OF ENERGY INDICATORS OF THE IMPROVED DRIVE OF MULTI-SUPPORT SPRINKLERS, SUCH AS «KUBAN-LK1».....62

Sutyagin S., Ageev P., Pavlushin A., Kurdyumov V., Semykin V.
DETERMINATION OF DISK TEMPERATURE FOR GRAIN ROASTING IN CONTACT TYPE INSTALLATION 71

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

Bryksina V., Kadantseva Ya., Kur`yato N.
USE OF PEAT PRODUCTS IN AGRICULTURE..... ..80

METHODS OF CALCULATION, MODELING AND OPTIMIZATION OF COMPONENTS OF AUTOMATED, ROBOTIC AND BIOMACHINE SYSTEMS

Konev A., Glazkov A., Kholshev N., Prokhorov A., Vedishev S.
METHODS AND RESULTS OF SIMULATION IN “FLOW SIMULATION” “SOLIDWORKS 2018” OF THE FLOW PROCESS AFTER A FEED MIXER BLADE..... ..93

Pozhidaeva D., Levin M., Nagornov S., Kovalenko I., Luneva L.
IMPROVING THE MACHINE VISION ALGORITHM IN BIOTECHNICAL SYSTEMS USING NEURAL NETWORKS..... 102

METHODS AND TECHNICAL MEANS OF ENSURING RELIABILITY, DURABILITY, DIAGNOSTICS, TECHNICAL SERVICE, TECHNOLOGY OF STRENGTHENING, REPAIR AND RESTORATION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

Rodionov Yu., Agafonov A., Lomovskikh A., Berestevich G., Sever A., Rybin G.
TECHNOLOGY OF NON-SELECTIVE RESTORATION AND PROLONGATION OF THE LIFE OF PARTS AND MECHANISMS OF POWER PLANTS OF AGRICULTURAL MACHINERY 111
Rodionov Yu., Lomovskikh A., Sviridov A., Yanvarev V., Sever A., Rybin G.
METHODS FOR DETERMINING THE NUMBER AND COMPOSITION OF REPAIR TEAM WHEN RESTORING EQUIPMENT 123

Тип статьи: научная
УДК 621.521
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-7-16

ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Юрий Викторович Родионов [1]***, Дмитрий Вячеславович Никитин*** [2]***,***
Григорий Вячеславович Рыбин [3]***, Александр Викторович Щегольков*** [4]***,***
Игорь Александрович Елизаров [5]***, Михаил Сергеевич Блохин*** [6]
[1,2,3,4,5] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,2,6] *Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]*rodionow.u.w@rambler.ru,* [2] *vacuum2008@yandex.ru,* [3]*enot1237@gmail.com*
[4]*energynano@yandex.ru,* [5]*elial68@yandex.ru,* [6]*mig@tstu.ru*

Автор ответственный за переписку: Григорий Вячеславович Рыбин, enot1237@gmail.com
Corresponding author: Grigory Rybin, enot1237@gmail.com

Реферат. *Обосновано применение одно- и двухступенчатых жидкостнокольцевых вакуумных насосов комбинированного типа для процессов АПК: сушки, экстрагирования, вакуумного выпаривания и транспортирования растительных материалов.*

Сформулирована цель статьи, заключающаяся в разработке метода теоретического расчета для выбора жидкостнокольцевых вакуумных насосов комбинированного типа для представленных процессов. Представлены ученые, которые занимались и продолжают в настоящее время исследования данной проблемы. Описана общая методика расчёта быстроты действия с поправкой на коэффициент подачи и геометрических параметров жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН). Описана технологическая схема процессов двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушки (ДКВИС), экстрагирования и обосновано применение для них двухступенчатого ЖВН. Представлена методика расчёта быстроты действия исходя из технологических параметров используемых аппаратов. Также описана методика определения быстроты действия для ДКВИС и экстрагирования в случае применения импульсного воздействия на перерабатываемый растительный материал. Обоснована рациональность создания импульсов при ДКВИС в дополнительной ёмкости или одном корпусе (при использовании многокорпусного аппарата). Описана технологическая схема процесса вакуумного транспортирования сухого сыпучего растительного материала. Предложено использовать для данного процесса одноступенчатый ЖВН. Описана методика подбора вакуумного насоса исходя из требуемой производительности и расхода воздуха. На основании представленных материалов сделаны выводы и заключение.

Ключевые слова: *вакуумные насосы, транспортирование, сушка, экстрагирование, выпаривание, эффективная мощность, быстрота действия.*

LIQUID RING VACUUM PUMPS OF A COMBINED TYPE FOR ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR PROCESSING PLANT RAW MATERIALS

Yuri Rodionov [1]***, Dmitry Nikitin*** [2]***, Grigory Rybin*** [3]***, Alexander Shchegolkov*** [4]***,***
Igor Elizarov [5]***, Mikhail Blokhin*** [6]
[1,2,3,4,5] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1,2,6] *Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]*rodionow.u.w@rambler.ru,* [2] *vacuum2008@yandex.ru,* [3]*enot1237@gmail.com*
[4]*energynano@yandex.ru,* [5]*elial68@yandex.ru,* [6]*mig@tstu.ru*

Abstract. *The use of one- and two-stage liquid ring vacuum pumps of a combined type for agricultural processes is justified: drying, extraction, vacuum evaporation and transportation of plant materials. The purpose of the article is formulated, which is to develop a method of theoretical calculation for the selection of liquid ring vacuum pumps of a combined type for the presented agricultural processes. Scientists who have been and are currently continuing research on this problem are presented. The general methodology for calculating the speed of action, adjusted for the flow rate and geometric parameters of a liquid ring vacuum pump (LVN), is described. The technological scheme of the processes of two-stage convective-vacuum-pulse drying (DCVID) and extraction is described and the use of a two-stage liquid-vitrochemical drying agent for them is justified. A method for calculating the speed of action based on the technological parameters of the devices used is presented. A method for determining the speed of action for DKVIS and extraction in the case of using pulsed action on the processed plant material is also described. The rationality of creating pulses during DCVIS in an additional container or one housing (when using a multi-body apparatus) is substantiated. A technological scheme of the process of vacuum transportation of dry bulk plant material is described. It is proposed to use a single-stage liquid liquid pump for this process. A method for selecting a vacuum pump based on the required performance and air flow is described. Based on the presented materials, conclusions and conclusions are drawn.*

Keywords: *vacuum pumps, transportation, drying, extraction, evaporation, effective power, speed of action.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Рыбин Г.В., Щегольков А.В., Елизаров И.А., Блохин М.С. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированного типа для энергоэффективных технологических процессов переработки растительного сырья // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 7-16. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-7-16.

For citation: Rodionov Yu., Nikitin D., Rybin G., Shchegolkov A., Elizarov I., Blokhin M. Liquid ring vacuum pumps of a combined type for energy-efficient technological processes of processing plant raw materials. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 7-16. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-7-16.

Введение. Технологические процессы сушки, экстрагирования, выпаривания и транспортирования широко применяются в АПК.В частности, сушка используется при заготовке семенного фонда, производства чипсов, транспортирование – дляперемещения сухих сыпучих растительных материалов, экстрагирование и выпаривание используют для производства напитков, продуктов питания и лекарств [1-5]. Для сохранения биологически активных веществ (БАВ), повышения качества готовых продуктов, снижения взрыво- и пожароопасности, повышения производительности эти процессы часто проводят с использованием вакуума. В качестве машин, создающих вакуум целесообразно использовать жидкостнокольцевые вакуумныенасосы (ЖВН) [6-8].

Расчетом и проектированием ЖВН занимались ученые ВГУ им. Н.Э. Баумана, ФГБОУ ВО «КГТУ» [9,10]. В настоящее время продолжают исследования ЖВН совместно с процессами АПК: доение, хранение, сушка, экстрагирование, выпаривание, измельчение и транспортирование учеными ФГВОУ ВО «ТГТУ» [11-16]. Также ведутся исследования в данном направлении за рубежом [17]. В лаборатории НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнологии им. Ю. Г. Скрипникова» созданы экспериментальные установки по определению предельного давления, быстроты действия, энергетических затрат и других рабочих характеристик различных типов ЖВН. Проводятся испытания по сокращению потерь на трение, потерь мощности сжатия в процессе работы вакуумных насосов в одном и двухступенчатом исполнении.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являлись одно- и двухступенчатые жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированной модификации (ЖВН КМ). Их основное отличие от насосов классической конструкции состоит в наличии механизма регулировки проходного сечения нагнетательного окна и кинематического замыкания лопаток вращающегося корпуса с лопатками рабочего колеса. Исследовались теоретические зависимости

рабочих характеристик и геометрических размеров от требуемых технологических параметров конкретных процессов АПК. Использовались классические методы математического анализа, моделирования и выведения теоретических закономерностей.

Результаты и их обсуждение. Подбор вакуумного насоса начинаем с определения действительной быстроты действия (БД) жидкостнокольцевого вакуумного насоса $S_{Д}$ (м^3/с) комбинированноймодификации (ЖВН КМ), требуемой для конкретного процесса, которая определяется как произведение теоретической БД на коэффициент подачи:

$$S_{Д} = S_{Т} \cdot \lambda_{П}, \quad (1)$$

где $S_{Т}$ – теоретическая быстрота действия, м^3/с; $\lambda_{П}$ – коэффициент подачи.

Для одноступенчатого ЖВН КМ используем формулу без изменений. В дальнейшем индексом «1» будем обозначать величины, определяемые для первой ступени, «2» - для обеих.

Для первой ступени двухступенчатого ЖВН КМ:

$$S_{Д1} = S_{Т1} \cdot \lambda_{П1}. \quad (2)$$

Для двух ступеней двухступенчатого ЖВН КМ:

$$S_{Д2} = S_{Т1} \cdot \lambda_{П1} \cdot \lambda_{П2}, \quad (3)$$

или

$$S_{Д2} = S_{Д1} \cdot \lambda_{П2}. \quad (4)$$

Коэффициент подачи ЖВН КМ и ДЖВН КМ в ступенях определяется:

$$\lambda_{П1} = 1 - \lambda_{З}, \quad (5)$$

где $\lambda_{З}$ – коэффициент, учитывающий потери в результате испарения. Данный коэффициент определяется зависимостью:

$$\lambda_{З} = \frac{V_{исп} \cdot z}{\pi(r_{22}^2 - r_1^2)b\psi}, \quad (6)$$

где $V_{исп}$ – объем испарившейся жидкости, м^3;z – количество лопаток рабочего колеса; r_{22} – радиус внутренней поверхности жидкостного кольца, м; r_1 – радиус ступицы рабочего колеса, м;

b– ширина ступени, м; ψ – коэффициент, учитывающий уменьшение рабочего объёма за счёт толщины лопаток.

Затем на основании представленных механизмов определения быстроты действия проводим расчёт геометрических параметров жидкостнокольцевого вакуумного насоса по следующему алгоритму:

1. Определяем теоретическую быстроту действия первой ступени:

$$S_{Т1} = \frac{S_{Д2}}{\lambda_{П1}}. \quad (7)$$

2. Принимаем относительный радиус ступицы рабочего колеса

$$\upsilon = \frac{r_1}{r_2}. \quad (8)$$

3. Принимаем

$$Н = \frac{b_0}{r_2} = 2, \quad (9)$$

где b_0– ширина рабочего колеса, м.

4. Находим наружный радиус лопаток рабочего колеса:

$$r_2 = \sqrt{\frac{2S_{Д1}}{\psi \upsilon_2 H(1-\upsilon^2)}}\,. \qquad (10)$$

5. Далее определяем частоту вращения рабочего колеса

$$n_2 = \frac{\upsilon_2}{2\pi r_2}\,. \qquad (11)$$

6. Рассчитываем угловую скорость из соотношения:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}\,. \qquad (12)$$

7. Ширину второй ступени находим из соотношения:

$$b_2 = 0,4b_1\,. \qquad (13)$$

Для одноступенчатого ЖВНпроизводится аналогичный расчёт первой ступени.

В двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушке (ДКВИС) растительных материалов жидкостнокольцевой вакуумный насос используется для интенсификации процесса во второй ступени процесса сушки, когда осуществляется ее второй период. Схема установки сушки растительных материалов представляет собой взаимосвязь двух сушилок - конвективной со взвешенным слоеми вакуумного шкафа, к которому подключен ДЖВН КМс линией рециркуляции и охлаждения рабочей жидкости.

Выбор ЖВН КМначинаемс создания им устойчивого предельного давления разрежения. Величина давления разрежения понижает температуру кипения жидкости, что влияет на качество высушиваемого растительного материала [18-19]. При этом давление разрежения должно быть таким, чтобыкипение жидкости происходило при температуре ниже критического значения для термолабильных биологически активных веществ (БАВ).Для большинства растительных материалов эта температура – около 60°С. Для обеспечения кипения жидкости давлениев вакуумном шкафу должно быть не более 13 кПа. Для лекарственных растений температура денатурации не превышает 40 °С, а для части из них не более 30 °С. По предельному давлению разрежения выбираются одно или двухступенчатая конструкция ЖВН для процессов АПК:

$$p = p_0\left[\frac{V_{во}}{S_{Т2}} + \left(1 - \frac{V_{вс}}{S_{Т2}}\right)e^{-at}\right], \qquad (14)$$

где p – предельное давление разрежения, кПа; p_0 –начальное давление разрежение в вакуумной камере, $p_0 = p_{атм}$, кПа; $V_{во}$ –объём аппарата, заполонённый воздухом, м^3; $S_{Т2}$ – теоретическая быстрота действия ДЖВН, м^3/с; t–время, за которое должно быть достигнуто разрежение, с;

a – коэффициент, определяемый из соотношения:

$$a = \frac{S_{Д2}}{V_{вс}}\,. \qquad (15)$$

Для ДКВИС далее определяем ДЖВН КМ по типоразмеру, который характеризуется быстротойдействия. Она рассчитывается в зависимости от производительности ДКВИС.В конвективно-вакуумно-импульснойсушилке (КВИС) с помощью ДЖВН КМимеемдве стадии:

- первая стадия: нагрев теплоносителем-воздухом растительного материала до температуры кипения влаги под давлением разрежения в растительном материале при условииминимальной потериБАВ;

-вторая стадия: вакуумирование до данного давления разрежения и выдержка под ним шкафа.

Это позволяет интенсивно удалять влагу из растительного материалакипением. Для первой стадии процесса целесообразно использовать только первую ступень ДЖВН. На стадии вакуумирования, соответственно, используем полную мощность насоса. Рациональную скорость продувки назначаем в пределах 3-6 м/с. Ее диапазон выбирается взависимости отмассы и формы

растительного материала.Действительная быстрота действия первой ступени ДЖВН КМ определяем поформуле [20]:

$$S_{Д1} = \sum_{i=1}^{j} F_i \cdot \varepsilon \cdot v_{прод.}\ , \qquad (16)$$

где F_i – площадь i – го лотка, м^2; ε - порозность высушиваемого материала на лотках;

$v_{прод.}$ - скорость продувки материала, м/с; j – количество лотков, шт.

По принятомуранее алгоритму имея быстроту действия, рассчитываем геометрические параметры и подбираем насос.

Для интенсификации процесса сушкивозможно применение вакуумных импульсов. Определяем время набора вакуума, соответственно, время импульса в сушильном шкафу [12]:

$$t = \frac{V_{С.Ш.}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}\ , \qquad (17)$$

где $V_{С.Ш.}$ – объем вакуумного шкафа с трубопроводами, м^3; p_0 ,$p_к$ – начальное и конечное давление разрежения в вакуумной камере, кПа.

Однако, как правило быстрота действия ДЖВН не позволяет создать необходимую величину импульсов. Рациональное использование типоразмера ДЖВН КМ возможно за счёт применения отельной емкости для импульсов или внедрение многокорпусной вакуумной сушилки. В этом случае время импульса для отдельной ёмкости определяем по формуле (16), для одного корпуса по формуле (17):

$$t = \frac{V_{Д.Е.}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}\ , \qquad (18)$$

где $V_{Д.Е.}$ – объёмдополнительной ёмкости, равной ёмкости лотка, м^3.

Для многокорпусной сушилки:

$$t = \frac{V_{О.К.}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}\ , \qquad (19)$$

где $V_{О.К.}$ – объёмодного корпуса, м^3.

Это позволяет не увеличивать быстроту действия ДЖВН КМ, и, соответственно, типоразмер для осуществления импульсов, что существенно сокращает материальные затраты на создание вакуумного насоса. Следующим этапом, ведем расчет мощности ДЖВН КМ. Применение регулируемого нагнетательного окна второй ступени и вращающегося корпуса первой в данной конструкции позволяет экономить до 30% энергозатрат [20].

При проектировании аппаратного комплекса для вакуумного экстрагирования также рационально использовать ДЖВН КМ. Как правило процесс экстрагирования совмещаем с выпариванием. Принципиальная схема установки для вакуумного экстрагирования состоит из рабочей ёмкости, в которую помещаются растительный материал и экстрагент, ёмкости для сбора дистиллята, соединяющего их холодильника и трубопроводов.

Вакуум создающийся ДЖВН КМ также позволяет кипеть экстрагенту при определенной температуре, что интенсифицирует процесс без потери БАВ.Фактическая быстрота действия ДЖВН КМ определяется из условия откачки парогазовой смеси из верхней части емкости экстрактора за один оборот рабочего колеса.

БД ДЖВН КМ для процесса экстрагирования:

$$S_{Д2} = V_{ввэ} \cdot \omega\ , \qquad (20)$$

где $V_{ввэ}$– верхнийвоздушный объем рабочей ёмкости экстрактора, незаполненный экстрагентом, м^3; ω – угловая скорость, с$^{-1}$.

Причем воздушный объём экстракционной установки, из которого он выкачивается с парогазовой смесью считаем, как:

$$V_{ввэ} = V_э - V_ж, \quad (21)$$

где $V_э$ – рабочий объём экстрактора, м^3; $V_ж$ – объём жидкости, м^3.

С учётом коэффициента k_1 потерь на верхнюю перфорированную сетку, трубопровод и заслонку:

$$S_{Д2} = V_{ввэ} \cdot \omega \cdot k_1, \quad (22)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий потери, варьируется в переделах 0,8-1.

Также для интенсификации экстрагирования проводим определение вакуумных импульсов для сухого материала. Определяем время набора вакуума, соответственно, время импульса как:

$$t = \frac{V_{ввэ}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}, \quad (23)$$

где $V_{ввэ}$ – объем вакуумного шкафа с трубопроводами, м^3; $p_к$ – начальное и конечное давление разрежение в рабочей камере, кПа.

Количество импульсов определяется экспериментально для соответствующих экстрактов. Влияние импульсов по сухому и влажному материалу во время работы подлежит исследованию.

При проектировании вакуумного выпаривания также выгодно использовать ДЖВН КМ. БД ДЖВН КМ для процесса выпаривания:

$$S_{Д2} = V_{вв} \cdot \omega, \quad (24)$$

где $V_{вв}$ - воздушный объём выпарного аппарата, м^2.

Воздушныйобъем определяется при условии максимального объёма жидкости в начальный момент выпаривания, то есть до образования определенного количествауперенногоэкстракта в концентрат (гель) по формуле:

$$V_{вв} = V_е - V_{нагр} - V_ж, \quad (25)$$

где $V_е$ – объём, занимаемый ёмкостью выпаривания, м^3; $V_{нагр}$ – объём, занимаемый нагревателем, м^3; $V_ж$ – объём, занимаемый жидкостью, варьируется от максимального, до минимального значения в зависимости от степени упаривания м^3.

Вводим коэффициент k_2 учитывающий образование концентрата (геля)

$$S_{Д2max} = V_{вв} \cdot \omega \cdot k_2, \quad (26)$$

k_2 – коэффициент, учитывающий образование концентрата (геля), варьируется в пределах 0,8-1.

Для транспортирования растительных порошков наиболее целесообразно использовать одноступенчатые ЖВН КМ. Такжеэтот насос можно использоватьв качестве вакуумного жидкостного пневмотранспорта. Он определяется, как и другие процессы АПК на базе ДЖВН КМ–экстрагирование, выпаривании, сушка.

Принципиальная схема системы вакуумного транспорта сухих сыпучих растительных порошков состоит из заборного устройства, через которое материал попадает в транспортный трубопровод, а затем в циклонный фильтр, отделяющий материал от потока воздуха, который после этого попадает в пылеуловитель и затем в вакуумный насос.

При вакуумном транспортировании дополнительно возможна подсушка растительного материала.

Расход воздуха [м^3/с] в вакуумном транспорте определяем по формуле:

$$Q_в = \frac{G_M \cdot \upsilon_{кр}^2}{2 \cdot p_0}, \quad (27)$$

где G_M – производительность установки по растительному сыпучему материалу, кг/с; $\upsilon_{кр}$ – средняя скорость материала в системе, м/с.

Принимаем:

$$Q_в = S_{Д1}\,. \tag{28}$$

$S_{Д1}$определяем по формуле (2).

Условие подачи воздуха вакуумным насосом проверяем:

$$Q_в \le S_ф(p)\,, \tag{29}$$

где $S_ф(p)$ – фактическая быстрота действия (производительность) при полученном давлении всасывания, м^3/с.

Далее производим расчёт по представленному выше алгоритму.

Заключение. Технологические процессы вакуумной сушки, вакуумного экстрагирования, вакуумного выпаривания, вакуумного транспортирования широко применяются в АПК. Для создания вакуума в них наиболее целесообразном является одно- и двухступенчатые жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированного типа. Первым параметром по выбору вакуумного насоса для перечисленных процессов является создания устойчивого предельного разрежения. Для энергоэффективных процессов сушки, экстрагирования и выпаривания желательно использовать двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуумный насос комбинированного типа для транспортирования сухих растительных порошков в АПК – одноступенчатый жидкостнокольцевой вакуумный насос комбинированного типа. Представлены основные и дополнительные зависимостиопределения быстроты действия предложенных для конкретного процесса жидкостнокольцевых вакуумных насосов. На основании предложенных зависимостей предлагается методикаопределения основных геометрических параметров вакуумных насосов.

Список источников

1. Использование и получение фруктовых и овощных добавок в производстве мучных, кондитерских и хлебобулочных изделий / И. В. Иванова, Т. В. Белкина, М. В. Белоглазова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. – № 1(9). – С. 43-47. – EDN WNFZSL.

2. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции. Под ред. Н.К. Синха, И.Г. Хью. Пер. с англ., СПб.: Профессия, 2014, 896 с.

3. Á. Calín-Sánchez, L. Lipan, M. Cano-Lamadridand etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. Foods. 2020.No 9(9). 1261. DOI: 10.3390/foods9091261.

4. Зорин, А. С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зорин Александр Сергеевич, 2019. – 156 с. – EDN UUXHCZ..

5. Гуськов, А. А. Совершенствование технологии и технических средств экстрагирования растворимых веществ из растительного сырья: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата ехнических наук / Гуськов Артем Анатольевич, 2019. – 136 с. – EDN EDXKRS.

6. Повышение эффективности механизации транспортирования сухих сыпучих растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. П. Капустин, А. В. Кобелев [и др.] // Инновационная техника и технология. – 2017. – № 1(10). – С. 9-15. – EDN YIOSSH.

7. Родионов, Ю. В. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. Г. Однолько, И. В. Попова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6(20). – С. 106-110. – EDN RGTFLL.

8. Технико-экономическое обоснование применения жидкостно-кольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном при транспортировании сыпучих растительных материалов / Ю. В. Родионов, П. С. Платицин, Е. С. Вдовина, Д. А. Чернецов //

Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 1(15). – С. 92-99. – EDN YKSXRH.

9. Автономова, И. В. Исследование ротационных жидкостнокольцевыхвакуумкомпрессоров: дис. … канд. техн. наук / Автономова Инна Владиславовна. – М., 1972. – 166 с.

10. Райзман, И.А. Жидкостнокольцевые вакуум-насосы и компрессоры / И.А. Райзман.– Казань, 1995. – 258 с.: ил.

11. Никитин, Д. В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов: специальность 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Никитин Дмитрий Вячеславович. – Тамбов, 2010. – 158 с. – EDN QEZDID.

12. Родионов, Ю. В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Родионов Юрий Викторович. – Тамбов, 2013. – 434 с. – EDN SUUYUH.

13. Иванова, Е. П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения : специальность 05.18.01 "Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Иванова Екатерина Петровна, 2016. – 151 с. – EDN ZTHEJC.

14. Родионов, Ю. В. Влияние конструктивно-технологических параметров на эффективность работы жидкостнокольцевых вакуум-насосов / Ю. В. Родионов, М. М. Свиридов, Д. В. Никитин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2007. – Т. 50. - № 5. – С. 102 - 104. – EDN IANONL.

15. Родионов, Ю. В. Комбинированная конструкция жидкостно-кольцевого вакуумного насоса для технологических процессов АПК / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. С. Зорин, Г. В. Рыбин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 2. – С. 166-176. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020.

16. Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D.V.Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 55. – No 5-6. – Pp. 473-479. – DOI 10.1007/s10556-019-00648-z.

17. L. Bommes, R. Grundmann, K. Klaes, C. Kramer. Effects of blade design on centrifugal fan noise and performance. // Noise Control Engineering Journal. – 1995. - Vol. 43(4), Pp. 91-101.

18. Жидкостное экстрагирование растительных материалов с максимальным сохранением биологически активных веществ / Д. А. Матвеев, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. – № 1. – С. 164-172. – EDN EZPXZZ.

19. Технологическая линия изготовления функциональных продуктов питания на основе растительного сырья / Ю. В. Родионов, Н. В. Майстренко, А. И. Скоморохова, Д. С. Алексенцев // Инновационная техника и технология. – 2021. – Т. 8, № 4. – С. 48-53. – EDN LOJBYR.

20. Родионов, Ю. В. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. Г. Однолько, И. В. Попова // Вопросы современной науки и практики. Университетим. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6(20). – С. 106-110. – EDN RGTFLL.

References

1. Use and production of fruit and vegetable additives in the production of flour, confectionery and bakery products / I. V. Ivanova, T. V. Belkina, M. V. Beloglazova [etc.] // Technologies of food and processing industry of agro-industrial complex - products healthy eating. – 2016. – No. 1(9). – pp. 43-47. – EDN WNFZSL.

2. Handbook for producers and processors of fruits and vegetables. Ed. N.K. Sinha, I.G. Hugh. Per. from English, St. Petersburg: Profession, 2014, 896 p.

3. B. Calín-Sánchez, L. Lipan, M. Cano-Lamadridand etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. Foods. 2020. No. 9(9). 1261. DOI: 10.3390/foods9091261.

4. Zorin, A. S. Improving the technology and technical means of combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips: specialty 05.20.01 "Technologies and means of agricultural mechanization": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Zorin Alexander Sergeevich, 2019. – 156 p. – EDN UUXHCZ.

5. Guskov, A. A. Improving the technology and technical means of extracting soluble substances from plant raw materials: specialty 05.20.01 “Technologies and means of agricultural mechanization”: dissertation for the academic degree of Candidate of Technical Sciences / ArtemAnatolyevichGuskov, 2019. – 136 With. – EDN EDXKRS.

6. Increasing the efficiency of mechanization of transportation of dry bulk plant materials / Yu. V. Rodionov, V. P. Kapustin, A. V. Kobelev [etc.] // Innovative technology and technology. – 2017. – No. 1(10). – P. 9-15. – EDN YIOSSH.

7.Rodionov, Yu. V. Justification for the choice of vacuum pumps for the convective vacuum stage of drying plant materials / Yu. V. Rodionov, V. G. Odnolko, I. V. Popova // Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky. – 2009. – No. 6(20). – pp. 106-110. – EDN RGTFLL.

8. Feasibility study of the use of a liquid ring vacuum pump with an automatically adjustable discharge window when transporting bulk plant materials / Yu. V. Rodionov, P. S. Platitsin, E. S. Vdovina, D. A. Chernetsov // Food Technologies and the processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2017. – No. 1(15). – P. 92-99. – EDN YKSXRH.

9. Avtonomova, I.V. Research of rotary liquid-ring vacuum compressors: dis. ...cand. tech. Sciences / Avtonomova Inna Vladislavovna. – M., 1972. – 166 p.

10. Raizman, I.A. Liquid ring vacuum pumps and compressors / I.A. Raizman. – Kazan, 1995. – 258 pp.: ill.

11. Nikitin, D. V. Improving designs and ensuring the specified operational characteristics of liquid ring vacuum pumps: specialty 02/05/13 “Machines, units and processes (by industry)”: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Nikitin Dmitry Vyacheslavovich. – Tambov, 2010. – 158 p. – EDN QEZDID.

12. Rodionov, Yu. V. Improvement of theoretical calculation methods and justification of parameters and modes of liquid ring vacuum pumps taking into account the features of technological processes in the agro-industrial complex: specialty 05.20.01 "Technologies and means of mechanization of agriculture": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Rodionov Yuri Viktorovich. – Tambov, 2013. – 434 p. – EDN SUUYUH.

13. Ivanova, E. P. Development of technology for the preparation of dry sourdough based on plant raw materials for the production of functional bakery products: specialty 05.18.01 “Technology of processing, storage and processing of cereals, legumes, cereal products, fruits and vegetables and viticulture”: dissertation for the academic degree of Candidate of Agricultural Sciences / Ivanova Ekaterina Petrovna, 2016. – 151 p. – EDN ZTHEJC.

14. Rodionov, Yu. V. Influence of design and technological parameters on the efficiency of liquid ring vacuum pumps / Yu. V. Rodionov, M. M. Sviridov, D. V. Nikitin // News of higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology. – 2007. – T. 50, No. 5. – P. 102-104. – EDN IANONL.

15. Rodionov, Yu. V. Combined design of a liquid ring vacuum pump for technological processes of the agro-industrial complex / Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin, A. S. Zorin, G. V. Rybin // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University them. P.A. Kostycheva. – 2022. – T. 14. – No. 2. – P. 166-176. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020.

16. Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D.V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 55. – No. 5-6. – P. 473-479. – DOI 10.1007/s10556-019-00648-z.

17. L. Bommes, R. Grundmann, K. Klaes, C. Kramer. Effects of blade design on centrifugal fan noise and performance. Noise Control Engineering Journal, 1995, Vol. 43(4), pp. 91-101.

18. Liquid extraction of plant materials with maximum preservation of biologically active substances / D. A. Matveev, Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin [etc.] // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2021. – No. 1. – P. 164-172. – EDN EZPXZZ.

19. Technological line for the production of functional food products based on plant raw materials / Yu. V. Rodionov, N. V. Maistrenko, A. I. Skomorokhova, D. S. Aleksentsev // Innovative technology and technology. – 2021. – T. 8, No. 4. – P. 48-53. – EDN LOJBYR.

20. Rodionov, Yu. V. Justification for the choice of vacuum pumps for the convective vacuum stage of drying plant materials / Yu. V. Rodionov, V. G. Odnolko, I. V. Popova // Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky. – 2009. – No. 6(20). – pp. 106-110. – EDN RGTFLL.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; Д.В. Никитин – кандидат технических наук, доцент; Г.В. Рыбин – магистрант; А.В. Щегольков – кандидат технических наук, доцент;
И.А. Елизаров – кандидат технических наук, доцент; М.С. Блохин – аспирант.

Information about the authors

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; D. Nikitin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; G. Rybin – master’s student; A. Shchegolkov – candidate of technical sciences, associate professor; I. Elizarov – candidate of technical sciences, associate professor; M. Blokhin - graduate student.

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

Поступила в редакцию (Received): 13.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.3.036
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-17-26

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СУШКИ И ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С ЭФФЕКТОМ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Александр Викторович Щегольков
Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
energynano@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4317-0689

Автор ответственный за переписку: Александр Викторович Щегольков, energynano@yandex.ru
Corresponding author: Alexandr Shchegolkov, energynano@yandex.ru

Реферат. *В статье представлена автоматизированная система для переработки плодоовощной продукции, которая включает в себя такие технологические операции как очистка паром от кожуры (термовакуумным методом), резка, конвективная и вакуумная сушка плодоовощной продукции. Для эффективного функционирования установки использована система управления, которая обеспечивает полную автоматизацию всего комплекса технологических элементов. Установка обладает высоким уровнем энергоэффективности, так как использует в своем составе тепловые аккумуляторы (с эффектом термомагнитной конвекции) и нагреватели с саморегулированием температуры. Параметры режимов работы тепловых аккумуляторов согласуются с работой нагревателя с адаптивным энергопотреблением (с изменяемой мощностью и постоянной температурой) в зависимости от температуры нагрева растительного сырья. На первой стадии, когда необходим интенсивный тепловой поток для сушки – тепловые аккумуляторы обеспечивают без инерционность нагрева плодоовощной продукции. Функция нагревателя, связана с управляемым нагревом в зависимости от температуры растительного сырья, обеспечивающий тепловой поток коррелируемый с работой тепловых аккумуляторов. Использование комбинированного и адаптивного нагрева от тепловых аккумуляторов и электронагревателей позволяет осуществлять равномерное распределение температур (температурное поле), что обеспечивает эффективную обработку растительного сырья. Автоматизированное изменение мощности нагрева от электронагревателей и тепловых аккумуляторов обеспечивает возможность адаптации к любой по мощности электрической сети исходя из потребности в уровне перерабатываемой плодоовощной продукции, а использование тепловых аккумуляторов позволяет накапливать тепловую энергию от солнечных коллекторов.*

Ключевые слова: *тепловой аккумулятор, саморегулирование температуры, растительное сырье, автоматизированная система.*

AUTOMATED SYSTEM OF DRYING AND PURIFICATION OF VEGETABLE RAW MATERIALS USING ELECTRIC HEATERS WITH SELF-REGULATION OF TEMPERATURE AND THERMAL ACCUMULATORS

Alexander Shchegolkov
Tambov State Technical University, Tambov, Russia
energynano@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4317-0689

Abstract. *The paper presents an automated system for processing fruit and vegetable products, which includes such technological operations as steam peeling (thermovacuum method), cutting, convective and vacuum drying of fruit and vegetable products. For efficient operation of the plant a control system is used, which provides full automation of the whole complex of technological elements. The plant has a high level of energy efficiency, as it uses thermal accumulators (with the effect of thermomagnetic*

convection) and heaters with temperature self-regulation. The parameters of the operation modes of thermal accumulators agree with the operation of the heater with adaptive energy consumption (with variable power and constant temperature) depending on the temperature of heating of plant raw materials. At the first stage, when intensive heat flow is required for drying - thermal accumulators provide inertia-free heating of horticultural products. The function of the heater is connected with controlled heating depending on the temperature of plant raw material, providing heat flow correlated with the operation of thermal accumulators. The use of combined and adaptive heating from thermal accumulators and electric heaters allows for uniform temperature distribution (temperature field), which ensures efficient processing of vegetable raw materials. Automated change of heating power from electric heaters and thermal accumulators provides the possibility of adaptation to any power electric network based on the need for the level of processed horticultural products, and the use of thermal accumulators allows to accumulate thermal energy from solar collectors.

Keywords: *heat accumulator, temperature self-regulation, plant raw materials, automated system.*

Для цитирования: Щегольков А.В. Автоматизированная система сушки и очистки растительного сырья с применением тепловых аккумуляторов и электронагревателей с эффектом саморегулирования температуры // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 17-26. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-17-26.

For citation: Shchegolkov A. Automated system of drying and purification of vegetable raw materials using electric heaters with self-regulation of temperature and thermal accumulators. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 17-26. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-17-26.

Благодарности: работа выполнена при поддержке управления образования и науки Тамбовской области в рамках Соглашения №2/МУ2022 о предоставлении гранта по проекту № МУ 2022-02/5 областного конкурса «Гранты для поддержки прикладных научных исследований молодых ученых 2022 года».

Acknowledgments: the work was supported by the Department of Education and Science of the Tambov Region within the framework of Agreement No. 2/MU2022 on grant award under the project No. MMU 2022-02/5 of the regional competition "Grants to support applied scientific research of young scientists in 2022".

Введение. Тепломассообменный процесс, такой как сушка является неотъемлемой частью переработки плодоовощной продукции в технологиях АПК. Тепловая энергия может быть использована как на стадии очистки паром плодоовощной продукции от кожуры, так и на стадии получения конечного продукта в процессе сушки. Процесс сушки позволяет обрабатывать растительное сырье, которое способствует долговременному и безопасному хранению плодоовощной продукции. Однако сушка является одним из наиболее энергозатратных процессов производства продуктов питания и при этом процесс сушки должен обеспечивать хорошее качество плодоовощной продукции, а именно высокое содержание биологически–активных веществ (витаминов и антиоксидантов). Уменьшение затрат энергии на процесс сушки за счет рационального энергопотребления, прежде всего включает рекуперацию тепла и оптимизацию параметров нагрева (времени, температуры и градиента температур), является актуальной задачей. Таким образом одним из главных вопросов процесса сушки является повышение энергоэффективности за счёт оптимизации энергетических модулей, в частности минимизации тепловых потерь и выбора оптимальных параметров термообработки, способствующих сохранению биологически-активных веществ [1].

Основным элементом тепловых аккумуляторов является теплоаккумулирующий материал, который может быть реализован на основе эффекта сохранения тепловой энергии фазового перехода [2]. Наиболее доступным и сравнительно эффективным материалом для накопления тепловой энергии является парафин. Однако низкая теплопроводность парафина снижает эффективность режимов заряд/разряд. Для повышения теплопроводности парафина может быть использован графен и при увеличении длины его чешуек возрастает теплопроводность теплоаккумулирующего композита [3-5]. Применение таких углеродных материалов как

углеродное волокно, также может обеспечить улучшение теплопроводности. Результаты термогравометрии (ТГ) показали, что композит парафин/углеродное волокно@углеродные нанотрубки (П/УВ@УНТ) подвергается фазовому переходу с деструкцией при температуре более 215,6 °С с потерей массы 51,9%. При температуре плавления композита П/УВ@УНТ 40,01°С с тепловыделением скрытой теплоты 81,94 Дж/г, а после фазового перехода тепловыделение снижается до 15,28 Дж/г, а теплопроводность композита парафин/УВ@УНТ увеличивается на 573% (1,551 Вт/м°С)) по сравнению с чистым парафином. Проведенное термоциклирование показывает, что композит П/УВ@УНТ имеет термическую стабильность в течении 300 циклов заряд/разряд [6]. В работе [7] показано применение теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом для технологий получения пищевых продуктов.

Совмещение в едином технологическом комплексе операций очистки от кожуры [8] и сушки [9] плодоовощной продукции позволит существенно снизить как тепловые потери, так и массовые потери сырья, а также увеличить производительность переработки плодоовощной продукции. Следует учитывать, что тепловые аккумуляторы являются пассивным источником тепловой энергии. Активная генерация тепловой энергии может осуществляться преобразованием электрической энергии нагревателя или группой электрических нагревателей соединенных последовательно или параллельно.

Повышение энергоэффективности технологического оборудования для процессов сушки и очистки паром овощей и плодов от кожуры может быть реализована с применением тепловых аккумуляторов и электронагревателей, обладающих эффектом саморегулирования температуры [10,11], которые комплексно интегрируются в общую систему автоматизации процесса переработки растительного сырья.

Снижение материальных потерь (растительного сырья и сохранение всех ценных биологических компонентов [12-14] является первоочередной задачей, которая должна быть решена при создании технологического оборудования для переработки растительного сырья [15].

Следует уделить внимание такому вопросу, как возможность работы технологической линии по переработке плодоовощной продукции в автоматизированном режиме, при котором управление процессом переработки реализуется с учетом максимизации энергоэффективности или минимизации тепловых потерь. Использование автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) открывает серьезные перспективы, связанные с созданием высокоэффективной системы переработки, при которой используются передовые технологий управления всеми элементами сушильной установки [16,17].

Цель исследований – повышение эффективности системы сушки и очистки паром плодоовощной продукции с комбинированным применением тепловых аккумуляторов и электронагревателей с эффектом саморегулирования температуры.

Материалы и методы.

На рисунке 1 показана структурная схема многофункциональной универсальной сушильной установки, работа которой осуществляется в автоматическом режиме АСУТП, включающую в себя взаимосвязанные блоки, к которым относятся, имеющие прямую-обратную связь – блоки нагревателей, клапанов и вакуумных насосов; прямую связь с блоками очистки (термовакуумным методом), механической нарезки, конвективной и вакуумной сушки плодоовощной продукции.

АСУТП процессом очистки от кожуры (термовакуумным методом) и сушки имеет 3 основных блока (рисунок 2). Для связи блоков используются аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), а также интерфейс беспроводной передачи информации, которой формирует взаимодействие с управляющим модулем, реализованным на ПК с автоматизированным рабочим местом (АРМ) технолога.

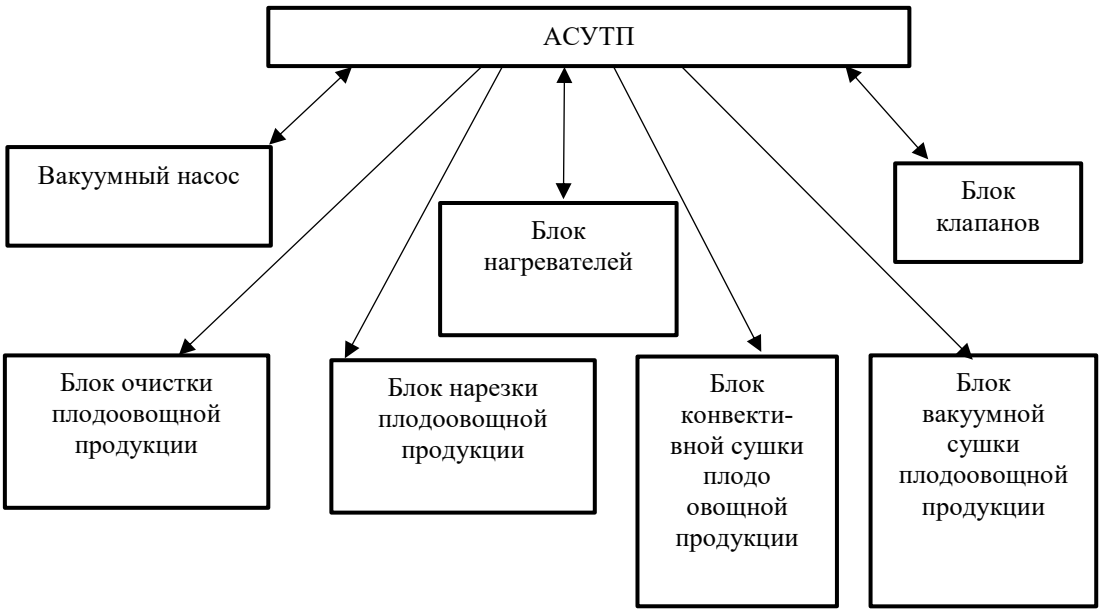


Рисунок 1 – Структурная схема многофункциональной универсальной сушильной установки

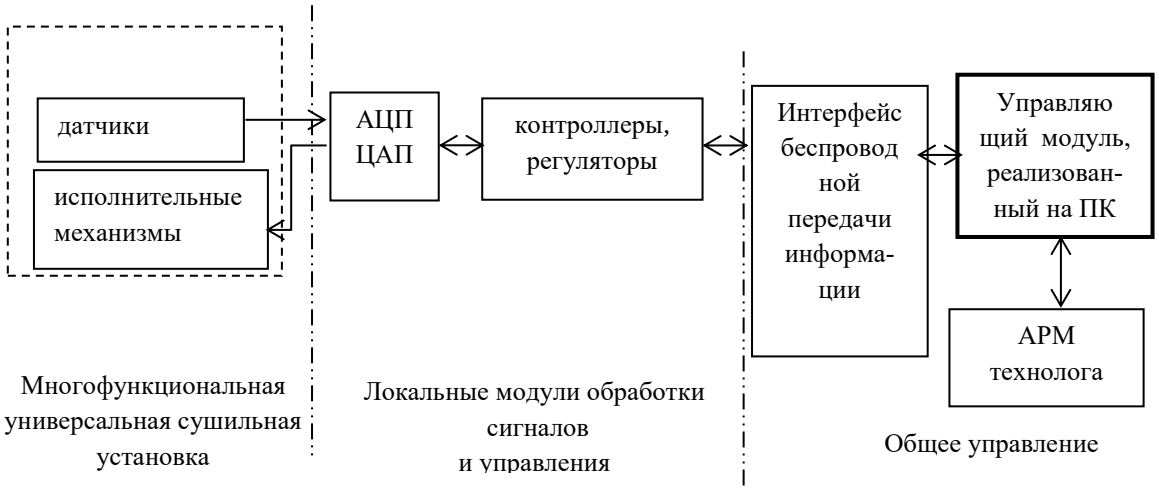


Рисунок 2 – АСУТП процессом очистки от кожуры и сушки

На рисунке 3 (а и б) показана многофункциональная универсальная сушильная установка, в которой происходит процесс переработки плодоовощной продукции с очисткой (термовакуумным методом), нарезкой, конвективной и вакуумной сушкой. На первом этапе плодоовощная продукция загружается в бункер для очистки от кожуры (1). При включении электрического нагревателя в сеть 220 В переменного напряжения происходит парообразование в бункере для очистки от кожуры (1). Воздействие пара на растительный материал сопровождается резким ростом температуры на поверхности, а последующее создание вакуума приводит к отслоению кожуры от плодоовощной продукции. Далее происходит процесс механической нарезки (2). После этого плодоовощная продукция поступает на конвективную сушку (3). Затем открывается вторая камера вакуумной сушки (5), где плодоовощная продукция полностью высушивается. Ключевой особенностью является применение вакуумного насоса (7) для стадий очистки, транспортировки и вакуумной сушки. Изменение режима работы вакуумного насоса происходит с помощью клапанов 8, 9 и 10. При конвективной сушке тепловые потоки создаются нагревателями (6) и

тепловыми аккумуляторами (5). В камере вакуумной сушки тепловые потоки формируются нагревателями (11) и тепловыми аккумуляторами (12).

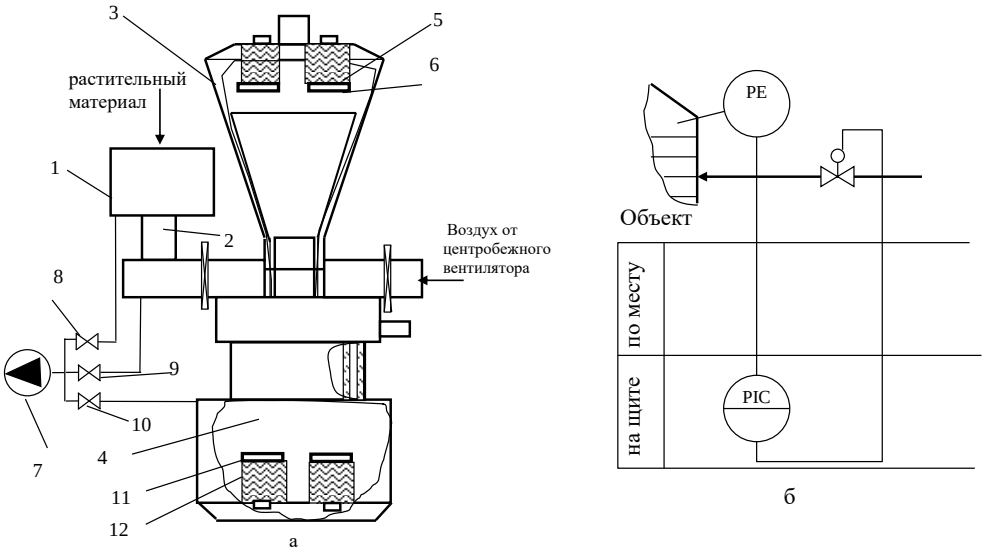


Рисунок 3 – Многофункциональная универсальная сушильная установка: а – устройство сушильной установки; б – функциональная схема автоматизации измерения и контроля давления

Использование единого вакуумного насоса (7) позволяет существенно снизить затраты на создание вакуума и повысить функциональность системы переработки растительного сырья. Изначально вакуум создается в камере 1, по завершению операции удаления кожуры включается вакуумный транспортер и переносит растительное сырье на стадию конвективной сушки (3), которая реализуется с закрученным потоком воздуха от центробежного вентилятора. После конвективной сушки, растительный материал перемещается на стадию вакуумной сушки 4. Открывается клапан (10) и создается разряжение в камере (4). Контроль и управление вакуумным насосом (7) организуется по схеме рис. 2 б – для каждого клапана (8,9 и 10), где PE – датчик давления (разряжения), а PIC – регулирование давления (разряжения) с помощью микропроцессорного регулятора.

Блок нагревательных элементов имеет параллельное соединение и подключается к системе автоматизированного управления. На рисунке 4 приведена принципиальная электрическая схема подключения нагревательных элементов с эффектом саморегулирования.

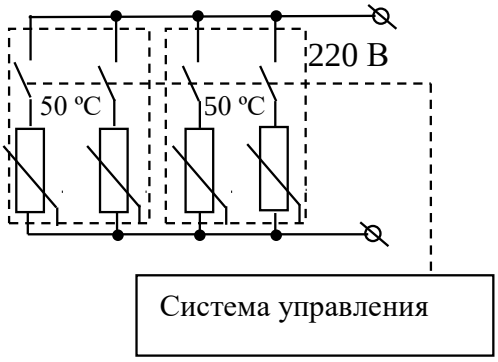
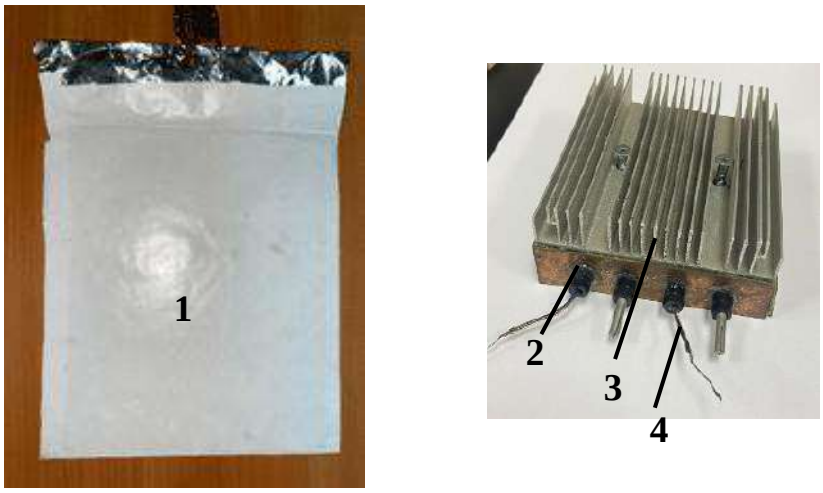


Рисунок 4 – Схема подключения нагревательных элементов в сушильной установке

На рисунке 5 (а и б) показан электрический нагреватель (1) с эффектом саморегулирования температуры и тепловой аккумулятор (2), в котором реализован эффект термомагнитной конвекции (с теплоаккумулирующим материалом на основе гранулированного парафина с УНТ (1) в жидкой фазе), используемый в режиме конвективной и вакуумной сушки (многофункциональной универсальной сушильной установки). Теплообменные элементы (3) интенсифицируют теплообмен и ускоряют режимы накопления и тепловыделения тепловых аккумуляторов (для контроля температурного режима используется термопара ХК (хромель капель) (3)).



(а) (б)

Рисунок 5 – Внешний вид электрического нагревателя (а) и теплового аккумулятора (б):
1 – электрический нагреватель; 2 – тепловой аккумулятор; 3 – теплообменник; 4 – термопара ХК

На рисунке 6 приведена структурная схема АСУ сушильной установки.

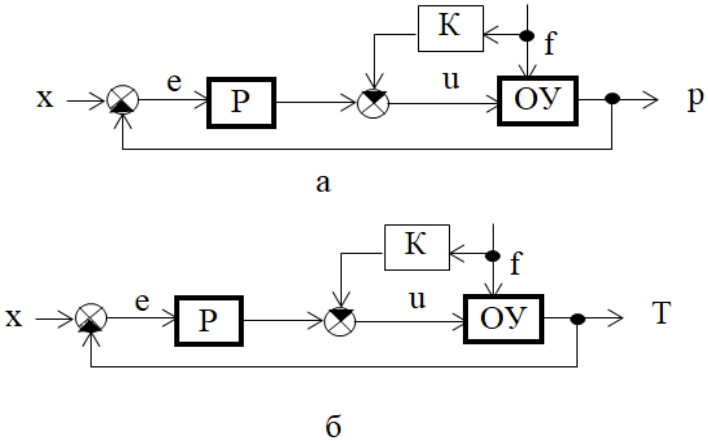


Рисунок 6 – Структурная схема автоматического регулирования (комбинированная) процесса сушки плодоовощной продукции: а – контур регулирования разряжения (модуль очистки от кожуры, пневмотранспортер, модуль вакуумной сушки); б – контур регулирования температуры. Где : К - усилитель с коэффициентом усиления К; возмущающее воздействие f; Р – регулятор; х – входное воздействие (в случае регулирования разряжения – длительность работы вакуумного насоса, при температуре напряжение питания нагревателя); е – сигнал рассогласования (ошибка управления); u – управляющее воздействие; ОУ – объект управления (сушильная установка); р, Т – выходные сигналы

В представленной АСУ многофункциональной универсальной сушильной установки, разомкнутая часть системы, передающая воздействия по возмущению, несет основную нагрузку по управлению объектом и связана с сигналами нагревателей, которые адаптируют своё энергопотребление (изменение величины мощности) при изменении давления и температуры. Применение комбинированного измерения давления и температуры в едином блоке нагревателей, обеспечивает необходимую инерционность процесса нагрева. Другой составляющей АСУ является контроль и коррекция выходных сигналов, работающей по отклонению регулируемой величины, которая позволяет исправить неточности в выполнении заданного регулирования, допускаемые системой и действующие по возмущению, минимизируя тем самым тепловые потери. Управляющим сигналом, который непосредственно осуществляет процесс термомагнитной конвекции является входное напряжение $U_{пит}$. Следует учитывать, что изменение значения величины электромагнитного поля влияет на тепловые потоки в системе накопления тепловой энергии, которым является тепловой аккумулятор. При этом необходимо отметить, что использование тепловых аккумуляторов позволяет накапливать тепловую энергию от солнечных коллекторов, которые в свою очередь являются тепловым буфером способным корректировать тепловой баланс в сушильной установке [18].

Результаты и их обсуждение. Многофункциональная универсальная сушильная установка имеет комплексные энергетические модули (с установленными нагревателями и тепловыми аккумуляторами). Тепловой баланс многофункциональной универсальной сушильной установки в рабочем режиме имеет вид:

$$Q_{р.м.} =(Q_{1э}+Q_{2э})+ (Q_{1а}+Q_{2а})– Q_{т}, \quad (1)$$

где $Q_{р.м}$ – теплота необходимая для реализации процесса сушки, Дж; $Q_{1э}$, $Q_{2э}$ – теплота полученная от электрических нагревателей, Дж; $Q_{1а}$, $Q_{2а}$ – запасенная тепловая энергия в тепловых аккумуляторах, Дж; $Q_{пот}$ – тепловые потери, Дж; $Q_{т}$ – теплота, которую необходимо передать растительному сырью в процессе сушки, Дж.

Мощностной режим для энергетического модуля $P_{\sum}$ при совместной работе нагревателей и теплового аккумулятора имеет вид представленный на рисунке 7.

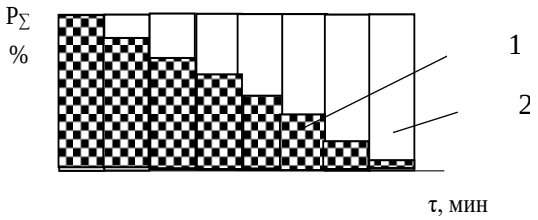


Рисунок 7 – Диаграмма изменения мощности в процессе сушки при совместной работе теплового аккумулятора (1) нагревателя (2)

Следует отметить, что – эффект саморегулирования температуры в нагревателях позволяет синхронизироваться с работой теплового аккумулятора, что в свою очередь и обеспечивает стабилизированное тепловыделение без процесса предварительного разогрева нагревателей. Таким образом, по мере разряда тепловых аккумуляторов, нагреватели с эффектом саморегулирования температуры увеличивают свою мощность при неизменном тепловыделении, которое позволяет сохранять постоянство температуры при сушке с изменяемой тепловой мощностью системы тепловых аккумуляторов и нагревателей.

Выводы. Разработана многофункциональная универсальная сушильная установка, которая позволяет обеспечивать автоматизированный эффективный процесс сушки совместно с обработкой плодоовощной продукции. Показана возможность использования АСУТП сушки в системе, осуществляемой управляемы нагрев от электрического нагревателя с эффектом саморегулирования температуры и накопителем тепловой энергии фазового перехода. Для эффективного функционирования установки, использована система управления, которая управляет всем комплексом технологических элементов и обеспечивает полную автоматизацию.

Установка обладает высоким уровнем энергоэффективности, так как используются тепловые аккумуляторы фазового перехода и нагреватели с эффектом саморегулирования температуру. Режимы работы тепловых аккумуляторов (с эффектом термомагнитной конвекции) согласуются с режимами работы нагревателей с саморегулированием температуры. Тепловые аккумуляторы позволяют накапливать тепловую энергию во всем объеме устройства, что существенно снижает расход энергии на процесс сушки и очистки плодоовощной продукции. Также эффект саморегулирования температуры в нагревателях позволяет согласовать режим работы с тепловыми аккумуляторами и обеспечить стабильный темп тепловыделений без режима предварительного разогрева нагревателей. Концепция совместного применения тепловых аккумуляторов и нагревателей с эффектом саморегулирования температуры открывают новые технологические возможности создания многофункциональных систем переработки растительного сырья с высоким уровнем автоматизации для предприятий АПК.

Список источников

1. Chojnacka K., Mikula K., Izydorczyk G., Skrzypczak D., Witek-Krowiak A., Moustakas K., Ludwig W., Kułażyński M. Improvements in drying technologies - Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 320. P. 128706. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128706

2. Fan L., Khodadadi J.M. Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermalenergy storage: A review // Renewable and sustainable energy reviews. 2011. V. 15. P. 24–46.

3. Xu X., L. Pereira F.C., Wang Y., Wu J., Zhang K., Zhao X., Bae S., Bui C.T., Xie R., Thong J.T.L., HongB.H., Loh K.P., Donadio D., Li B., Özyilmaz B. Length-dependent thermal conductivity in suspendedsingle-layer grapheme // Nature communication. 2014. V. 5. № 3689, P. 1-6.

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

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

6. Cheng F., Xu Y., Zhang J., Wang L., Zhang H., Wan Q., Xu S., Li W., Wang L. A Novel Flexible Carbon Fiber with Carbon Nanotubes Growing In-site to Impregnate Paraffin for Thermal Energy Application // Available at Research Square. 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2115128/v1

7. Devahastin S., Pitaksuriyarat S. Use of Latent Heat Storage to Conserve Energy during Drying and Its Effect on Drying Kinetics of a Food Product // Applied Thermal Engineering. 2006. V. 26. P. 1705–1713. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2005.11.007

8. Патент РФ № 2039477 C1. МПК A23N 7/00(2006.01). Устройство для очистки паром овощей и плодов от кожуры / А.А. Кирсанов; патентообладатель Липецкий политехнический институт. − № 93016368/13 ; заявл. 31.03.1993 ; опубл. 20.07.1995.

9. Патент РФ № 2771723 C1. МПК F26B 17/10, F26B 5/04, F26B 7/00. Энергоэффективная система для глубокой переработки растительного сырья с тепловыми аккумуляторами и электронагревателями / Ю.В. Родионов, А.В. Щегольков, А.В. Щегольков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». − № 2021127502 ; заявл. 20.09.2021 ; опубл. 11.05.2022.

10. Shchegolkov A.V., Nachtane M., Stanishevskiy Y.M., Dodina E.P., Rejepov D.T., Vetcher A.A. The Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Heat-Release Properties of Elastic Nanocomposites // J. Compos. Sci. 2022. V. 6. P. 333. DOI: 10.3390/jcs6110333

11. Shchegolkov A.V., Jang S.-H., Shchegolkov A.V., Rodionov Y.V., Glivenkova O.A. Multistage Mechanical Activation of Multilayer Carbon Nanotubes in Creation of Electric Heaters with Self-Regulating Temperature // Materials. 2021. V. 14(16). P. 4654. DOI: 10.3390/ma14164654

12. Liu J., Liu Y., Wang X. Effects of bioactive compounds and pharmacological activities in medicinal fruits and vegetables by thermal processing // Journal of Future Foods. 2023. V. 3(3). P. 252-262. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2023.02.009

13. Gomes B.A.F., Alexandre A.C.S., de Andrade G.A.V., Zanzini A.P., de Barros H.E.A., e Silva L.M.d.S.F., Costa P.A., Boas E.V.d.B.V. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 2: Physical methods and global market outlook // Food Chemistry Advances. 2023. V. 2. P. 100304. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100304

14. Hu Q., Zhang J., He L., Xing R., Yu N., Chen Y. New insight into the evolution of volatile profiles in four vegetable oils with different saturations during thermal processing by integrated volatolomics and lipidomics analysis // Food Chemistry. 2023. V. 403. P. 134342. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134342

15. Патент РФ № 2759808 C1. МПК A23N 7/00. Установка на основе саморегулируемых электронагревателей с наномодифицированными эластомерами и тепловыми аккумуляторами для очистки растительного сырья / Ю.В. Родионов, А.В. Щегольков, Д.В. Никитин, И.В. Иванова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». − № 2021111299 ; заявл. 21.04.2021 ; опубл. 18.11.2021.

16. Пьявченко Т.А. Автоматизированные информационно – с применением SCADA – системы Trace Mode: учеб. Пособие. – М.: Лань, 2015. – 336 с.

17. Филиппов Ф.В. Моделирование нейронных сетей глубокого обучения: учеб. пособие. – Санкт–Петербург: СПбГУТим.М.А. Бонч–Бруевича, 2019. – 79 с.

18. Щегольков, А. В. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов для солнечных энергетических установок / А. В. Щегольков, А. В. Щегольков, И. О. Плотницкий // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 4(40). – С. 46-52.

References

1. Chojnacka K., Mikula K., Izydorczyk G., Skrzypczak D., Witek-Krowiak A., Moustakas K., Ludwig W., Kułażyński M. Improvements in drying technologies - Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 320. P. 128706. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128706

2. Fan L., Khodadadi J.M. Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermalenergy storage: A review // Renewable and sustainable energy reviews. 2011. V. 15. P. 24–46.

3. Xu X., L. Pereira F.C., Wang Y., Wu J., Zhang K., Zhao X., Bae S., Bui C.T., Xie R., Thong J.T.L., HongB.H., Loh K.P., Donadio D., Li B., Özyilmaz B. Length-dependent thermal conductivity in suspendedsingle-layer grapheme // Nature communication. 2014. V. 5. № 3689, P. 1-6.

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

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

6. Cheng F., Xu Y., Zhang J., Wang L., Zhang H., Wan Q., Xu S., Li W., Wang L. A Novel Flexible Carbon Fiber with Carbon Nanotubes Growing In-site to Impregnate Paraffin for Thermal Energy Application // Available at Research Square. 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2115128/v1

7. Devahastin S., Pitaksuriyarat S. Use of Latent Heat Storage to Conserve Energy during Drying and Its Effect on Drying Kinetics of a Food Product // Applied Thermal Engineering. 2006. V. 26. P. 1705–1713. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2005.11.007

8. RF patent N 2039477 C1, IPC A23N 7/00(2006.01). Device for steam peeling of vegetables and fruits from peels / A.A. Kirsanov; patentee Lipetsk Polytechnic Institute. − № 93016368/13; dec. 31.03.1993; publ. 20.07.1995.

9. RF patent N 2771723 C1, IPC F26B 17/10, F26B 5/04, F26B 7/00. Energy efficient system for deep processing of vegetable raw materials with thermal accumulators and electric heaters / Y.V. Rodionov, A.V. Shchegolkov, A.V. Shchegolkov [et al.] ; Applicant Tambov State Technical University. − № 2021127502; dec. 20.09.2021; publ. 11.05.2022.

10. Shchegolkov A.V., Nachtane M., Stanishevskiy Y.M., Dodina E.P., Rejepov D.T., Vetcher A.A. The Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Heat-Release Properties of Elastic Nanocomposites // J. Compos. Sci. 2022. V. 6. P. 333. DOI: 10.3390/jcs6110333

11. Shchegolkov A.V., Jang S.-H., Shchegolkov A.V., Rodionov Y.V., Glivenkova O.A. Multistage Mechanical Activation of Multilayer Carbon Nanotubes in Creation of Electric Heaters with Self-Regulating Temperature // Materials. 2021. V. 14(16). P. 4654. DOI: 10.3390/ma14164654

12. Liu J., Liu Y., Wang X. Effects of bioactive compounds and pharmacological activities in medicinal fruits and vegetables by thermal processing // Journal of Future Foods. 2023. V. 3(3). P. 252-262. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2023.02.009

13. Gomes B.A.F., Alexandre A.C.S., de Andrade G.A.V., Zanzini A.P., de Barros H.E.A., e Silva L.M.d.S.F., Costa P.A., Boas E.V.d.B.V. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 2: Physical methods and global market outlook // Food Chemistry Advances. 2023. V. 2. P. 100304. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100304

14. Hu Q., Zhang J., He L., Xing R., Yu N., Chen Y. New insight into the evolution of volatile profiles in four vegetable oils with different saturations during thermal processing by integrated volatolomics and lipidomics analysis // Food Chemistry. 2023. V. 403. P. 134342. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134342

15. RF patent N 2759808 C1, IPC A23N 7/00. Installation on the basis of self-regulating electric heaters with nanomodified elastomers and thermal accumulators for purification of plant raw materials / Y.V. Rodionov, A.V. Shchegolkov, D.V. Nikitin, I.V. Ivanova ; Applicant Tambov State Technical University. − № 2021111299; dec. 21.04.2021; publ. 18.11.2021.

16. Pyavchenko T.A. Automated informationally - using SCADA - Trace Mode system: textbook. – M.: Lan, 2015. – 336 p.

17. Filippov F.V. Modeling of deep learning neural networks: textbook. – St. Petersburg: SPbSUTim M.A. Bonch-Bruevich., 2019. – 79 p.

18. Shchegolkov, A. V. Application of nanomodified heat-accumulating materials for solar energy installations / A. V. Shchegolkov, A. V. Shchegolkov, I. O. Plotnitsky // Bulletin of Agrarian Science of Don. - 2017. - № 4(40). - C. 46-52.

Информация об авторах

А.В. Щегольков – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. Shchegolkov - PhD, Associate Professor.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.899
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-27-33

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ МОТОРНОГО МАСЛА БЕЗ ЕГО СЛИВА ИЗ СИСТЕМЫ СМАЗКИ

Александр Викторович Кошелев [1]***, Дар Али Юсиф Аль – Саади*** [2]***,***
Алла Владимировна Забродская [3]***, Виктор Сергеевич Вязинкин*** [4]
[1,3,4] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*
[1] viitinlab8@bk.ru
[2]*Аль – Салам университетский колледж, Багдад, Ирак*
[2] dar-alsaadi@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Викторович Кошелев, viitinlab8@bk.ru
Corresponding author: Alexander Koshelev, viitinlab8@bk.ru

Реферат. *В дизельных двигателях внутреннего сгорания тракторов в процессе эксплуатации под воздействием высоких температур, нагрузок на деталях цилиндро – поршневой группы образуются загрязнения, которые далее попадают в моторное масло, что влияет на срок службы масла, характеристики машинно – тракторного агрегата. Важным мероприятием, влияющим на загрязненность деталей и срок службы масла, является промывка системы смазки при регламентной замене отработанного масла. Однако, по ряду известных объективных и субъективных причин данный технологический приём в реальных условиях эксплуатации практически не проводится. В ФГБНУ ВНИИТиН разработана ресурсосберегающая технология промывки системы смазки моторным маслом, работающим в двигателе трактора. Рассмотрен ряд технологических приемов очистки масла от загрязнений, смол под действием химических реагентов, добавляемых в масло, с последующей работой двигателя на холостом ходу. Получены зависимости изменения загрязненности, щелочного числа, вязкости и цвета масла от способа очистки, концентрации внесения реагентов карбамида, моноэтаноламина, изопропанола. Определено, что внесение изопропанола может увеличивать температуру вспышки масла. Установлены зависимости изменения щелочного числа, вязкости от концентрации моноэтаноламина с изопропанолом в масле. Рациональной концентрацией внесения данной добавки является 2 – 3 % объёма масла. Определено, что цвет масла при этом изменяется с 9 до 4 баллов в ед. ЦНТ. Исследованиями по использованию в качестве разделяющего агента и коагулянта мелкодиспергированных загрязнений установлено, что 3 % об. растворенного в гидроксиде аммония карбамида позволяет получить наилучший результат. Исследования по данному направлению будут продолжены и требуют подтверждения в широком диапазоне масел, технологического состояния двигателей тракторов.*

Ключевые слова: *моторное масло, загрязнение деталей, система смазки, реагенты, очистки, показатели, зависимости.*

RESEARCH RESULTS TO DETERMINE A RATIONAL METHOD FOR REMOVING CONTAMINATIONS FROM MOTOR OIL WITHOUT DRAINING IT FROM THE LUBRICATION SYSTEM

Alexander Koshelev [1]***, Dar A.Yu. Al – Saadi*** [2]***, Alla Zabrodskaya*** [3]***, Viktor Vyazankin*** [4]
[1,3,4] *All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia,* [1] viitinlab8@bk.ru
[2]*Al-Salam University College, Baghdad, Iraq*
[2] dar-alsaadi@mail.ru

Abstract. *Contaminants are formed in diesel internal combustion engines of tractors during operation under the influence of high temperatures and loads on the parts of the cylinder-piston group, which then enter the engine oil, which affects the service life of the oil and the characteristics of the machine-tractor unit. An important measure that affects the contamination of parts and the service life of the oil is flushing the lubrication system during routine replacement of used oil. However, for a number of well-known objective and subjective reasons, this technological method is practically not carried out under real operating conditions. Resource-saving technology for flushing the lubrication system with motor oil running in the tractor engine was developed at TSTU. A number of technological methods for cleaning oil from contaminants and resins under the influence of chemical reagents added to the oil, followed by idling the engine, have been developed. The dependences of changes in contamination, base number, viscosity and color of the oil on the cleaning method, the concentration of the addition of urea, monoethanolamine, and isopropanol reagents were obtained. It has been determined that the addition of isopropanol can increase the flash point of the oil. The dependences of the change in base number and viscosity on the concentration of monoethanolamine with isopropanol in the oil have been established. The rational concentration for adding this additive is 2–3% of the oil volume. It was determined that the color of the oil changes from 9 to 4 points per unit. CNT. Research on the use of finely dispersed contaminants as a separating agent and coagulant has established that 3% vol. carbamide dissolved in ammonium hydroxide allows you to get the best result. Research in this area will be continued and requires confirmation in a wide range of oils and the technological state of tractor engines*.

Keywords: *engine oil, contamination of parts, lubrication system, reagents, cleaning, indicators, dependencies.*

Для цитирования: Кошелев А.В., Аль-Саади Д.А.Ю., Забродская А.В., Вязинкин В.С. Результаты исследований по определению рационального способа удаления загрязнений из моторного масла без его слива из системы смазки // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 27-33. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-27-33.

For citation: Koshelev A., Al – Saadi D.A.Yu., Zabrodskaya A., Vyazankin V. Research results to determine a rational method for removing contaminations from motor oil without draining it from the lubrication system. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 27-33. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-27-33.

Введение. В процессе работы двигателей тракторов в системе смазки на деталях цилиндро – поршневой группы, под маслосъмными кольцами, в масляных каналах и на днище картера могут образовываться мазеподобные, смолистые отложения как результат использования топлив и масел, не соответствующих требованиям стандартов, высоких нагрузок, температур и так далее [1,2,3].

Подобного рода отложения возможно удалить, не проводя разборку двигателя за счет промывки системы смазки специальными промывочными маслами [4, 5, 6].

Однако данная операция сопряжена со значительными затратами и не всегда эффективна при промывке систем смазки двигателей тракторов [7,8].

ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывает ресурсосберегающую технологию промывки системы смазки моторным маслом, работающим в двигателе. Исследования проводятся в четырёх направлениях очистки отработанного моторного масла после его слива из картера двигателя с осветлением, очистка моторного масла без слива из картера двигателя за счет внесения добавок, способствующих за весь период использования масла поддержанию его высоких моющих свойств, очистка отработанного моторного масла перед его заменой без слива из картера двигателя с последующим сливом и заправкой товарного масла, ми

Методика проведения исследований.

Для исследований отбирались из картеров двигателей тракторов моторные масла с различными характеристиками, обусловленными разным техническим состоянием ДВС и различной наработкой после замены. В таблице 1 представлены некоторые основные показатели проб масел.

Таблица 1 - Физико – химические показатели проб масел

Показатели	Трактор МТЗ-82		
	ДВС-1 100 часов	ДВС-2 150 часов	ДВС-3 200 часов
Вязкость кинематическая, мм^2/с	10,1	10,8	10,5
Щелочное число, мг КОН/г	4,8	3,5	3,0
Загрязненность (смол), %	0,21	0,41	0,78
Температура вспышки. °С	200	210	180
Цвет, балл, ед. ЦНТ	7	8	9

Прежде всего, следует обратить внимание на значение щелочного числа масла, косвенно характеризующего содержание присадок и в первую очередь моюще – диспергирующих, которые, как показывает практика исследований по очистке масел и удалению из них мелкодиспергированных смол, асфальтенов, затормаживают укрупнение частиц и соответственно удаление загрязнений.

Чем выше значение щелочного числа, тем процесс укрупнения практически растворенных продуктов окисления проходит медленнее или вообще не происходит. При проведении исследований в качестве коагулянтов рассматривался водный раствор карбамида, карбамид, растворенный в гидроксиде аммония, смесь моноэтаноламина с изопропанолом [9].

Масло нагревалось до температуры 80 °С, далее в него вносились 1 – 3 % растворы вышеперечисленных коагулянтов. Данная концентрация рациональна и апробирована многократно, также описана в работах лаборатории смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов. Из различных комбинаций 1–5 % выделенные являются наиболее работоспособными с учетом многолетних исследований.

На рисунке 1 представлена зависимость изменения вязкости кинематической трех масел.

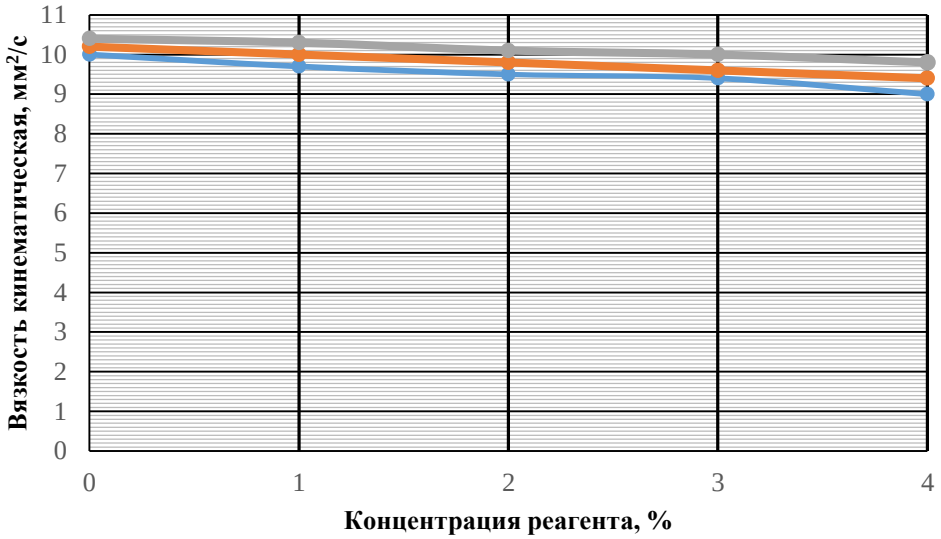


Рисунок 1- Зависимость изменения вязкости кинематической масла М-10Г$_2$.

Установлено, что во всех пробах масла вязкость кинематическая практически не изменилась. Имеющие место отклонения носят закономерный характер и связаны с удалением смолистых, более вязких примесей в двигателях технически исправных.

Резкое изменение вязкости в сторону уменьшения свидетельствует о смешивании масла с легкими дизельными фракциями.

На рисунке 2 представлены зависимости изменения загрязненности масла и цвета под воздействием выше представленных реагентов (водного раствора карбамида).

Содержание загрязнений у трактора (№ 1) снизилось с 0,21 до 0,08, цвет изменился с 7 до 4 баллов. В аналогичной закономерности изменились характеристики масел у тракторов № 2 и № 4.

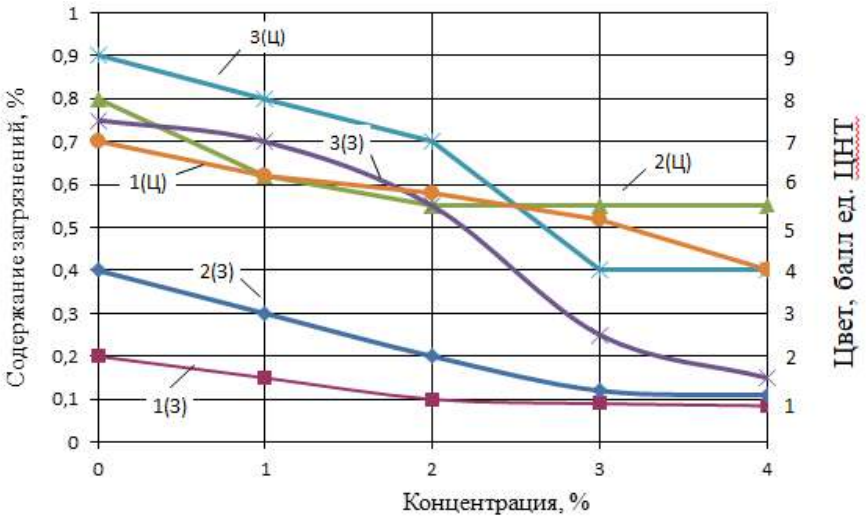


Рисунок 2– Зависимость изменения загрязнений и цвета

Для использования очищенного масла в любых других системах (кроме ДВС) полученные показатели являются удовлетворительными. Для рассмотрения масла в качестве промывочной жидкости данной характеристики не достаточно.

Способ ФГБНУ ВНИИТиН с использованием моноэтаноламина и изопропанола в ранее известных результатах более предпочтителен [10]. Однако его действие в качестве промывочного масла несмотря на присутствие растворителя (изопропанола) не всегда может быть оправдано, так как изопропанол может оставаться в масле, а принятая концепция предполагает длительное использование масла, то есть продление его срока службы.

На рисунке 3 представлена зависимость изменения щелочного числа масла от концентрации внесения моноэтаноламина в смеси с изопропанолом. Вязкость у всех масел осталась практически неизменной, как показано на рисунке 1.

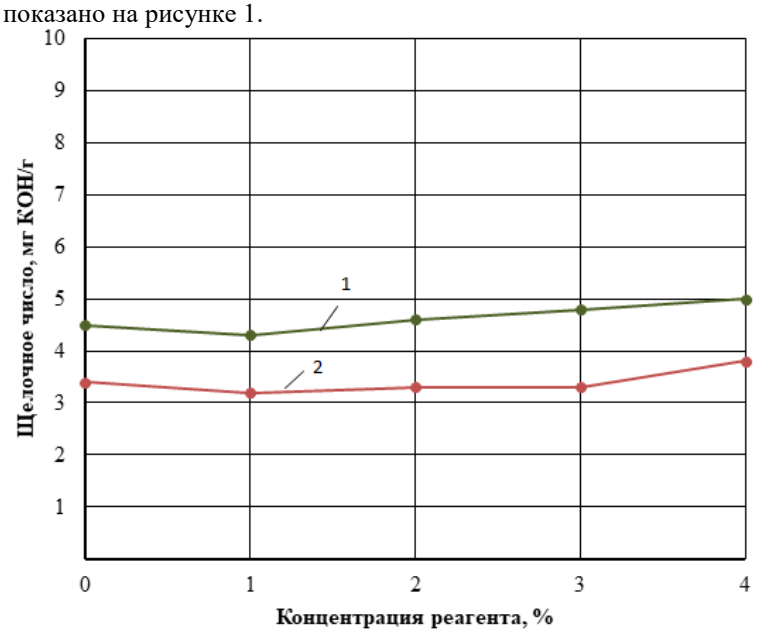


Рисунок 3 - Зависимость изменения щелочного числа масел.

Незначительное увеличение щелочного числа возможно объяснить действием моноэтаноламина.

На рисунке 4 представлена зависимость изменения цвета масла.

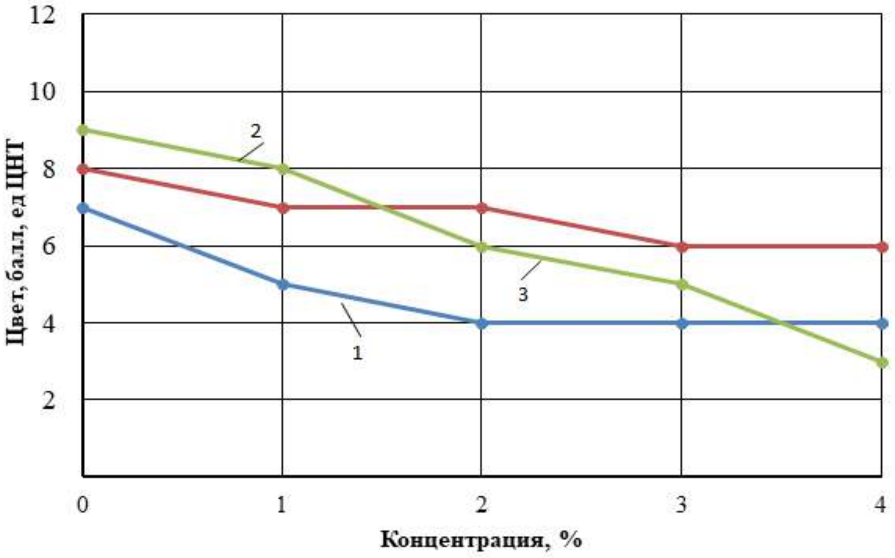


Рисунок 4 - Зависимость изменения цвета.

Для промывки системы смазки проводились исследования по анализу изменения содержания смол нерастворимого осадка в масле после очистки.

Учитывая, что карбамид показал удовлетворительный результат в данных разработках, проведём исследования по замене воды гидроксидом аммония, который способен растворить карбамид и усилить его действие.

На рисунке 5 показана динамика изменения содержания щелочного числа под действием 3% раствора карбамида в гидроксиде аммония.

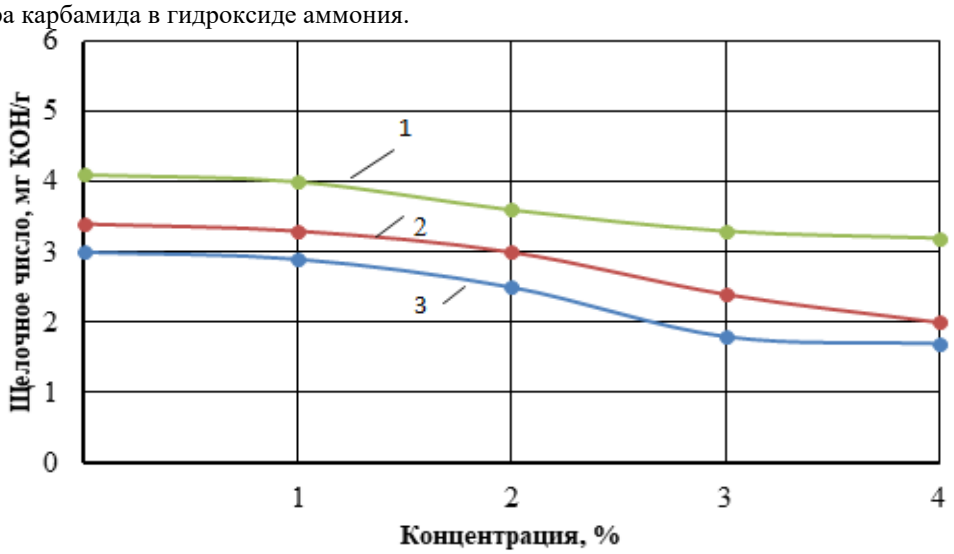


Рисунок 5 - Зависимость изменения содержания присадок в масле от концентрации реагента.

В принципе, возможно проследить определённую закономерность: с увеличением концентрации реагента щелочное число снижается. Однако нельзя однозначно утверждать, что полученные результаты могут оказать влияние на свойства масла. Более того, на основании

элементарных законов физики можно утверждать, что моющие свойства смеси могут быть улучшены за счёт «агрессивного» действия аммиака.

Следует также принимать во внимание, что снижение щелочного числа отрицательно влияет на срок службы масла до замены, а по данному показателю значение уменьшается. Также необходимо принимать во внимание тот факт, что периодически происходит долив свежего масла.

Полученные зависимости противоречат известным закономерностям в определённой степени, тем не менее, в основе «сочетаются». Возможно, имеющимся отклонениям есть объяснения. «Неконтролируемый» долив «угоревшего» масла влияет на получаемые результаты. При этом долив проводился для чистоты эксперимента, а в реальных условиях эксплуатации ситуация может быть противоположной или отличаться от действительности.

Заключение. Полученные результаты составляют только небольшую часть работы, проводимую в данном направлении. Для получения более достоверной информации следует проводить глубокие исследования.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что использование гидроксида аммония с растворенным карбамидом является более предпочтительным на данный момент исследований.

Список источников

1. Григорьев М.А., Кенжебаев С.О., Волков В.И. Комбинированные системы очистки масла дизеля //Автомобильная промышленность. 1992. №7. С. 14 - 16.

2. Кравченко И.Н., Корнеев В.М., Петровский Д.И., Катаев Ю.В. Ресурсосберегающие технологии ремонта сельскохозяйственной техники: учебное пособие. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2018. 184 с.

3. Николаенко А.В. Пути улучшения использования сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1980. 304 с.

4. Остриков В.В., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Жерновников Д.Н. Промывка системы смазки двигателей тракторов отработанным маслом. /В сборнике Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники. Материалы Международного научно-технического семинара имени В.В. Михайлова. 2019. С. 15-18.

5. Охотников Б. Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2014. 138 с.

6. Ленский А.В. Система технического обслуживания машинотракторного парка. М.: Россельхозиздат, 1985. 336 с.

7. Картошкин А.П. Исследование нагароотложений на деталях цилиндропоршневой группы при эксплуатации дизелей сельскохозяйственных тракторов. Л.: ЛСХИ, 1984. 97 с.

8. Остриков В.В., Балабанов В.И., Сафонов В.В., Ищенко С.А. Ресурсосберегающая технология очистки системы смазки двигателя. //Агроинженерия. 2020. № 3 (97). С. 34-38

9. Остриков В.В., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н., Забродская А.В. Исследования по очистке работающего моторного масла и системы с мазки от загрязнений //Химия и технология топлив и масел. 2021. № 6 (628). С. 21-24.

10. Патент на изобретение RU 2773468 C1. Способ очистки отработанных моторных минеральных масел /Остриков В.В., Вигдорович М.В., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Нагдаев В.К., Кошелев А.В., Жерновников Д.Н./ 06.06.2022. Заявка № 2021123711 от 06.08.2021.

Reference

1. Grigoriev M.A., Kenzhebaev S.O., Volkov V.I. Combined diesel oil purification systems //Automobile industry. 1992. No. 7. pp. 14 - 16.

2. Kravchenko I.N., Korneev V.M., Petrovsky D.I., Kataev Yu.V. Resource-saving technologies for repairing agricultural machinery: a textbook. M.: FGBNU "Rosinformagrotech". 2018. 184 p.

3. Nikolaenko A.B. Ways to improve the use of agricultural machinery. M.: Kolos, 1980. 304 p.

4. Ostrikov V.V., Vyazinkin V.S., Zabrodskaya A.V., Zhernovnikov D.N. Flushing the lubrication system of tractor engines with used oil. /In the collection Problems of efficiency and operation of automotive vehicles. Materials of the International Scientific and Technical Seminar named after V.V.

Mikhailova. 2019. pp. 15-18.

5. Okhotnikov B. L. Operation of internal combustion engines: textbook. Ekaterinburg: Ural University Publishing House, 2014. 138 p.

6. Lensky A.B. Machine and tractor fleet maintenance system. M.: Rosselkhozizdat, 1985. 336 p.

7. Kartoshkin A.P. Study of carbon deposits on parts of the cylinder-piston group during the operation of diesel engines of agricultural tractors. L.: LSHI, 1984. 97 p.

8. Ostrikov V.V., Balabanov V.I., Safonov V.V., Ishchenko S.A. Resource-saving technology for cleaning the engine lubrication system. //Agroengineering. 2020. No. 3 (97). pp. 34-38

9. Ostrikov V.V., Orobinsky V.I., Afonichev D.N., Zabrodskaya A.V. Research on cleaning operating motor oil and smear systems from contaminants // Chemistry and technology of fuels and oils. 2021. No. 6 (628). pp. 21-24.

10. Patent for invention RU 2773468 C1. Method for cleaning waste motor mineral oils /Ostrikov V.V., Vigdorovich M.V., Vyazinkin V.S., Zabrodskaya A.V., Nagdaev V.K., Koshelev A.V., Zhernovnikov D.N./ 06.06 .2022. Application No. 2021123711 dated 08/06/2021.

Информация об авторах

А. В. Кошелев – мл. научный сотрудник, Д. А. Ю. Аль – Саади - преподаватель, А. В. Забродская – научный сотрудник, В. С. – научный сотрудник.

Information about the authors

A. V. Koshelev – Jr. researcher, D. A. Yu. Al-Saadi - teacher, A. V. Zabrodskaya - researcher, V.S. Vyazinkin - researcher.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 29.10.2023 Принята к публикации (Accepted): 18.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-34-43

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБИННОЙ МЕШАЛКИ ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Роман Иннакентьевич Ли [1]***, Мария Романовна Киба*** [2]***,***
Дмитрий Васильевич Гребеньков [3]***, Виктор Евгеньевич Ерохин*** [4]
[1,3,4] *Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия*
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[3]https://orcid.org/0000-0003-3045-7434, [4]https://orcid.org/ 0000-0003-3997-2563
[2] *Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*
[2] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Автор, ответственный за переписку: Роман Иннакентьевич Ли, romanlee@list.ru
Corresponding author: Roman Li, romanlee@list.ru

Реферат. *Применение полимерных композитов при восстановлении изношенных корпусных деталей сельскохозяйственной техники существенно увеличивает их послеремонтный ресурс и приводит к значительной экономии материальных средств при ремонте. Композит должен обладать высокими механическими и теплофизическими свойствами, что возможно при условии равномерного распределении частиц наполнителя в объеме раствора. Агрегирование частиц, их не однородное распределение в растворе полимера значительно ухудшает эксплуатационные свойства материала. Механическое смешение и диспергирование растворов полимерных композитов с использованием аппаратов с мешалками является перспективным способом обработки, улучшающим потребительские свойства материала. Проведены теоретические исследования и с учетом физических свойств раствора эластомерного нанокомпозита выбрана конструкция открытой турбинной мешалки. Установлено, что при разработке аппарата с мешалкой следует учесть влияние конструктивных параметров мешалки на мощность, потребляемую аппаратом на перемешивание компонентов, а также качество смешения и диспергирования раствора полимерного композита. Проведен анализ влияния конструктивных параметров мешалки на потребляемую мощность и определены конструктивные параметры мешалки. Реализован активный эксперимент по плану* B_2 *в котором функцией отклика приняли оценочный параметр качества смешения коэффициент светопропускания, а факторами угол наклона лопатки мешалки и частоту ее вращения. Получена регрессионная модель в виде полинома второго порядка и проведена ее оптимизация. Установлены оптимальные конструктивные и режимные параметры мешалки, обеспечивающие наиболее высокое качество смешения растворов. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана конструкция открытой, турбинной мешалки для смешения и диспергирования растворов эластомерных нанокомпозитов, предназначенных для восстановления изношенных корпусных деталей техники.*

Ключевые слова: *деталь, восстановление, раствор, полимер, наполнитель, механическое смешение, качество.*

OPTIMIZATION OF DESIGN AND REGIME DATA THE TURBINE MIXER FOR DISPERSION OF SOLUTIONS POLYMERIC COMPOSITES

Roman Li [1]***, Maria Kiba*** [2]***, Dmitry Grebenkov*** [3]***, Viktor Erokhin*** [4]
[1,3,4] *Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia*
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[3]https://orcid.org/0000-0003-3045-7434, [4]https://orcid.org/ 0000-0003-3997-2563

[2] St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia
[2] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Abstract. *The use of polymer composites in the restoration of worn-out body parts of agricultural machinery significantly increases their post-repair life and leads to significant savings in material resources during repair. The composite should have high mechanical and thermophysical properties, which is possible provided that the filler particles are evenly distributed in the volume of the solution. Aggregation of particles, their non-uniform distribution in the polymer solution significantly impairs the performance of the material. Mechanical mixing and dispersion of polymer composite solutions using agitators is a promising treatment method that improves the consumer properties of the material. Theoretical studies were carried out and, taking into account the physical properties of the elastomeric nanocomposite solution, the design of the open turbine stirrer was chosen. It has been found that when developing a device with a stirrer, the effect of the design parameters of the stirrer on the power consumed by the device on the mixing of components, as well as the quality of mixing and dispersion of the polymer composite solution should be taken into account. The effect of the design parameters of the stirrer on the power consumption was analyzed and the design parameters of the stirrer were determined. An active experiment according to the plan was implemented V2 in which the response function took the estimated parameter of the mixing quality of the light transmission coefficient, and the factors of the inclination angle of the stirrer blade and its rotation frequency. A regression model in the form of a second-order polynomial was obtained and its optimization was carried out. The optimal design and operating parameters of the stirrer have been established, which ensure the highest quality of mixing solutions. Based on the results of the studies, the design of an open, turbine stirrer for mixing nanocomposite solutions was developed.*

Keywords: *detail, reduction, solution, polymer, filler, mechanical mixing, quality*.

Для цитирования: Ли Р.И., Киба М.Р., Гребеньков Д.В., Ерохин В.Е. Оптимизация конструктивных и режимных параметров турбинной мешалки для диспергирования растворов полимерных композитов // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 34-43. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-34-43.

For citation: Li R., Kiba M., Grebenkov D., Erokhin V. Optimization of design and regime data the turbine mixer for dipersion of solutions polymeric composities. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 34-43. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-34-43.

Введение. Восстановление изношенных корпусных деталей автомобилей и тракторов полимерными композитами значительно увеличивает их ресурс и существенно уменьшает затраты на ремонт техники [1…14]. Высокий ресурс восстановленных посадок подшипников, достигается при условии высоких механических и теплофизических свойств материала. Чтобы выполнить это условие следует добиваться равномерного распределении частиц наполнителя в объеме раствора. Агрегирование частиц, их неоднородное распределение в растворе полимера приводят к существенному ухудшению эксплуатационных свойств композита.

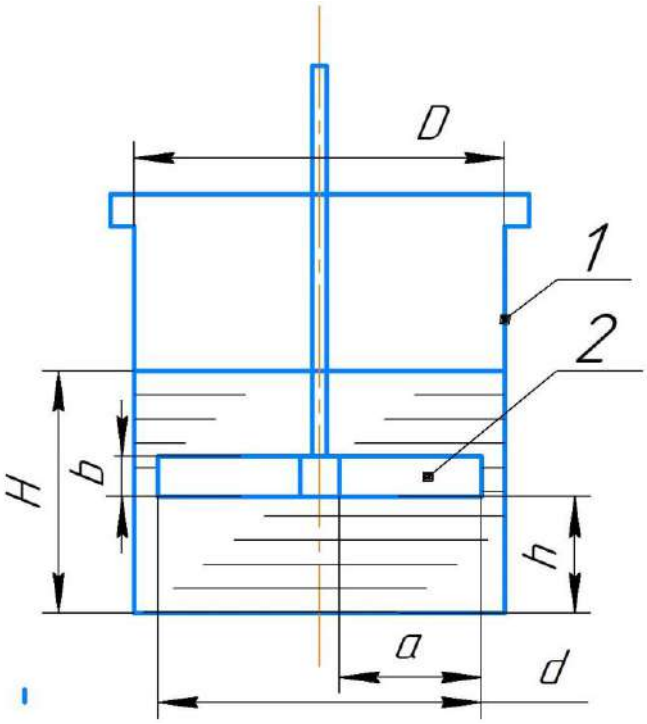
Одним из перспективных направлений обработки является механическое смешение и диспергирование растворов полимерных композитов с использованием аппаратов с мешалками. Эффективность смешения оценивают энергией, расходуемой на перемешивание, для достижения необходимого технологического эффекта. Считают, что «из двух аппаратов с мешалками более эффективно работает тот, в котором достигается определенный технологический эффект при более низкой затрате энергий» [15]. Поэтому при разработке аппарата с мешалкой необходимо учесть влияние конструктивных параметров мешалки на мощность *N*, потребляемую аппаратом на перемешивание компонентов, а также качество смешения и диспергирования раствора полимерного композита. Цель исследований – провести анализ влияния конструктивных параметров мешалки на потребляемую мощность, определить оптимальные конструктивные и режимные параметры мешалки, обеспечивающие высокое качество смешения и диспергирования раствора полимерного композита.

Материалы и методы. Состав исследуемого раствора полимерного нанокомпозита: «Раствор эластомера Ф-40С – 100 масс.ч. (ТУ 6-06-246-92), алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч.» [5, 13, 14]. На рисунке 1 показаны геометрические параметры аппарата с мешалкой. Реализован активный эксперимент. Наполнитель добавляли в раствор эластомера и в течение 5,5 мин, при температуре окружающей среды в 22^0С, проводили смешение в аппарате с мешалкой. Далее прибором оригинальной конструкции (заявка на получение патента на изобретение №2023111783 от 04.05.20230) измеряли интенсивность светового потока, прошедшего через раствор полимерного нанокомпозита и рассчитывали коэффициент светопропускания.

В наших исследованиях качество смешения и диспергирования оценивали новым показателем – коэффициентом светопропускания (заявка на получение патента на изобретение №2023111783 от 04.05.20230 «Способ оценки качества смешения растворов полимерных композитов и устройство для его осуществления»), определяемым по формуле

$$K_t = \frac{I_t}{I_0} \times 100\%, \quad (1)$$

где I_t – интенсивность светового потока, прошедшего через раствор полимерного композита, предварительно подвергнутого смешению; I_0 – интенсивность светового потока на выходе из раствора не наполненного полимера («нулевого» раствора). Эту величину приняли в качестве функции отклика.



1 – емкость с раствором нанокомпозита; 2 – мешалка; D – диаметр емкости; d – диаметр мешалки; H – высота уровня жидкости; h – высота мешалки; a – длина лопатки; b – ширина лопатки

Рисунок 1 – Геометрические параметры аппарата с мешалкой

В таблице 1 показаны принятые факторы и их интервалы варьирования.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Кодированное обозначение фактора	Уровни варьирования фактора			Интервал варьирования
		нижний	нулевой	верхний	
Угол наклона лопаток, °	X_1	30	45	60	15
Частота вращения, мин $^{-1}$	X_2	1100	1300	1500	200

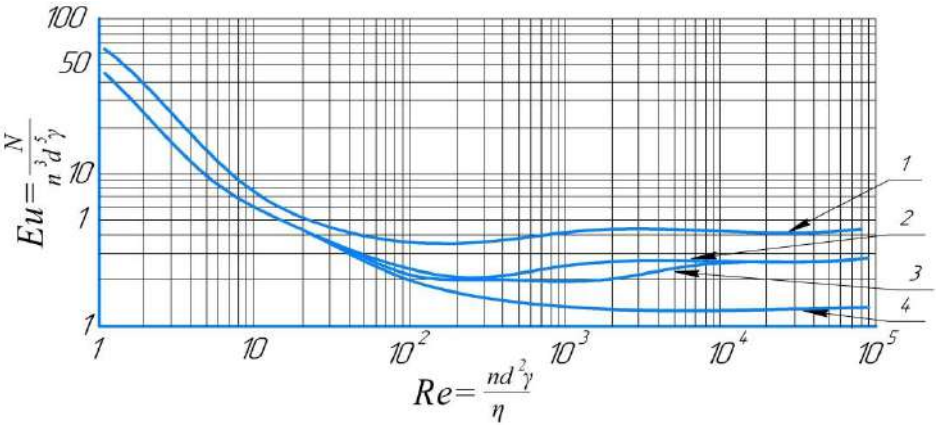
Результаты и обсуждение. Исходя из физических свойств раствора эластомерного нанокомпозита [5] выбрали открытую турбинную мешалку [16].

Мощность, расходуемую на перемешивание, аппаратом с мешалкой определяют по формуле [15]

$$N = K_2 n^3 d^5 \gamma \Psi_1 \Psi_2 ... \Psi_n, \quad (2)$$

где K_2 – значение критерия Эйлера при числе Рейнольдса Re = 10^5; n – частота вращения мешалки; γ – плотность раствора нанокомпозита; $\Psi_1 \Psi_2 ... \Psi_n$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров аппарата с мешалкой на мощность, расходуемую на перемешивание [15].

Влияние вида и количества лопаток Z мешалки на мощность, затрачиваемую на перемешивание N. На рисунке 2 показано изменение критерия мощности E_u (модифицированного критерия Эйлера) от вида и размеров лопатки полной длины [17]. Максимальная мощность расходуется мешалкой с прямыми лопатками и наибольшей шириной (кривая 1). В области турбулентного течения расход мощности у мешалки с лопатками, наклоненными под углом $\alpha = 45^0$ наименьший. Это обусловлено, что помимо радиального течения жидкости возникает осевое течение жидкости. Осевая циркуляция жидкости является обязательным условием образования суспензии, т.к. осевое движение препятствует оседанию на дно частиц наполнителя. Авторы в работе [18] предлагают в качестве оптимального количество лопаток Z = 6. Поэтому предварительно приняли мешалку с лопатками, наклоненными под углом $\alpha = 45^0$, и количеством Z = 6.



1 – прямые лопатки $b/d = 0{,}2$; 2 – прямые лопатки $b/d = 0{,}125$; 3 – изогнутые лопатки $b/d = 0{,}125$; 4 – лопатки, наклоненные под углом $\alpha = 45^0$, $b/d = 0{,}125$;
b – ширина лопатки; d – диаметр мешалки

Рисунок 2 – Зависимость критерия мощности $E_u = f(R_e)$ от вида и размеров лопатки полной длины в турбинных мешалках, Z = 6

Влияние размеров лопаток (параметров a/d и b/d) мешалки на мощность N. Влияние длины *a* лопатки на мощность *N*, затрачиваемую на перемешивание, является существенным. В результате многочисленных исследований предложен поправочный коэффициент по длине лопатки Ψ_a в формулу для расчета мощности N

$$\Psi_a = (\frac{i_a}{i_{a_0}})^{1,5}, \quad (3)$$

где $i_{a_0} = (\frac{a}{d})_0 = 0,25$ – постоянный инвариант длины лопатки.

Из формулы (3) следует значительное влияние длины лопатки на мощность. Например, при увеличении длины *a*, и соответственно отношения до *a/d = 0,4* поправочный коэффициент увеличится до 2,02 раза. Однако ранее было отмечено, что в турбулентном режиме потребляемая мощность мешалки с наклонными лопатками под углом $\alpha = 45^0$ (рисунок 2, кривая 4), в сравнении с мешалкой, имеющей прямые лопатки максимальной ширины, примерно в три раза меньше (кривая 1).

Поправочный коэффициент Ψ_b по ширине лопатки в формуле расчета мощности *N* имеет вид

$$\Psi_b = (\frac{i_b}{i_{b_0}})^m, \quad (4)$$

где $i_{b_0} = (\frac{a}{d})_0 = 0,2$ – постоянный инвариант ширины лопатки; $m = 1,25$ при $Z = 4$ и $m = 1,0$ при $Z = 6$.

Как следует из формулы (4) с увеличением количества лопаток, влияние ширины лопатки на потребляемую мощность уменьшается. Поэтому в соответствии с рекомендациями в работе [19] и формулой (4) окончательно выбрали количество лопаток $Z = 6$.

Влияние скорости вращения мешалки n на качество смешения. Рао и Мухерьи при исследовании образования суспензий установили: «существует оптимальное число оборотов мешалки, при котором достигается наиболее равномерное распределение частиц твердого тела в жидкости (максимальная степень перемешивания). Как снижение, так и повышение скорости вращения мешалки по сравнению с указанным числом оборотов приводит к ухудшению степени перемешивания системы» [15, 19]. Поэтому возникла необходимость исследований для определения оптимальной частоты вращения мешалки, при которой достигается максимальная степень перемешивания.

Как упоминалось ранее, осевая циркуляция жидкости является обязательным условием образования суспензии, т.к. осевое движение препятствует оседанию на дно частиц наполнителя. Мешалка с наклонными лопатками создает осевую составляющую циркулирующего потока раствора композита. В зависимости от угла наклона лопаток α доля осевой составляющей в общем циркулирующем потоке будет различной. Проведены исследования смешения и диспергирования растворов полимерных композитов мешалками с лопатками, наклоненными под углом $\alpha = 30,45 и 60^0$.

В связи с вышеизложенным, спланирован и реализован активный эксперимент. В таблице 2 показан план эксперимента и его результаты.

Таблица 2 – План B_2 и результаты активного эксперимента

№ п/п	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	$\bar{Y}_g$	$\hat{Y}_g$	S_g^2
1	-1	-1	41,62	42,61	43,42	42,55	42,3633	0,0348
2	+1	-1	44,35	47,24	46,31	45,97	45,8556	0,0123
3	-1	+1	37,77	37,64	39,69	38,37	38,4778	0,0123
4	+1	+1	42	40,95	42,84	41,93	42,1167	0,0348
5	-1	0	31,26	32,3	33,04	32,20	32,2756	0,0057
6	+1	0	352	37,31	3524	35,92	35,8411	0,0057
7	0	-1	33,12	30	34,03	32,38	32,6811	0,0887
8	0	+1	26,43	29,54	31,53	29,17	28,8689	0,0887

Результаты эксперимента обработали по методике регрессионного анализа: «однородность дисперсий оценивали по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии сравнением с соответствующими доверительными интервалами, работоспособность по коэффициенту детерминации R^2, адекватность регрессионной модели по критерию Фишера, координаты экстремума взятием частных производных по каждому фактору в регрессионной модели и приравниванием выражений к нулю, в заключении провели каноническое преобразование регрессионной модели и по ней построили двумерное сечение поверхности отклика» [20].

В итоге получили зависимость качества смешения раствора нанокомпозита от угла наклона лопаток и частоты вращения мешалки.

Регрессионная модель в натуральных единицах

$$Y = 461{,}986127 - 4{,}344444\, x_1 - 0{,}519444\, x_2 + 0{,}04963\, x_1^2 + 0{,}000196\, x_2^2.$$

Результаты регрессионного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты регрессионного анализа

Критерий Кохрена		Критерий Фишера		Коэффициент детерминации R^2
Табличное значение, G_m	Расчетное значение, G_p	Табличное значение, F_m	Расчетное значение, F_p	
0,51	0,356486	3,01	0,12	0,89
Дисперсии однородны		Регрессионная модель адекватна		Регрессионная модель работоспособна

На рисунке 3 показана поверхность, а на рисунке 4 – двумерное сечение поверхности отклика.

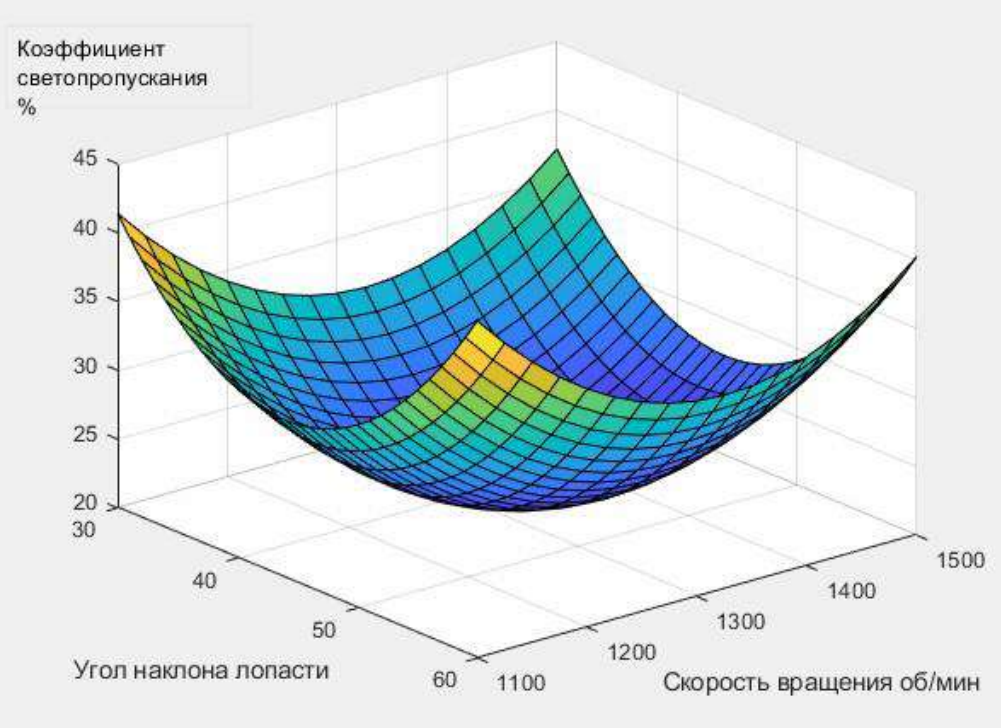


Рисунок 3 – Поверхность отклика

В таблице 4 показаны конструктивные и режимные параметры открытой, турбинной мешалки для смешения и диспергирования растворов эластомерных нанокомпозитов.

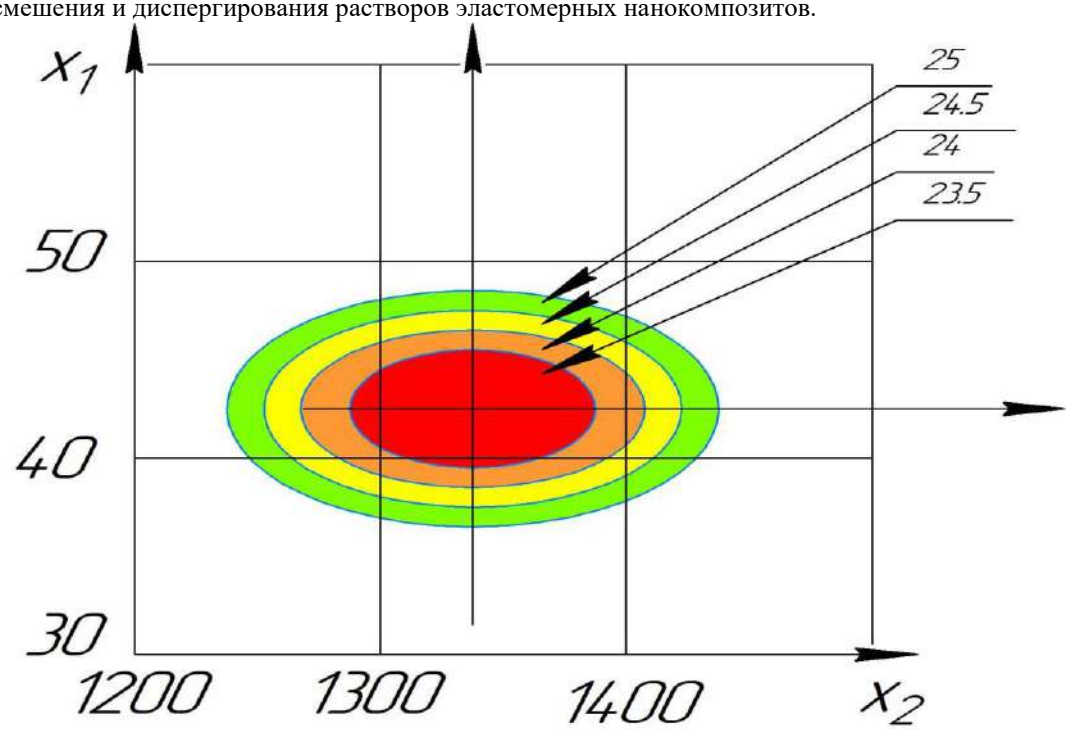


Рисунок 4 – Двумерное сечение поверхности отклика

Таблица 4 – Конструктивные и режимные параметры открытой, турбинной мешалки для смешения и диспергирования растворов эластомерных нанокомпозитов

Диаметр емкости D, мм	Диаметр мешалки d, мм	Высота уровня жидкос-ти H, мм	Высота мешал-ки h, мм	Длина лопат-ки a, мм	Шири-на лопат-ки b, мм	Угол наклона лопатки $\alpha,^0$	Частота вращения, мин$^{-1}$	Коэффи циент светопро-пускания K_t,%
37	34	30	11,5	13	7	45	1300	23,5

Выводы.

1. Получена регрессионная модель качества смешения растворов полимерных композитов от угла наклона лопаток и частоты вращения мешалки.
2. Установлены оптимальные конструктивные и режимные параметры мешалки, обеспечивающие наиболее высокую степень смешения и диспергирования растворов полимерных композитов.
3. Разработана конструкция открытой, турбинной мешалки для смешения и диспергирования растворов эластомерных нанокомпозитов.

Список источников

1. Кононенко А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: Дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2012. 405 с.
2. Жачкин С. Ю., Краснова М. Н., Пеньков Н. А., Краснов А. И. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 130–134.
3. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.
4. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 1. С. 89–94.
5. R. I. Li, D. N. Psarev, M. R. Kiba. Promising Nanocomposite Based on Elastomer F-40 for Repairing Base Members of Machines. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 2, pp. 128-132.
6. Полимерные нанокомпозиты: многообразие структурных форм и приложений / А.К. Микитаев, Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков; Ин-т биохим. физики им. Н.М. Эмануэля РАН. – М.: Наука, 2009. – 278 с.
7. Ли, Р.И. Математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом [Текст] / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя // Клеи. Герметики, Технологии. 2019. № 9. С. 38-43.
8. R. I. Li, D. N. Psarev, V. A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.
9. Модель формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали. Ли Р.И., Псарев Д.Н. Клеи. Герметики. Технологии. 2015. № 2. С. 34-38.
10. Михайлюк, А. Е. Разработка эластомерных материалов на основе этиленпропиленовых каучуков, модифицированных высокодисперсными частицами металлов: дис. ... канд. техн. наук / Михайлюк А.Е. – Волгоград, 2014. – 140 с.
11. Помогайло, А. Д. Наночастицы металлов в полимерах / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – Москва: Химия, 2000. – 672 с.
12. Кособудский, И. Д. Наноразмерные металлические частицы в полимерных матрицах: I. Синтез, механизмы образования и стабилизации / И. Д. Кособудский // Известия высших учебных заведений. – 2000. – Т. 43 (4). – С. 3-18.

13. https://institut-plastmass.tiu.ru/p32507115-fenolnye-smoly-laki.html.
14. www.nanosized-powders.com.
15. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша. 1971. Пер. с польск. под ред. Щупляка. И.А. Л., Химия, 1975. 384 с.
16. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. Под ред. В.Н. Стабникова. Киев: Вища школа, 1982. - 199 с.
17. Bates R. L., Fond y P. L., Corpstein R. R. Ind. Eng. Chem Process Des. Develop., 2, 310 (1963).
18. Rushton J. H., Costich E. W., Everett H. J. Chem. Eng. Progr., 46, 467 (1950).
19. Raghavendra Rao S., Muherji B. K. Trans. Indian Inst. Chem. Eng., 7, 63 (1954/55).
20. Ли, Р. И. Основы научных исследований: Учеб. пособие / Р. И. Ли. – Липецк: ЛГГУ, 2013. – 190 с.

Reference

1. Kononenko A. S. Increasing the reliability of fixed flange connections of agricultural machinery using nanostructured sealants: Diss. ... Dr. Tech. Sci. M., 2012. 405 p.
2. Zhachkin S. Yu., Krasnova M. N., Penkov N. A., Krasnov A. I. Modeling of the mechanical impact of a tool when producing galvanic composite coatings // Proceedings of GOSNITI. 2015. T. 120. pp. 130–134.
3. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Mandrykin I.A., Belentsov V.G. Intensification of restoration of agricultural machine parts with dispersion-strengthened composite coating based on chromium // Innovations in agriculture. 2019. No. 3 (32). pp. 49-54.
4. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Increasing the resistance of cold-curing polymer composites to the effects of working fluids using nanomaterials // International Technical and Economic Journal. 2015. No. 1. pp. 89–94.
5. R. I. Li, D. N. Psarev, M. R. Kiba. Promising Nanocomposite Based on Elastomer F-40 for Repairing Base Members of Machines. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 2, pp. 128-132.
6. Polymer nanocomposites: variety of structural forms and applications / A.K. Mikitaev, G.V. Kozlov, G.E. Zaikov; Institute of Biochemistry. physics named after N.M. Emanuel RAS. – M.: Nauka, 2009. – 278 p.
7. Lee, R.I. Mathematical model of infrared heating of body parts during restoration with polymer material [Text] / R.I. Lee, D.N. Psarev, A.N. Bykonya // Adhesives. Sealants, Technologies. 2019. No. 9. pp. 38-43.
8. R. I. Li, D. N. Psarev, V. A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.
9. Model of the formation of a uniform polymer coating on the outer surface of a rotating cylindrical part. Lee R.I., Psarev D.N. Adhesives. Sealants. Technologies. 2015. No. 2. P. 34-38.
10. Mikhailyuk, A. E. Development of elastomeric materials based on ethylene-propylene rubbers modified with highly dispersed metal particles: dis. ...cand. tech. Sciences / Mikhailyuk A.E. – Volgograd, 2014. – 140 p.
11. Pomogailo, A. D. Nanoparticles of metals in polymers / A. D. Pomogailo, A. S. Rozenberg, I. E. Uflyand. – Moscow: Chemistry, 2000. – 672 p.
12. Kosobudsky, I. D. Nanosized metal particles in polymer matrices: I. Synthesis, mechanisms of formation and stabilization / I. D. Kosobudsky // News of higher educational institutions. – 2000. – T. 43 (4). – P. 3-18.
13. https://institut-plastmass.tiu.ru/p32507115-fenolnye-smoly-laki.html
14. www.nanosize-powders.com
15. Strenk F. Stirring and apparatus with stirrers. Poland. 1971. Transl. from Polish edited by Shpiplika. I.A. L., Chemistry, 1975. 384 p.
16. Design of processes and apparatus for food production. Ed. V.N. Stabnikova. Kyiv: Vishcha School, 1982. - 199 p.
17. Bates R. L., Fond y P. L., Corpstein R. R. Ind. Eng. Chem Process Des. Develop., 2, 310 (1963).

18. Rushton J. H., Costich E. W., Everett H. J. Chem. Eng. Progr., 46, 467 (1950).
19. Raghavendra Rao S., Muherji V. K. Trans. Indian Inst. Chem. Eng., 7, 63 (1954/55).
20. Lee, R.I. Fundamentals of scientific research: Textbook. allowance / R.I. Lee. – Lipetsk: Leningrad State University, 2013. – 190 p.

Информация об авторах

Р. И. Ли – доктор технических наук, профессор; М. Р. Киба – кандидат технических наук; Д. В. Гребеньков – кандидат технических наук, доцент; В. Е. Ерохин – аспирант.

Information about the authors

R. Li – Doctor of Technical Science, Professor; M. Kiba – Candidate of Technical Science;
D. V. Grebenkov – Candidate of Technical Science, Associate Professor; V. Erohin – Post Graduate Student.

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

Поступила в редакцию (Received): 23.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.331: 634.71
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-44-52

ОСОБЕННОСТЬ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОСАДКИ МАЛИНЫ САЖЕНЦАМИ С АСИММЕТРИЧНОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Виктор Николаевич Ожерельев [1]***, Владимир Иванович Самусенко*** [2]***,***
Игорь Владимирович Кузьменко [3]
[1,2,3] *Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия*
[1] vicoz@bk.ru**,** https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2] samvi64@mail.ru, [3] kuzmenko_2007@mail.ru

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

Реферат. *В статье дан анализ посадочных машин, применяемых в садоводстве и лесном хозяйстве. Для посадки малины предложен вариант максимально упрощенной машины с размещением высаживающего диска и опорных колес на одной оси, смонтированной на подшипниках скольжения. Приведены результаты исследования массива типичных саженцев на предмет формы и габаритных размеров их корневой системы. Установлено, что до половины исследованного массива посадочного материала обладает корневой системой, близкой к симметричному типу, а для 37,5% саженцев характерна двукратная и более степень ее асимметрии. Показан характер взаимодействия корневой системы саженца с засыпающей его почвой. При закладке саженца в рассадодержатель сориентированным наиболее развитой частью корней вперед по ходу вращения диска комбинированное вертикальное и продольное давление почвы, поступающей от загортачей, опрокидывает саженец, вследствие чего его стебель может принимать положение, близкое к горизонтальному. Если при закладке саженца в рассадодержатель сориентировать наиболее развитую часть его корневой системы в сторону, противоположную направлению вращения высаживающего диска, то, как правило, в конечном положении стебель саженца имеет наклон от вертикали на небольшой угол. Указано, что для малины пространственная ориентация стебля саженца не имеет практического значения, потому, что плодоносят вырастающие после закладки плантации корневые отпрыски, качество которых не связано с пространственной ориентацией исходного стебля. На протяжении 25 лет посадочная машина успешно использовалась в фермерском хозяйстве. Установлено, что после ее прохода дополнительной ручной оправки требуют порядка 5% высаженных растений.*

Ключевые слова: *малина, механизированная посадка, корневая система, пространственная ориентация стебля.*

FEATURE OF MECHANIZED PLANTING OF RASPBERRY SEEDLINGS WITH AN ASYMMETRICAL ROOT SYSTEM

Viktor Ozherelev [1]***, Vladimir Samusenko*** [2]***, Igor Kuzmenko*** [3]
[1,2,3] *Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia*
[1] vicoz@bk.ru**,** https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2] samvi64@mail.ru, [3] kuzmenko_2007@mail.ru

Abstract. *An analysis of planting machines used in horticulture and forestry is given in the article. A version of the most simplified machine with the placement of a planting disk and support wheels on one axis mounted on plain bearings is proposed for planting raspberries. The results of studying an array of typical seedlings for the shape and overall dimensions of their root system are given. It has been established that up to half of the studied array of planting material has a root system close to the symmetrical type, and 37.5% of seedlings are characterized by a twofold or more degree of asymmetry.*

The nature of the interaction between the root system of a seedling and the soil covering it is shown. The seedling is placed in the seedling holder with the most developed part of the roots forward in the direction of rotation of the disk. The combined vertical and longitudinal pressure of the soil coming from the harrows overturns the seedling, as a result of which its stem can take a position close to horizontal. If, when placing a seedling in a seedling holder, the most developed part of its root system is oriented in the direction opposite to the direction of rotation of the planting disk, then, as a rule, in the final position the stem of the seedling is inclined from the vertical at a small angle. It has been established that the spatial orientation of the stem of a raspberry seedling has no practical significance, because the root shoots that grow after planting are bearing fruit, the quality of which is not related to the spatial orientation of the original stem. The planting machine has been successfully used on the farm for 25 years. It has been established that after its passage, about 5% of planted plants require additional manual trimming.

Keywords: *raspberries, mechanized planting, root system, spatial orientation of the stem*.

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Самусенко В.И., Кузьменко И.В. Особенность механизированной посадки малины саженцами с асимметричной корневой системой // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 44-52. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-44-52.

For citation: Ozherelev V., Samusenko V., Kuzmenko I. Feature of mechanized planting of raspberry seedling with an asymmetrical root system. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 44-52. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-44-52.

Введение. Одной из наиболее сложных технологических операций в сельском хозяйстве с точки зрения возможности ее механизации является посадка плодовых и ягодных культур. К этой этой-же категории по степени сложности механизации следует отнести и посадку лесных культур. Проблема заключается в том, что посадочный материал (саженцы) имеет на порядок более сложную форму по сравнению с объектами размножения полевых культур. Кроме того, параметры формы саженцев варьируются в широких пределах.

Второй проблемой, свойственной посадке саженцев, является необходимость обеспечения их строгой пространственной ориентации (корневой системой вниз). Вследствие этого максимально усложняется возможность механизированного дозирования подачи саженцев из бункера или накопителя иного типа. Качественно справиться с указанной задачей может только искусственный интеллект, что (с точки зрения реального производства) пока экономически не оправдано.

В связи с этим, технология посадки и ее техническое обеспечение варьируются в широких пределах, начиная от ручной посадки растений в ямку или в специально нарезанную борозду [1 - 3]. С другой стороны, в лесном хозяйстве работают посадочные машины с максимальной степенью автоматизации процесса, оборудованные высаживающими аппаратами различного типа [4, 5]. При этом дальнейшее совершенствование процесса механизированной посадки некоторые авторы представляют в оптимизации кинематики движения захвата с саженцем, описывающим траекторию движения, например, в виде деформированной трохоиды [6].

Что касается садоводства, то (традиционно) использующиеся в этой отрасли посадочные машины базируются на высаживающих аппаратах роторного типа, снабженных захватами, открывающимися и закрывающимися в соответствующих фазах траектории их движения. По сути, конструкция аналогична высаживающему аппарату широко использовавшейся в 1960-1980-х годах рассадопосадочной машины СКН-6А. В частности, высаживающий аппарат такого типа был адаптирован к посадке саженцев в школку в машине СШН-3 [7].

Второй вариант машины предполагал ручную подачу саженца в открытую сошником борозду и его удержание рукой до засыпания корней загортачами. В 1980-е годы такая посадочная машина выпускалась под маркой МПС-1 [7]. В последнее время производству предлагаются модернизированные варианты машины под маркой «Дарья» или МПС-2М [8, 9]. Указанные машины отличаются тем, что, либо работают один сажальщик и один подавальщик, либо один подавальщик обеспечивает работу двух сажальщиков.

Что касается посадки земляники садовой, то все попытки создания машины полного цикла завершились, в конечном итоге, разработкой средства рационализации труда сажальщиков [9, 11].

Оборудование представляет собой навесную платформу с размещением на каждом высаживаемом ряду двух сажальщиков (один за одним, лицом навстречу друг другу). Первый раскладывает рассаду земляники по борозде, а второй вдавливает корни рукой в ее рыхлое дно, подготовленное фрезой, и присыпает их сухой почвой. Одновременно с этим осуществляется и полив растений.

Цель исследований. Специфика механизированной посадки малины заключается, во-первых, в наличии у ее саженца развитой корневой системы сложной формы с широко варьирующими размерными параметрами; во-вторых, малину приходится высаживать, как правило, на относительно небольшой площади, поэтому принятые в лесной отрасли и виноградарстве средства механизации слишком сложны, для того, чтобы механизация посадки с их помощью в небольшом ягодоводческом хозяйстве окупалась.

В связи с этим в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» (Выгоничский район Брянской области) была изготовлена предельно упрощенная по конструкции однорядная посадочная машина на базе секции от рассадопосадочной машины СКН-6А (рисунок 1). Для обеспечения максимального упрощения конструкции диск 7 высаживающего аппарата, заимствованный от рассадопосадочной машины СКН-6А, был закреплен на оси 16, которая смонтирована на раме 2 посредством подшипников скольжения 19. На концах той-же оси смонтированы опорные колеса 15, размер которых был подобран так, чтобы корневая система саженца 12(14) достигала в момент раскрытия зажима 17 дна борозды на глубине *h*. Этому условию соответствуют передние колеса шасси Т-16М.

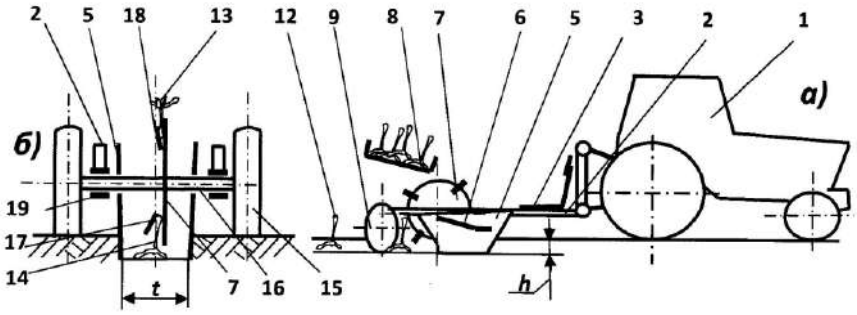


Рисунок 1 - Принципиальная схема машины для посадки малины:
а) – вид сбоку; *б*) – сечение по оси высаживающего аппарата
1 – трактор; 2 – рама; 3 – сиденье; 4 – устройство навесное; 5 – сошник; 6 – подножка; 7 – диск высаживающего аппарата; 8 – бункер с саженцами; 9 – загортачи; 10 – бункер прицепной; 1 – задний борт бункера; 12 – 14 - саженцы; 15 – колесо опорное; 16 – ось диска высаживающего аппарата; 17, 18 – зажимы; 19 – подшипник скольжения

Таким образом, из конструкции исключены все механические передачи и не использованы подшипники качения, что позволило достичь максимального удешевления машины и сделать механизированную посадку плантации экономически обоснованной. При этом была обеспечена высокая производительность труда. Так, 5,2 га были высажены в 1991 году экипажем из двух человек (механизатор и сажальщик) за четыре рабочих дня. С аналогичной эффективностью машина использовалась и при закладке новых плантаций в дальнейшем, на протяжение 25 лет [12, 13].

При эксплуатации посадочной машины присутствовали и некоторые недостатки. В частности, небольшая часть саженцев теряла устойчивость и полностью засыпалась почвой загортачами 9. Это отрицательно отражается на их приживаемости, поэтому требуется дополнительная ручная оправка посаженных растений. Очевидно, что поведение саженца 14 в момент освобождения захвата 17 зависит как от кинематики движения его корневой части, так и от ее формы и размерных параметров. Кроме того, имелись отдельные случаи неполного закрытия корневой системы почвой. В связи с этим потребовались дополнительные, более детальные исследования параметров типичного посадочного материала для формулирования на этой базе рекомендаций по улучшению использования посадочной машины и качества выполнения технологического процесса.

Материалы и методы. Объектом исследования являлась совокупность саженцев малины сорта Гусар. Предметом исследования являлись физико-механические свойства корневой системы саженцев, в частности, ее габариты. Измерению были подвергнуты 40 типичных саженцев. Результаты измерения были обработаны на ПК в программе *EXCEL*. Исходя из потребности анализа работы посадочной машины оценивали асимметричность корневой системы и высоту ее объема *h* (рисунок 2). Кроме того, измеряли ширину *t* совокупности корней, которой должна соответствовать ширина внутренней полости сошника 5 (рисунок 1б).

Асимметричность корневой системы *k* определяли по формуле

$$k = b_1 / b_2 \quad .$$

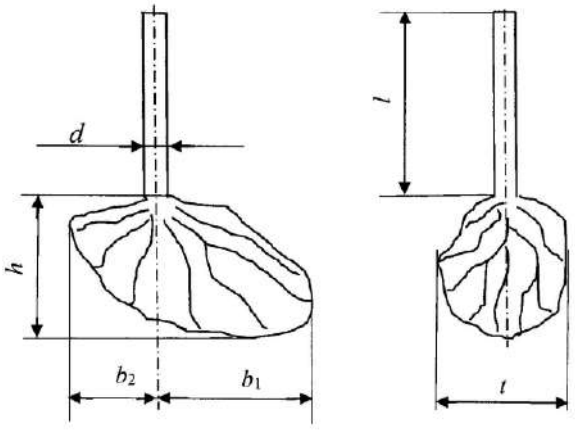


Рисунок 2 - Типичный саженец малины с корневой системой асимметричного типа

Результаты и их обсуждение. Распределение саженцев малины исследуемой выборки представлено на рисунок 3. Оно свидетельствует о том, что почти половина из них имеют практически симметричную корневую систему. При этом для 37,5 % выборки характерна степень асимметрии два и более ($k \geq 2$). Типичный представитель указанной группа изображен на рисунке 2 слева.

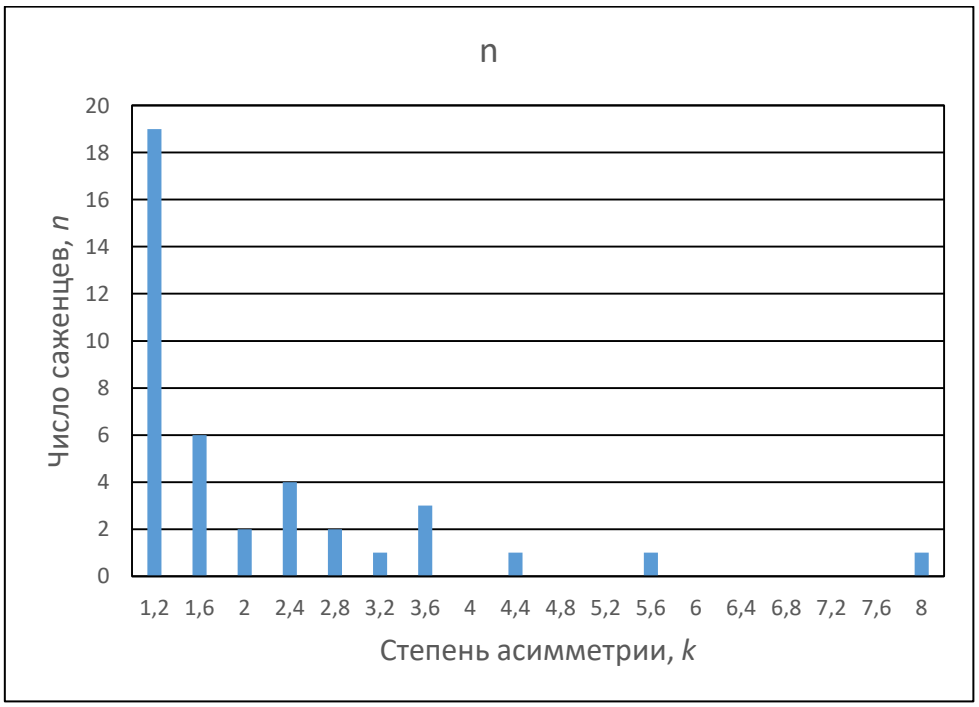


Рисунок 3 - Гистограмма распределения степени асимметрии корневой системы саженцев малины

Следует отметить, что асимметрия прослеживается не только по горизонтали, но и по вертикали. Действительно, высота h правой части корневой системы существенно больше, чем у левой. Такой объемный характер асимметричности обусловлен конкуренцией саженцев в питомнике за пространство для развития своей автономной корневой системы. В результате правая часть ее объема была, скорее всего, обращена к свободному пространству для развития корней, тогда как левая конкурировала либо с соседним саженцем, либо с маточным растением. Аналогичной причиной объясняется и характерное сжатие корневой системы в поперечном направлении, в связи с чем, $t < (b_1 + b_2)$.

Теория высаживающих аппаратов рассадопосадочных машин свидетельствует о том, что для обеспечения оптимального взаимодействия корня с засыпающей его почвой периферийная часть корневой системы саженца должна в абсолютном движении перемещаться по трохоиде, кинематический коэффициент λ которой больше 1 [14]. При этом, однако, корень рассматривается как материальная точка, что в случае с овощной рассадой вполне корректно. Когда речь идет о саженцах малины, то и габаритные размеры корневой системы, и ее упругие свойства не идут в сравнение с рассадой, например, капусты. В связи с этим целесообразно рассмотреть фазы посадки саженцев малины и выявить специфические особенности взаимодействия их корневой системы с почвой, засыпающей образованную сошником борозду. Характерные фазы процесса представлены на рисунке 4.

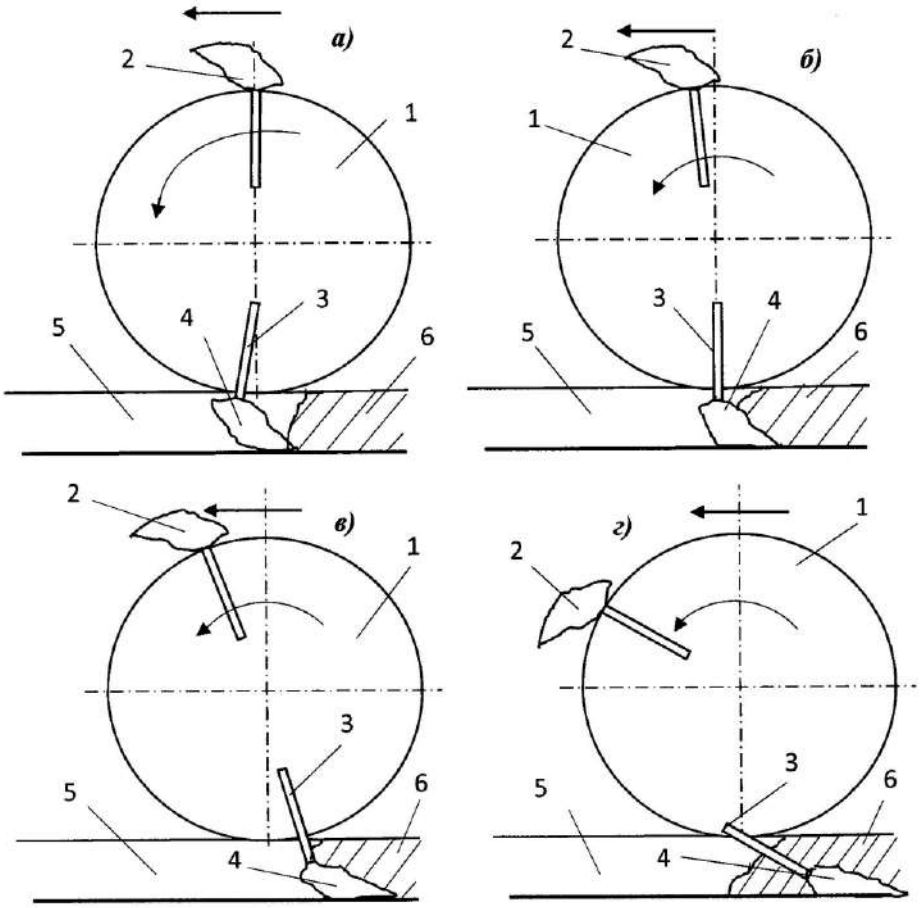


Рисунок 4 - Посадка саженцев малины дисковым высаживающим аппаратом:
а) – *г*) – фазы процесса;
1-высаживающий диск; 2 – саженец в зоне его подачи в высаживающий аппарат; 3 – стебель; 4 – корневая система; 5 – открытая борозда; 6 – засыпанная почвой борозда

Если саженец 2 установлен в соответствующем рассадодержателе диска 1 наиболее развитой частью корневой системы вперед по ходу вращения, то ее взаимодействие с засыпающей борозду 5 почвой 6 должно начаться несколько раньше, чем соответствующий стебель 3 достигнет вертикального положения, то есть диск повернется на 180^0 от исходного (верхнего) положения саженца (рисунок 4а). При дальнейшем перемещении правая часть корневой системы 4 начинает деформироваться в продольном направлении, упираясь в поступающую от загортачей почву 6, а стебель 3 принимает вертикальное положение или даже подвергается упругой деформации вплоть до момента открытия рассадодержателя (рисунок 4б). На следующем этапе процесса силы упругости стебля 3 и корневой системы 4, а также давление поступающей от загортачей почвы 6 опрокидывают саженец, поворачивая его против часовой стрелки, поскольку более слабые и короткие корни, характерные для левой части их объема, не способны обеспечить силовое противодействие, достаточное для компенсации давления поступающей от загортачей почвы (рисунок 4в).

Следует отметить, что поскольку саженцы малины имеют на порядок более обширную корневую систему, чем рассада овощных культур, то характерные для рассадопосадочных машин прикатывающие катки, обрушающие края борозды практически в поперечном направлении, на посадке малины мало эффективны. Вследствие их замены на более эффективные загортачи в виде сферических дисков генерируется существенная продольная сила и движение почвы 6 вперед по ходу машины, что еще больше стимулирует опрокидывание саженцев. В результате комбинированного (вертикального и продольного) воздействия на саженец почвы 6, засыпающей борозду 5, корневая система 4 подвергается дополнительной деформации, а стебель 3 может наклониться в положение, близкое к горизонтальному (рисунок 4г).

Иной характер процесса при закладке саженца 2 в рассадодержатель сориентированным более развитой частью корневой системы в сторону, противоположную направлению вращения высаживающего диска (рисунок 5). В этом случае корневая система 4 начинает контакт с наклонной поверхностью осыпающейся почвы 6 наименее развитой, как правило, наклонной частью и, по сути, надежно опирается на нее (рисунок 5а).

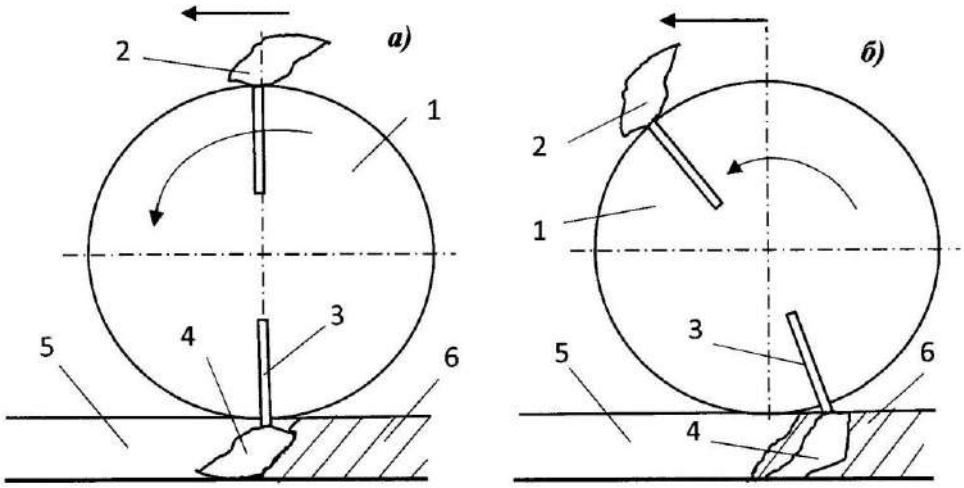


Рисунок 5 - Вариант посадки саженцев малины с асимметричной корневой системой:
а), *б*) – начальная и конечная фазы процесса, соответственно;
1-высаживающий диск; 2 – саженец в зоне его подачи в высаживающий аппарат; 3 – стебель;
4 – корневая система; 5 – открытая борозда; 6 – засыпанная почвой борозда

На очередных этапах процесса также, как и в предыдущем случае, происходит засыпание корневой системы 4 почвой 6, создающей вертикальное и продольное воздействие на саженец, который вследствие этого наклоняется вперед, но не опрокидывается, поскольку опирается левым краем наиболее развитой части корней в дно борозды 5 (рисунок 5б). Как правило, создаваемого

момента силы реакции дна борозды и упругости наиболее развитой части корней оказывается достаточно, чтобы компенсировать опрокидывающий момент, возникающий вследствие вертикального и продольного давления на корневую систему подаваемой загортачами почвы 6.

Что касается посадки саженцев с корневой системой, близкой к симметричному типу, то, как правило (при наличии ее полноценного объема), их опрокидывание не происходит. Многолетний опыт практического использования машины свидетельствует о том, что оправка требуется не более чем 5% саженцев. При этом специфика малины состоит в том, что урожай дают побеги замещения и корневые отпрыски, которые должны вырасти в следующем году. Что касается наклонной ориентации стеблей посадочного материала, то это не влияет ни на приживаемость растений, ни на их побегообразующую способность. То есть, в отличие от посадки лесных и плодовых культур пространственная ориентация стебля саженца малины не является значимым показателем качества посадки. Как правило, для нормального развития растения достаточно, чтобы над поверхностью почвы оставалась хотя бы одна почка стебля.

Выводы.

1. Около половины саженцев малины имеют корневую систему с минимальной степенью ее асимметрии. При этом 35,8% посадочного материала имеет более чем двукратную степень асимметрии корневой системы. При закладке в рассадодержатель саженцев последнего типа следует ориентировать их корневую систему более развитой частью в сторону, противоположную направлению вращения высаживающего диска.
2. При машинной посадке малины последующей ручной оправки требуют не более 5% саженцев. Наклонная ориентация стеблей у значительной части основного массива саженцев не влияет ни на их приживаемость, ни на побегообразующую способность.

Многолетний опыт практического использования посадочной машины в фермерском хозяйстве свидетельствует о том, что максимальное упрощение ее конструкции не отражается негативно на качестве выполнения технологического процесса. Машина окупаема даже на плантации малины площадью 3 – 4 га.

Список источников

1. Лазарев А.М. Малина: посадка, сорта и уход // Защита и карантин растений. 2022. № 10. С. 34-38.
2. Ибраев А.С. Техническое средство для устройства борозд под посадку плодово-ягодных культур // Агропродовольственная политика России. 2020. № 1-2. С. 17-20.
3. Способ закладки насаждений ягодных кустарников: пат. 2189711 Российская Федерация №2000105087/13 / Гурин А.Г., Яшин И.С., Гурина Е.Г.; заявл. 01.03.2000; опубл. 27.09.2002. Бюл. 27. 3с.
4. Драпалюк М.В., Стасюк В.В., Зеликов В.А. Новые конструкции универсальных лесопосадочных машин для посадки сеянцев с открытой и закрытой корневой системой // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 4 (44). С. 112-123.
5. Бырдин П.В., Мишуков А.А. Анализ лесопосадочных машин для посадки сеянцев в механизированных питомниках // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 1. С. 51-55.
6. Бухтояров Л.Д., Малюков С.В., Лысыч М.Н. Кинематика рабочего органа посадочной машины, предназначенного для посадки сеянцев с открытой и закрытой корневой системой // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 2 (77). С. 136-144.
7. Аниферов Ф.Е., Ерошенко Л.И., Теплинский И.З. Машины для садоводства. 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленигр. отделение, 1990. 304с.
8. Посадочная машина (Дарья) [электронный ресурс] Код доступа https://www.proftehnika.ru/catalog/for-planting-darjya/ дата обращения 25.11.23.
9. Машина для посадки саженцев МПС-2М [электронный ресурс] Код доступа https://ru.sellbuy.zone/physical_product/539694-mashina-dlya-posadki-sazhencev-mps-2m.html (Дата обращения 25.11.23).

10. Платформа для ручной уборки урожая, посадки и ухода за низкорастущими культурами: пат. 2415550 Российская Федерация №2009130246/21 / Чухляев И.И., Утков Ю.А., Цымбал А.А., Бычков В.В., Филиппов Р.А.; заявл. 07.08.2009; опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10. 4с.

11. Шевкун В.А., Глушанков Р.Е. Машины ФГБНУ ВСТИСП для посадки и защиты низкорослых садовых культур // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 4 (25). С. 180-184.

12. Ожерельев В.Н. Механизация посадки малины в крестьянском хозяйстве «Ягодное» // Садоводство и виноградарство. – 1992. - №8. – С. 13 – 15.

13. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины [Текст]: дисс. … докт. с.-х. наук: 05.20.01 / Ожерельев Виктор Николаевич. – Брянск, 2001. 312с.

14. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ие), 1977. 528с.

Reference

1. Lazarev A.M. Malina: planting, varieties and care // Zashhita i karantin rastenij. 2022. № 10. S. 34-38.

2. Ibraev A.S. Technical means for making furrows for planting fruit and berry crops // Agroprodovol`stvennaya politika Rossii. 2020. № 1-2. S. 17-20.

3. Method of planting berry bushes: pat. 2189711 Russian Federation №2000105087/13 / Gurin A.G., Yashin I.S., Gurina E.G.; zayavl. 01.03.2000; opubl. 27.09.2002. Byul. 27. 3s.

4. Drapalyuk M.V., Stasyuk V.V., Zelikov V.A. New designs of universal forest planting machines for planting seedlings with open and closed root systems // Lesotexnicheskij zhurnal. 2021. T. 11. № 4 (44). S. 112-123.

5. By`rdin P.V., Mishukov A.A. Analysis of forest planting machines for planting seedlings in mechanized nurseries // Trudy` Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvenny`e i inzhenerny`e nauki. 2018. T. 1. S. 51-55.

6. Buxtoyarov L.D., Malyukov S.V., Ly`sy`ch M.N. Kinematics of the working body of a planting machine, designed for planting seedlings with open and closed root systems // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. T. 16. № 2 (77). S. 136-144.

7. Aniferov F.E., Eroshenko L.I., Teplinskij I.Z. Mashiny` dlya sadovodstva. 2-e izd. pererab. i dop. L.: Agropromizdat. Lenigr. otdelenie, 1990. 304s.

8. Landing machine (Daria) [website] Kod dostupa https://www.proftehnika.ru/catalog/for-planting-darjya/ data obrashheniya 25.11.23.

9. Machine for planting seedlings MPS-2M [website] Kod dostupa https://ru.sellbuy.zone/physical_product/539694-mashina-dlya-posadki-sazhencev-mps-2m.html Data obrashheniya 25.11.23.

10. Platform for manual harvesting, planting and care of low-growing crops: pat. 2415550 Rossijskaya Federaciya №2009130246/21 / Chuxlyaev I.I., Utkov Yu.A., Cymbal A.A., By`chkov V.V., Filippov R.A.; zayavl. 07.08.2009; opubl. 10.04.2011. Byul. № 10. 4s.

11. FGBNU VSTISP machines for planting and protecting low-growing garden crops // Innovacii v sel`skom xozyajstve. 2017. № 4 (25). S. 180-184.

12. Ozherel`ev V.N. Mechanization of raspberry planting at the Yagodnoye farm // Sadovodstvo i vinogradarstvo. – 1992. - №8. – S. 13 – 15.

13. Ozherel`ev V.N. Technological processes and means of mechanization of raspberry production [Text]: diss. … dokt. s.-x. nauk: 05.20.01 / Ozherel`ev Viktor Nikolaevich. – Bryansk, 2001. 312s.

14. Lur`e A.B., Grombchevskij A.A. Calculation and design of agricultural machines. L.: «Mashinostroenie» (Leningr. otd-ie), 1977. 528s.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор с.-х. наук, профессор; В.И. Самусенко – к.т.н,, доцент; И.В. Кузьменко – к.т.н., доцент.

Information about the authors

V. Ozherelyev - Doctor of Agricultural Sciences, professor; V. Samusenko – candidate of technical sciences; I. Kuzmenko – candidate of technical sciences.

Вклад авторов: В.Н. Ожерельев – конструирование машины, написание текста статьи; В.И. Самусенко – организация и выполнение эксперимента; И.В. Кузьменко – обработка результатов, участие в оформлении статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: V. Ozherelev - designing the machine, writing the text of the article; V. Samusenko – organization and execution of the experiment. I. Kuzmenko – processing of results, participation in the preparation of the article.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.352.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-53-61

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НЕСЕМЕННОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР

Денис Геннадьевич Фадеев [1]***, Дмитрий Александрович Шишин*** [2]***,***
Сергей Владимирович Прокофьев [3]
[1,2,3] *Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия*
[1] d.fadeev@fnclk.ru, https://orcid.org/0000-0003-0805-6650,
[2] d.shishin@fnclk.ru
[3] s.prokofiev@fnclk.ru

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

Реферат. *На сегодняшний день остро стоит вопрос переработки несеменной части урожая (НЧУ) лубяных культур - льна масличного и конопли. Цель исследования**:** изучить процесс измельчения волокнистых растительных материалов и разработка измельчителя НЧУ лубяных культур. Поиск рациональной конструкции измельчителя-разбрасывателя НЧУ во многом определяется предъявляемыми к нему требованиями: качественном измельчении стеблей оставшихся в поле после очеса семян, высокой производительностью, минимальными энергозатратами. Проведен анализ известных конструкций ножей, применяемых для измельчения растительных материалов. С учетом наличия в стеблях лубяных культур древесины и волокон, а также их физико-механических свойств определена рациональная форма ножей для разрабатываемого измельчителя. Определено, что нож должен быть шарнирно закреплённым объемным, обеспечивать разрушение стеблей в продольном и поперечном сечении, иметь криволинейное лезвие противореза и комбинированную режущую часть активного ножа, позволяющую выполнять «скользяще-пилящее» воздействие на материал. Экспериментальными исследованиями определены усилия «скользяще-пилящего» резания одиночного и группы стеблей. Наибольше усилие резания соответствуют стеблям масличного льна в полной фазе спелости семян, единичном стебле 2,29 Н на группах стеблей 5,32 Н ...10,1 Н. Установлено возрастание усилия резания при изменении фазы спелости семян что связано с одревеснением стеблей, что увеличивает усилия резания на 45...125%. С учетом проведенных исследований разработана конструкторская документация для изготовления в 2024 г. макетного образца измельчителя-разбрасывателя НЧУ.*

Ключевые слова*: измельчение, измельчитель, нож, стебель, масличный лен, конопля, усилие резания, спелость семян.*

ANALYSIS OF THE GRINDING PROCESS OF THE NON-SEED PART OF THE CROP BAST CROPS

Denis Fadeev [1]***, Dmitry Shishin*** [2]***, Sergey Prokofiev*** [3]
[1,2,3] *Federal Scientific Center of Bast Cultures, Tver, Russia*
[1] d.fadeev@fnclk.ru, https://orcid.org/0000-0003-0805-6650,
[2] d.shishin@fnclk.ru
[3] s.prokofiev@fnclk.ru

Abstract. *The issue of processing the non-seed part of the harvest (NSP) of bast crops - oil flax and hemp - is acute today. Purpose of the study: to study the process of grinding fibrous plant materials and the development of a NSP grinder for bast crops. The search for a rational design of the NSP chopper-spreader is largely determined by the requirements placed on it: high-quality crushing of the stems*

remaining in the field after combing the seeds, high productivity, and minimal energy consumption. An analysis of known designs of knives used for grinding plant materials has been carried out. The rational shape of the knives for the shredder under development was determined taking into account the presence of wood and fibers in the stems of bast crops, as well as their physical and mechanical properties. It was determined that the knife should be hinged and volumetric, ensure the destruction of stems in the longitudinal and cross sections, have a curved counter-cutting blade and a combined cutting part of the active knife, allowing for a "sliding-sawing" effect on the material. Experimental studies have determined the forces of "sliding-sawing" cutting of single and group of stems. The highest cutting force corresponds to oil flax stems in the full phase of seed ripeness, a single stem 2.29 H on groups of stems 5.32 N ... 10.1 H. An increase in cutting force was established with a change in the phase of seed ripeness, which is associated with lignification of the stems, which increases cutting forces by 45...125 %. Taking into account the research carried out, design documentation has been developed for the production in 2024 of a prototype of the NSP chopper-spreader.

Keywords: *grinding, chopper, knife, stem, oilseed flax, hemp, cutting force, ripeness of seeds*.

Для цитирования: Фадеев Д.Г., Шишин Д.А., Прокофьев С.В. Анализ процесса измельчения несеменной части урожая лубяных культур // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 53-61. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-53-61.

For citation: Fadeev D, Shishin D., Prokofiev S. Analysis of the grindig process of the non-seed part of the crop bast crops. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 53-61. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-53-61.

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

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

Введение.

Анализ существующих отечественных и зарубежных измельчителей-разбрасывателей несеменной части урожая (НЧУ) показал, что они применяются для уборки трав и соломистой части зерновых [1-3]. Основной их недостаток заключается в невозможности применения на уборке НЧУ лубоволокнистых культур из-за содержания волокон в стеблях льна масличного и конопли.

Цель исследования**:** изучить процесс измельчения волокнистых растительных материалов и разработка измельчителя НЧУ лубяных культур.

Материалы и методы.

Качество выполнения технологического процесса и энергозатраты зависит от многих факторов: кинематический режим работы измельчителя, равномерность подачи массы НЧУ, ее влажность, вид НЧУ (валок или прямостоящие стебли) и т.д. Выбор основного рабочего органа измельчителя – ножей ротора и их конструкционных параметров, которые определяют качество измельчения очесанных стеблей, их распределение по полю и затраты мощности энергосредства. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Ножи измельчителя предназначены для безподпорного рубящего или скользящего резанья и транспортировки НЧУ [4]. Схематические данные режимов резания ножом представлены на рисунке 1.

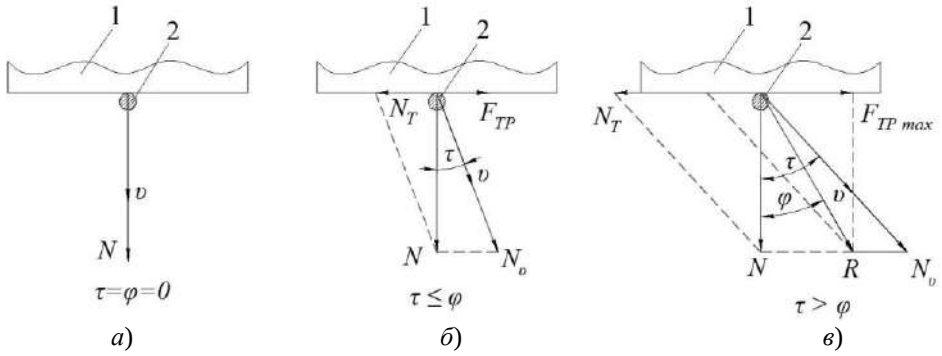


Рисунок 1 – Режимы резания лезвием:
а-нормальное резание (рубка); *б*-косое резание, без скольжения;
в- скользящее резание
1- нож; 2- стебель;

В первом варианте (рисунок 1, *а*) нож 1 давит на стебель 2 по нормали силы резания N, совпадающей с вектором скорости υ, до его разрушения. Второй вариант (рисунок 1,*б*) описывает ситуацию, при которой угол τ наклона вектора скорости υ не превышает угла трения φ материала ножа о перерезаемый стебель, при этом сила N_T уравновешивается силой F_{TP} и стебель 2 толкается силой N_υ до полного разрушения. На рисунок 1*в* показано скользящее резание, когда $\tau > \varphi$ и максимальная сила $F_{TP\ max}$ больше N_υ. Разрушение стебля 2 в этом случае будет при его перемещении в направлении силы R.

В реальных условиях чаще встречаются промежуточные виды среза: продольно-поперечный, поперечно-боковой и продольно боковой. Это вызвано рядом причин: неодинаковым наклоном стеблей к плоскости среза, их различной высотой, неравномерностью подачи измельчающего материала, неровностями почвы и т.д.

В результате системного анализа рабочих органов измельчителей, нами была предложена классификация ножей измельчителей по основным наиболее значимым конструктивным, технологическим и качественным признакам, представленная на рисунке 2.

Рисунок 2 – Классификация ножей измельчителей

Изготавливаются ножи измельчителей из хромованадиевой стали с вольфрам-карбидным покрытием, отличаются разнообразием форм и размеров. От вида перерабатываемого материала зависит толщина ножей: для тонкостебельных сухих – тонкие ножи, грубых толстостебельных и влажных – большей толщины. Ножи на продольных сторонах имеют заточенные кромки, составляющий ¾ или всю длину ножа. Для ножей толщиной полотна менее 4 мм применят одностороннюю симметричную и ассиметричную заточки, для более толстых ножей возможна двухсторонняя заточка. Для усиления и облегчения ножей в их полотне формируются ребра жесткости и продольные отверстия. Для увеличения рабочего ресурса ножей их лезвия упрочняют твердосплавными напайками, армируют сормайтом, с помощью лазера наносят специальные упрочняющие покрытия [5]. Также срок службы ножей можно увеличить применением двухлезвийных и оборотных ножей. В случае износа или затупления одной из сторон их переворачивают. В зависимости от технологических требований, предъявляемым к измельченным НЧУ, могут применятся ножи с зубчатой насечкой, безлейзвийные ножи. Безлейзвийнные ножи применяются в случаях измельчения пересушенной массы НЧУ, обработке толстостебельных и короткостебельных культур. Зубчатые ножи менее энергозатратны, позволяют формировать «измочаленные» концы НЧУ, что ускоряет скорость перегнивания и разложения растительных остатков.

По назначения ножи делятся на неподвижные, применяемые как противорежущие сегменты и активные, которые вращаются вместе с ротором измельчителей. В зависимости от технологии, ножи на роторе измельчителя могут устанавливаться жестко неподвижно или с возможностью качания. Активные, шарнирно установленные ножи также называют молотками.

Применение активных ножей и противорежущих сегментов криволинейной формы (эллиптической, эксцентриковой, дугообразной, криволинейной, логарифмической, архимедовой спирали и т.д.) обеспечивает наилучший процесс резания.

Для придания ножам многофункциональности, их форма может быть объемной. Так С- и Т-образные ножи, в поперечном сечении, не только активно измельчают НЧУ, но и до измельчают и продольно расщепляют стебли. Применение усеченных П- и Г-образных в поперечном сечении ножей кроме измельчения, создают дополнительный воздушный поток, который придает дополнительное ускорение измельченным частицам. Разворот плоскости поперечного сечения ножа по осевой линии на угол до 8° или придание ей винтообразной формы позволяет создавать мощный турбулентный воздушный поток, который способствует более широкому и равномерному распределению измельчённым растительным остаткам по полю.

Проведенный обзор существующих конструкций рабочих органов измельчителей показал, что наиболее эффективны ножи с шарнирным типом крепления, при этом снижаются нагрузки на валы ротора и перегрузки барабана при увеличении подачи материала, увеличивается срок службы ножей.

Результаты и обсуждение. На рисунке 3 представлена виды ножей с шарнирным типом крепления. На рисунок 3, а, б, в, представлены ножи с шарнирным креплением; а – с одним лезвием, б – с двумя лезвиями, в – без лезвий молотковидной формы.

Применение спаренных ножей уменьшает количество дисков на барабане и соответственно его массу. Наряду с этим ножи с одним лезвием проще в производстве и надежны в эксплуатации, т.к. обеспечивают использование всех четырех рабочих кромок. Безлезвийные ножи работают в паре с противорежущими пластинами.

На несущем диске ножи устанавливаются – ассиметрично (рисунок 3, г) и симметрично (рисунок 3, д), при этом симметричная установка более предпочтительна [7]. Независимая подвеска и жесткая связь ножей с двумя лезвиями (рисунок 3, е) увеличивает их момент инерции чем обеспечивает качество измельчения грубых стеблевых остатков.

По расположению относительно оси барабана известны параллельное (рисунок 3, ж) и перпендикулярное расположение (рисунок 3, з), причем второе более рационально. По возможности движения вокруг оси подвеса ножи выполняются с возможностью поворота на заданный угол (рисунок 3, и) и с круговым вращением (рисунок 3, к) [7] причем круговое вращение обеспечивает безударную работу ножей об ограничители. Кроме этого, при круговом вращении возможно выключение части ножей путем их поворота в зону диска и фиксации.

Для создания дополнительного воздушного потока ножи выполняются с лопатками (рисунок 3, л) [8]. Ножи с дополнительными лопатками применяются в основном для одновременного измельчения и транспортирования стебельной массы в транспортные средства. При этом такие ножи могут выполняться с лопатками по всей длине, режущих кромок или только на участке, не входящем в противорежущее устройство.

По расположению центра тяжести ножи выполняют со смещением его к периферии ножа (рисунок 3, м) и с расположением в зоне геометрической точки симметрии ножа (рисунок 3, н) [9 10].

При смещении центра тяжести ножа преследуется цель улучшения его режущих свойств. По форме заточки лезвий ножи выполняют с односторонней (рисунок 3, о) и двухсторонней (рисунок 3, п) заточкой. Нож с односторонней заточкой проще в изготовлении, однако в процессе работы испытывает односторонние изгибающие усилия и кручение. Нож с двухсторонней заточкой обладает повышенной устойчивостью в работе [7-9].

Для компенсации увеличения угла защемления в режущей паре из-за маятникового эффекта шарнирных ножей, они могут изготавливаться трапецеидальной формы (рисунок 3, м) [10-12]. Для сохранения такого же эффекта при измельчении крупностебельных культур режущая кромка молотков делается ступенчатой (рисунок 3, р).

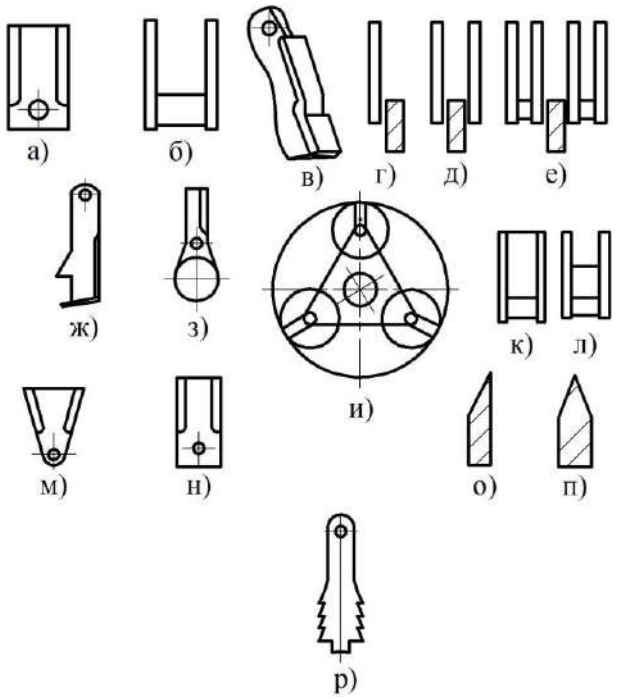


Рисунок 3 – Виды ножей с шарнирным креплением

Из проведенного анализа ножи для измельчения НЧУ льна масличного и конопли должны быть объемными, шарнирно закрепленные, обеспечивать разрушение стеблей в продольном и поперечном сечении, иметь криволинейное лезвие противореза, и комбинированную режущую часть ножа, позволяющую осуществлять «скользяще-пилящее» воздействие. Такой тип ножей позволит повысить эффективность и качество выполнения технологических операций и снизить энергоемкость всего процесса.

В тоже время процесс измельчения (резания) оставшихся в поле после уборки семян стеблей льна масличного и конопли отличается от процесса измельчения стеблей зерновых и зернобобовых культур. Это вызвано строением стебля лубяных культур (льна-долгунца, масличного льна, технической конопли и др.) который в упрощенном виде состоит их древесины и

волокна. Исследования процесса резания масличных культур отражены в работах [13-15], где определено усилие необходимое на резание единичных стеблей в зависимости от сорта льна и технической конопли. В тоже время уборка семенной части масличных культур проводится в стадии конца желтой или полной спелости. В связи с этим нами были проведены дополнительные исследования по определению усилия резания группы стеблей льна масличного в зависимости от фазы спелости семян.

Для проведения эксперимента использовали экспериментальную установку изготовленную в 2022году [1], доработанную датчиками, измеряющими усилие резания стеблей. Исследования проводили на стеблях масличного льна сорта ЛМ 98: густота стеблестоя 572 *ст/м*^{2}, средний диаметр стеблей 1,95 *мм*, средняя общая длина стеблей после очеса семенных коробочек 49 *см*. Для проведения эксперимента стебли заготавливали теребленнем руками в ранней желтой, желтой и полной спелости семян с последующим очесом на молотилке МЛ-2,8П. Влажность стеблей в опытах составляла 18 - 42%, повторность опытов пятикратная. При проведении эксперимента стебли зажимались между двумя деревянными пластинами под углом 25º к плоскости резания ножа, тем самым эмитировалось «скользяще-пилящее» воздействие ножа на стебель (группу стеблей). После каждого реза зажатые стебли поднимались на 0,072 *м*, тем самым они резались на отрезки по 0,072 *м* пять раз.

В таблице 1 показаны средние значения экспериментальных данных усилия резки одиночного и группы стеблей при переработке несеменной части льна масличного в зависимости от спелости семян.

Таблица 1 – Усредненные результаты усилия резания НЧУ (льна масличного)

№ п/п	Спелость льна	Влажность, %	Длина стеблей, мм	Усилие резания, Н		
				1 стебель	6 стеблей	12 стеблей
1	ранняя желтая	42,0	49	0,85	3,28	3,32
2	желтая	31,0	47	1,61	4,71	7,87
3	полная	18,0	51	2,29	5,32	10,1

Как видно из таблицы 1 наибольше усилие резания соответствуют стеблям масличного льна в полной фазе спелости семян. Это просматривается как на единичном 2,29 *Н*, так и на группах стеблей 5,32 *Н* для 6 стеблей и соответственно 10,1 *Н* для 12 стеблей. Кроме этого, возрастание усилия резания прослеживается при изменении фазы спелости семян. При этом влажность стеблей уменьшается, то есть происходит одревеснение стеблей и усилия резания увеличиваются на 45...125%.

Для проверки полученных данных в полевых условиях 2024г, разработана конструкторская документация для изготовления в 2024 г. макетного образца измельчителя-разбрасывателя НЧУ (рисунок 4).

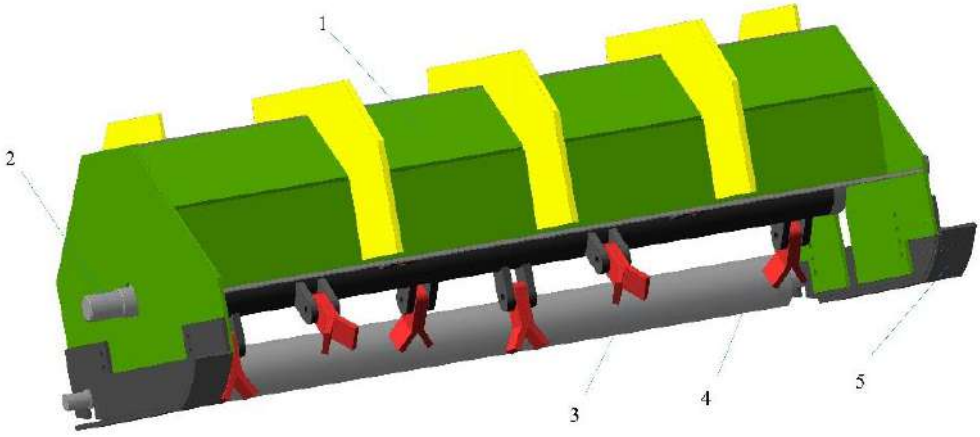


Рисунок 4 – Общий вид макетного образца НЧУ

Измельчитель-разбрасыватель НЧУ состоит из корпуса 1, в котором установлены вал ножей 2. К валу 2 шарнирно крепятся ножи с комбинированной режущей частью осуществляющие «скользяще-пилящее» резание. На поверхность поля макетный образец НЧУ опирается салазками 5 и прикатывающим валом 3.

Выводы:

Из анализа конструкций и типов ножей для измельчения НЧУ льна масличного и конопли определены основные требования к конструкции ножей для измельчения НЧУ льна масличного и конопли, которая позволит повысить эффективность и качество выполнения технологических операций при снижении энергозатрат на 10%.

Экспериментальными исследованиями определены усилия резки одиночного и группы стеблей льна масличного в зависимости от спелости культуры 0,85...10,0 Н.

Разработана конструкторская документация для изготовления в 2024 г. макетного образца измельчителя-разбрасывателя НЧУ.

Список источников

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

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

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

4. Кленин, Н. И.Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: [Учеб. для с.-х. вузов по спец. "Механизация сел. хоз-ва"] / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Колос, 1994. - 750, с.

5. Шаповалов, В.И. Исследования упрочнения самозатачивания ножей измельчителя стебельчатых продуктов / В.И. Шаповалов, Я.И. Нежинский // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – Луганськ, 2012. – № 12. – Ч. 1. – С. 25-36.

6. Мажугин Е. И. Механико-технологические основы совершенствова-ния косилок для мелиорированных земель и лугопастбищных уго-дий: монография/ Е. И. Мажугин [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – 247 с. ил.

7. Ягельский, М.Ю. Типы и классификация ножей измельчителей-разбрасывателей соломы зерноуборочных комбайнов / М.Ю. Ягельский, С.А. Родимцев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2017. – No1(52). - С.114-122.

8. Смирнов Н.Н. Обоснование параметров и режимов работы технического средства для подбора и измельчения соломы из валков: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 /* Н.Н. Смирнов. – Киров – Йошкар-Ола. 2002. – 145 с.

9. Присяжная, И.М. Совершенствование процесса измельчения и разбрасывания соломы при комбайновой уборке сои: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.М. Присяжная. – Благовещенск. 2010. – 158 с.

10. Вольвак, С.Ф. Исследование измельчающих аппаратов незерновой части урожая зерновых культур с шарнирной подвеской ножей на барабане / С.Ф. Вольвак, В.И. Шаповалов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2015. – №3(7). – С. 9-16.

11. Morozova, N.Yu. THEORETICAL ASPECTS OF THE PROCESS GRINDING STALK FEED CHOPPER WITH A DISK WORKING BODY / Tumanova M.I., Frolov V.Yu, Sysoev D.P., Morozova N.Yu./ Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2019. Т. 6. № 6. С. 134-140.

12. Frolov, V.Yu, Sarbatova N., Kuznetsov V., Strigunova N.Increasing efficiency of process of stem feed grinding by working tool of hammer-segment type // E3S Web of Conferences 273(3):07035/ doi: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127307035

13. Заплетников, И. Н. Измельчение растительного сырья: монография / И. Н. Заплетников, А. В. Шеина. — Харьков: Водный спектр Джи-Ем-Пи, 2016. — 205 с.

14. Ягелюк, С.В. Зусилля різання біомаси олійних луб'яних культур з урахуванням вологості/ С.В. Ягелюк, В.Ф. Дідух, Т.Н. Артюх, О.В. Голій //: зб. наук. ст. // Сільськогосподарські машини. Луцьк. 2021. Вип. 46. С. 124–132. doi: https://doi.org/10.36910/acm.vi46.496

15. Kemper, S. Analisis of the overlayind cut in rotary mowers / S. Kemper, Th. Lang, L. Frerichs. // Landtechnik. Agricultural Engineering. – 2012. – № 5. P. 346-349.

References

1. Fadeev, D.G. To the choice of the type of chopper of the non-seed part of the crop [Text]/ D.G. Fadeev, D.A. Shishin, S.V. Prokofiev, // Science in Central Russia.-2022.-№6(60).- Pp. 7-18. Doi: https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-7-18

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

3. Yagelsky, M.Yu. Development trends and classification of straw grinders-spreaders of modern combine harvesters / M.Yu. Yagelsky, S.A. Rodimtsev // Bulletin of the Orel State Agrarian University. - 2016. - №3(60). - P.73-87.

4. Klenin, N. I.Agricultural and reclamation machines: [Studies for agricultural universities on spec. "Mechanization of rural households"] / N. I. Klenin, V. A. Sakun. - 3rd ed., reprint. and add. - Moscow : Kolos, 1994. - 750, p.

5. Shapovalov, V.I. Studies of strengthening of self-sharpening of knives of a chopper of stalked products / V.I. Shapovalov, Ya.I. Nezhinsky // Visnik of the Ukrainian National University im.V.Dal. – Lugansk, 2012. – No. 12. – Part 1. – pp. 25-36.

6. Mazhugin E. I. Mechanical and technological bases of improvement of mowers for reclaimed lands and pasture lands: monograph/ E. I. Mazhugin [et al.]. - Gorki: BGSHA, 2017. - 247 p. : il.

7. Yagelsky, M.Yu. Types and classification of knives of shredders-straw spreaders of combine harvesters / M.Yu. Yagelsky, S.A. Rodimtsev // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2017. – №1(52). - P.114-122.

8. Smirnov N.N. Justification of parameters and modes of operation of technical means for the selection and grinding of straw from rolls: dis.... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01 /* N.N. Smirnov. – Kirov – Yoshkar-Ola. 2002. – 145 p.

9. Juror, I.M. Improvement of the process of shredding and spreading straw during combine harvesting of soybeans: dis.... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01 / I.M. Juror. – Blagoveshchensk. 2010. – 158 p.

10. Volvak, S.F. Research of grinding machines of the non-grain part of the grain crop with a hinged suspension of knives on a drum / S.F. Volvak, V.I. Shapovalov // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2015. – №3(7). – Pp. 9-16.

11. Morozova, N.Yu. THEORETICAL ASPECTS OF THE PROCESS OF GRINDING STEM FEEDS WITH A CHOPPER WITH A DISK WORKING ORGAN / Tumanova M.I., Frolov V.Yu., Sysoev D.P., Morozova N.Yu./ Scientific Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2019. Vol. 6. No. 6. pp. 134-140.

12. Frolov V.Yu., Sarbatova N., Kuznetsov V., Strigunova N.Improving the efficiency of the rod feed grinding process with a hammer-segment type working tool // E3S Web of Conferences 273(3):07035/ doi: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127307035

13. Zapletnikov, I. N. Grinding of vegetable raw materials: monograph / I. N.

Zapletnikov, A.V. Sheina. — Kharkiv: Water spectrum of Gi-Em-Pi, 2016. — 205 p.

14. Yagelyuk, S. V. Zusillya rizannya biomasi lub'yanikh oliynikh kultury z urakhuvannyam Vologda/ S.V. Yagelyuk, V.F. Didukh, T.N. Artyukh, O.V. Goliy //: zb. nauk. art. // Silskogospodarski mashini. Hatch. 2021. Bun. 46. C. 124-132. doi: https://doi.org/10.36910/acm.vi46.496

15. Kemper, S. Analysis of the upper cut in rotary mowers / S. Kemper, T. Lang, L. Frerichs. // Landtechnik. Agricultural machinery. - 2012. – No. 5. pp. 346-349.

Информация об авторах

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

Information about the authors
D. Fadeev – Candidate of Technical Sciences, leading researcher; D. Shishin - researcher.

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

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

Поступила в редакцию (Received): 20.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.347.3.012.3.001.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-62-70

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРИВОДА МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН, ТИПА «КУБАНЬ-ЛК1»

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

Автор ответственный за переписку: Евгений Юрьевич Евсеев, evseev.evgeniy.1995@mail.ru
Corresponding author: Evgeny Evseev, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Реферат. *Описаны вопросы оценки энергетических показателей работы усовершенствованного привода многоопорной дождевальной машины (ДМ), работающей в движении по кругу «Кубань-ЛК1». Отмечается, что для повышения коэффициента полезного действия приводов тележек ДМ и повышения скорости их движения необходима разработка мотор-редукторов, обладающих высоким передаточным отношением. Наиболее перспективным вариантом, представляется использование энергоемких мотор-редукторов, оборудованных волновой передачей. В ходе теоретических исследований, дано обоснование использования высокоэффективного зубчатого зацепления. Указывается, что на сегодняшний день, в конструкции машин подобного типа применяются колесные редуктора с малоэффективным червяным зацеплением. Вследствие чего, в трансмиссии ходовых систем образуется блокированная связь, а также неравномерность окружных скоростей колес, что приводит к снижению К.П.Д. работы мотор-редукторов. Исключить подобные отрицательные качества работы ДМ «Кубань-ЛК» возможно ее оснащением мотор-редукторами с волновой передачей. Экспериментальные исследования машины проводились в АО «Озеры» Коломенского района Московской области на макетном образце 8 тележечной электрифицированной многоопорной ДМ «Кубань-ЛК1». На четырех тележках (№2, №3, №7 и №8) были установлены, на каждом колесе, мотор-редуктора с волновой передачей. Производился полив картофеля. Агрофон – поле, засаженное картофелем. Уклон поля вдоль водопроводящего трубопровода и по ходу движения тележек не превышал ± 0.01. В результате проведения исследований были получены эксплуатационные показатели, представленные таблице 1, которые позволили сделать следующие выводы: потребление мощности опорной тележкой с модернизированным приводом при работающих; двух электродвигателях, составляет 300 – 370 Вт. При тех же условиях серийный привод потребляет 630 – 670 Вт. Таким образом, происходит экономия мощности за счет повышения К.П.Д. привода (η) с 0.5 до 0.8 и его разблокирование, примерно, в среднем, в 1.8 раза.*

Ключевые слова: *дождевальная машина «Кубань-ЛК1»; мотор-редуктор; волновая передача; коэффициент полезного действия; экспериментальные исследования; мощность привода*.

EVALUATION OF ENERGY INDICATORS OF THE IMPROVED DRIVE OF MULTI-SUPPORT SPRINKLERS, SUCH AS «KUBAN-LK1»

Anatoly Ryazantsev [1]***, Alexander Zazulya*** [2]***, Evgeny Evseev*** [3]***, Alexey Antipov*** [4]
[1]*All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga», Moscow region, Kolomenskoye district, village Raduzhny, Russian Federation*
[1] ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]*All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation*
[2]zazulja_an@rambler.ru
[3, 4] *State Social and Humanitarian University, Moscow region, Kolomna, Russian Federation*
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[4]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Abstract. *The issues of assessing the energy performance of the improved drive of a multi-support irrigation machine (DM) operating in motion in the Kuban-LK1 circle are described. It is noted that in order to increase the efficiency of DM cart drives and increase the speed of their movement, it is necessary to develop geared motors with a high gear ratio. The most promising option seems to be the use of energy-intensive gearmotors equipped with wave transmission. The rationale for the use of highly efficient gearing is given through theoretical studies. It is indicated that today, in the design of machines of this type, wheel gears with ineffective worm gears are used, as a result of which a blocked connection and uneven peripheral wheel speeds are formed in the transmission of running systems, which leads to a decrease in efficiency. operation of gear motors. It is possible to eliminate such negative qualities of the operation of the Kuban-LK DM by equipping it with gearmotors with wave transmission. Experimental studies of the machine were carried out at Ozery JSC, Kolomensky district, Moscow region, on a prototype of an 8-bogie electrified multi-support DM "Kuban-LK1". On four trolleys (No. 2, No. 3, No. 7 and No. 8), gear motors with wave transmission were installed on each wheel. Potatoes were watered. Agricultural background is a field planted with potatoes. The slope of the field along the water supply pipeline and in the direction of movement of the carts did not exceed ± 0.01. As a result of the research, operational indicators were obtained, presented in Table 1, which allowed us to draw the following conclusions: power consumption of the support trolley with a modernized drive when operating; two electric motors, is 300 - 370 W. Under the same conditions, a serial drive consumes 630 – 670 W. Thus, power savings occur due to increased efficiency. drive (η) from 0.5 to 0.8 and its unlocking, on average, by approximately 1.8 times.*

Keywords: *sprinkler machine «Kuban-LK1»; gear motor; wave transmission; efficiency; experimental studies; drive power.*

Для цитирования: Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Оценка энергетических показателей усовершенствованного привода многоопорных дождевальных машин, типа «Кубань-ЛК1» // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 62-70. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-6-62-70.

For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A. Evaluation of energy indicators of the improved drive of multi-support sprinklers, such as "Kuban-LK1". *Nauka v central'noj Rossii =* Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 62-70. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-62-70.

Введение. Для расширения функциональных возможностей дождевальной машины с электроприводом «Кубань-ЛК1», необходимо совершенствование приводов ее тележек, заключающееся в разработке мотор-редукторов с индивидуальным электроприводом каждого колеса с волновой передачей, имеющих высокий К.П.Д. и увеличенное передаточное отношение позволяющее повысить скорость движения тележек почти в 2 раза. Это дало возможность расширить диапазон ДМ по внедрению новых технологий орошения (полив малыми поливными

нормами, мелкодисперсное увлажнение и другие) с сохранением энергетических затрат, присущих серийной ДМ [1, 3, 11].

Материалы и методы. По сегодняшний день, в конструкции приводов дождевальной машины «Кубань-ЛК1» применяется узел, в котором крутящий момент, через входные валы центрального мотор-редуктора, передается, посредством карданного соединения, на валы индивидуальных колесных редукторов тележек ДМ. При такой компоновке трансмиссии образуется блокированная связь, препятствующая движению машины в обратном направлении (рисунок 1) [12, 13].

Также, при использовании блокированных приводов, при определенных условиях эксплуатации, возможно образование эффекта циркуляция мощности, из-за неравномерности окружных скоростей вращения выходных валов колесных редукторов. Этот эффект отрицательно сказывается на общем К.П.Д. работы машины, а также увеличивает износ шин. В свою очередь, применение дифференциального привода, исключает указанный недостаток, однако имеет свои отрицательные качества, так если одно из колес опорной тележки попало в худшие сцепные условия, то второе колесо, также, в следствии дифференциального эффекта, имеет пониженное сцепление с опорной поверхностью. Стоит отметить, что при использовании, так называемого блокированного привода, поступательные скорости будут выравниваться только при буксовании или скольжении одного из колес [2, 8].

Наилучшие тяговые показатели привода могут быть получены при оснащении каждого колеса тележек машины независимым мотор-редуктором с высокоэффективным волновым зубчатым зацеплением [9].

Рисунок 1 – Тележка с энергосберегающим электроприводом ДМ «Кубань-ЛК1»

Исследования многоопорной ДМ «Кубань-ЛК1» проводились в АО «Озеры» Коломенского района Московской области на макетном образце 8 тележечной модификации. На четырех тележках (№2, №3, №7 и №8) были установлены, на каждом колесе, мотор-редуктора с волновой передачей. Производился полив картофеля. Агрофон – поле, засаженное картофелем. Общий уклон обрабатываемой поверхности, по всей длине многоопорной машины, составлял в среднем ± 0.01 [15, 17].

Замеры скорости движения опорных тележек машины, осуществлялось при ее безостановочной работе с применение измерительной ленты и секундомера. Количество замеров

составляло не менее 3-х. Дополнительных параметром для фиксации, были полные обороты пневматического колеса [6, 7].

Мощность, потребляемая движителем опорной тележки на перемещение, определялась при подключении ваттметром, которые устанавливались по схеме, представленной на рисунке 2. При этом, мощность, потребляемая приводами опорных тележек, вычислялась по зависимости 1:

$$P = P_{w1} + P_{w2} \quad (1)$$

где: $P_{w1} = U_{AC} \times J_A \times \cos\varphi_1$ – показания первого ваттметра (Д5004, №51748, 1979 г. цена деления – 15 Вт);

φ_1 – угол сдвига фаз между напряжением U_{AC} и током J_A;

$P_{w2} = U_{BC} \times J_B \times \cos\varphi_2$ – показание второго ваттметра (Д50047, №15884, 1973 г., цена деления 15 Вт);

φ_2 – угол сдвига между напряжением U_{AC} и током J_A.

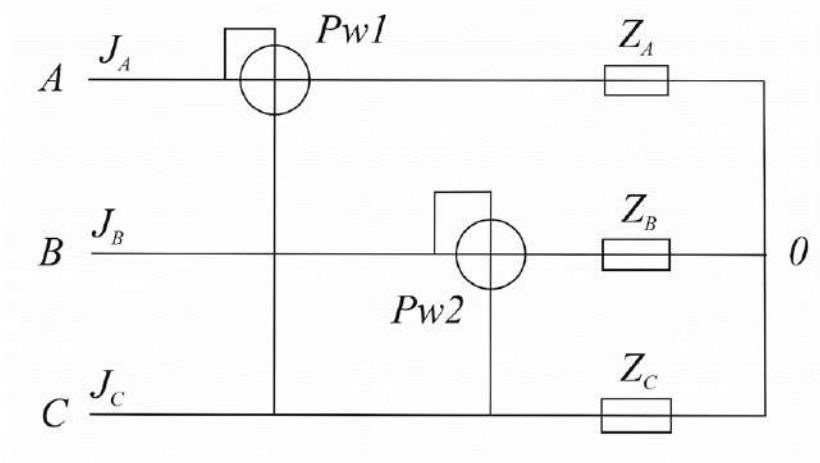


Рисунок 2 – Схема включения двух ваттметров в трехфазную сеть

Мощность замерялась при следующих условиях: движение машины с водой и без нее; движение вверх по уклону и вниз, движение с двумя одновременно работающими электродвигателями и с одним двигателем [14, 16].

Показатели снимались на тележках с серийными и новыми приводами.

Отличие макетного образца машины от ее серийной модификации заключалось в установке на четырех тележках индивидуальных мотор-редукторов с малозатратными (волновыми) зубчатыми зацеплениями.

Мотор-редуктор выполнен в двух вариантах: асинхронный электродвигатель АИРБ 8004 с редуктором МК-0.65 и асинхронный движитель АИРБ 8004Е с редуктором МК-0.65.

Двигатели обеспечивают работу в следующих режимах:

1. С поливом – в режиме $S4$, согласно паспорту технического изделия [10, 19], с продолжительностью включений ПВ 10 – 90%, коэффициенте инерции $FJ = 1.2$ (300 включений в час);

2. Без полива в режиме SI, согласно паспорту технического изделия, а также $S4$ с продолжительностью включений до 85 – 95% при коэффициенте инерции $FJ = 1.2$ и 300 включений в час. Полезная мощность в режиме без полива снижается на 25%.

Общее время работы в режимах без полива не превышало 20% общего ресурса двигателя.

Степень защиты двигателей IP56 по ГОСТ 17494-87, по линии вала IP44 [4].

Способ охлаждения двигателей ICAOOA4I по ГОСТ 20459-87 [5].

Питание катушки тормоза осуществляются постоянным током через выпрямительный мост, включенный в разрыв одной из фаз двигателя. Время срабатывания электромагнита тормоза

(растормаживание), т.е. промежуток времени с момента подачи напряжения на двигатель до начала движения якоря [18, 20].

Результаты и их обсуждение. Результаты измерений мощности, потребляемой опорными тележками машины, с серийными и модернизированными двигателями представлены в таблице 1.

Таблица 1- Мощность, потребляемая двигателями опорных тележек

Тип привода	Мощность, Вт		
	Уклон		
	$i = 0.0$	$i = +0.01$	$i = -0.01$
Серийный	0.640	0.670	0.630
Модернизированный: • двумя двигателями • одним двигателями	 0.350 0.220	 0.370 0.260	 0.300 0.175
Движение с одним двигателем	0.270	0.275	0.235

Потребление мощности опорной тележкой с модернизированным приводом при работающих; двух электродвигателях, составляет 300 –370 Вт. При тех же условиях серийный привод потребляет 630 – 670 Вт. Таким образом, происходит экономия мощности за счет повышения К.П.Д. привода (η) с 0.5 до 0.8 и его разблокирование, примерно, в среднем, в 1.8 раза.

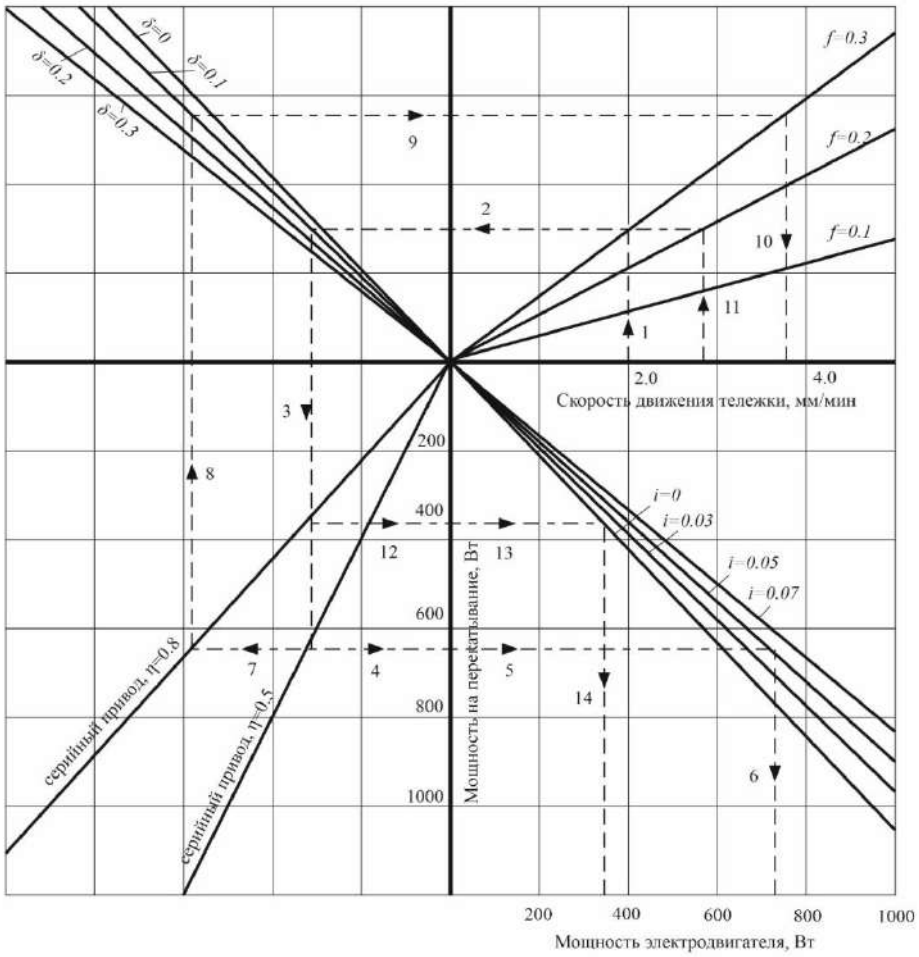


Рисунок 3 – Номограмма для определения энергетических затрат на передвижение опорных тележек МДЭ «Кубань-ЛК»

Мощность, потребляемая одним двигателем при одновременно работающих двух двигателях, колеблется в пределах от 179 – 260 Вт. Из-за не идентичности условий их работы (изготовление, давление в шинах и др.) происходит перераспределение мощности между двигателями в пределах 100 Вт (паразитная мощность), которая циркулирует в приводе.

Потребляемая мощность одной тележкой при работающем одном электродвигателе составляет 235 – 275 Вт.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследованиях построена номограмма по определению энергетических показателей привода опорных тележек, дождевальных машин «Кубань-ЛК1» в зависимости от коэффициента сопротивления перекатыванию f, скорости движения тележки V, коэффициента буксования δ; К.П.Д. передачи η и уклона i (рисунок 3). Пользование номограммой осуществляется следующим образом. Для выбранной максимальной скорости движения последней опорной тележки ЭМДМ «Кубань-ЛК1», которая определяет величину минимальной поливной нормы, с учетом коэффициентов сопротивления перекатыванию ($f = 0.2$, линия 1) и буксованию ($\delta = 0.1$, линия 2), КПД передачи ($\eta = 0.5$, линия 3), определяется мощность, затрачиваемая электродвигателем с серийным приводом на перекатывание (640 Вт, линия 4). Мощность, затрачиваемая на преодоление тележкой уклона поля по ходу ее движения (линия 5), суммируется с мощностью, затрачиваемой на перекатывание, и определяет мощность электродвигателя (670 Вт, линия 6). В аналогичных условиях движения машины и при той же мощности электродвигателя возможно, за счет повышения К.П.Д. $\eta = 0.8$ привода повысить скорость движения опорной тележки в 1.5 раза (линии 7 – 8 – 9 – 10).

Заключение. Экспериментальные исследования привода опорной тележки с волновыми редукторами показали, что на ее перекатывание ($f = 0.2$, линия 11), ($\delta = 0.1$, линия 12), ($\eta = 0.8$, линия 3) затрачивается мощность 350 Вт (линия 12), а с учетом уклона $i = 0.03$ (линии 13 и 14) – 370 Вт (линия 14), против серийной (заблокированной) конструкции, соответственно, 640 и 670 Вт.

Список источников

1. Баранский А.Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использование колесных редукторов. Минск, Урожай, 1968. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005958233?ysclid=losvkeyhg5410574493.

2. Винокур Е.Я., Лапидовский А.К., Рязанцев А.И. Повышение эффективности применения дождевальных машин кругового действия с электроприводом «Кубань-ЛК1». Сборник научных трудов В/О «Союзводпроект», Москва, 1990 г. URL: https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-poliva-mnogoopornymi-dozhdevalnymi-mashinami?ysclid=losvm4vomp270074550.

3. Гаврилица А.О., Пеньков М.С., Мангул И.Д., Рязанцев А.И. Рекомендации по обоснованию рациональной технологии полива склоновых земель машиной «Фрегат». – Кишинев, Картя Молдовеняскэ, - 1990 – 34 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001558024?ysclid=losvl3t3da998231412.

4. ГОСТ 17494-87. Машины электрические вращающиеся. Методы охлаждения. Обозначения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. 16 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835268.pdf?ysclid=losusqguep635675475.

5. ГОСТ 20459-87. Машины электрические вращающиеся. Классификация степеней защиты, обеспечиваемых оболочками вращающихся электрических машин. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. 25 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294832/4294832920.pdf?ysclid= losut94he7522586109.

6. ГОСТ 8224-1-2004. Машины дождевальные подвижные. Часть 1. Эксплуатационные характеристики и методы лабораторных и полевых испытаний. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044530.

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

– 351 с.: ил. – Гл. 5: Планирование полевого эксперимента. – С. 72 – 10; Гл. 18: Дисперсионный анализ). – С. 207-267. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005422754?ysclid=lovnxsaprn44371513.

8. Евсеев Е.Ю., Рязанцев А.И., Рембалович Г.К., Антипов А.О., Мурог И.А. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т 15, № 2, С. 119-124 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2023.72.87.016 URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54188403.

9. Иванов М.Н. Волновые зубчатые передачи. М.: Высшая школа, 1981. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001063959?ysclid=losuwzf4b7441652634.

10. Каталог. Могилевский завод «Электродвигатель», Могилев., Респ. Беларусь, 2008. с. 38. URL: https://mogilez.nt-rt.ru/images/showcase/katalog.pdf?ysclid=losuqnkkmc396689092.

11. Кравченко В.А. Результаты испытаний основных сельскохозяйственных агрегатов с упругодемпфирующим механизмом в силовой передаче мобильного энергетического средства класса 1,4 / Кравченко В.А., Кравченко Л.В. // Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 3 (59). С. 15-25. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49872585.

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

13. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «Каскад 65Т» / Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Грепечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. // Природообустройство. 2023. № 1. С. 28-32. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=52474535.

14. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008275977/?ysclid=losvbmr3tj149381548.

15. Евсеев Е.Ю. Направления повышения опорных свойств дождевальных машин / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Евсеев Е.Ю. // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКР академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В. – Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2020. – С. 314-319.URL: https://elibrary.ru/vwkjkq?ysclid=lovo3k51ku926388125.

16. Рязанцев А.И. Направления совершенствования дождевальных машин и систем. [Текст] А.И. Рязанцев – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2013. – 305 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20907374.

17. Рязанцев А.И., Костенко М.Ю., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. Обоснование параметров по совершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов машины Кубань-ЛК1 / Научно-производственный журнал «Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева» №4 2020 г. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44845900.

18. Рязанцев А.И., Турапин С.С., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. №3. С.6-10. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48644180.

19. Рязанцев, А.И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях [Текст] / А.И. Рязанцев. – Рязань: Рязаньагроинформ, 1991. – 131 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001598513?ysclid=losvjpkzlz878448393.

20. Удовенко А. И., Современные системы орошения и особенности их применения [Электронный ресурс]/ Удовенко А. И. – URL: http://www.yug-poliv.ru/article/ oborudovanie_dlya_kapelnogo_poliva/sovremennye_sistemy_orosheniya_i_osobennosti_ikh_primeneniya.

References

1. Baransky A.N. Improvement of operational indicators and use of wheel reducers. Minsk, Harvest, 1968. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005958233?ysclid=losvkeyhg5410574493.

2. Vinokur E.Ya., Lapidovsky A.K., Ryazantsev A.I. Improving the efficiency of the use of circular sprinkler machines with electric drive "Kuban-LC1". Collection of scientific papers In/About

"Soyuzvodproekt", Moscow, 1990 URL: https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-poliva-mnogoopornymi-dozhdevalnymi-mashinami?ysclid=losvm4vomp270074550.

3. Gavrilitsa A.O., Penkov M.S., Mangul I.D., Ryazantsev A.I. Recommendations on substantiation of rational technology of irrigation of slope lands by the machine "Frigate". – Chisinau, Kartya Moldovenyaske, - 1990 – 34 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001558024?ysclid=losvl3t3da998231412.

4. GOST 17494-87. Electric rotating machines. Cooling methods. Moscow: USSR State Committee on Standards, 1987. 16 p. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835268.pdf?ysclid=losusqguep635675475 .

5. GOST 20459-87. Electric rotating machines. Classification of degrees of protection provided by shells of rotating electric machines. Moscow: USSR State Committee on Standards, 1987. 25 p. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294832/4294832920.pdf?ysclid=losut94he7522586109.

6. GOST 8224-1-2004. Sprinklers are mobile. Part 1. Operational characteristics and methods of laboratory and field tests. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044530.

7. Dospekhov B. A. Methodology of field experience: (with the basics of statistical processing of research results) / B. A. Dospekhov. - Ed. 5th, supplement and revision – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p.: ill. – Chapter 5: Planning a field experiment. – pp. 72-10; Chapter 18: Analysis of variance). – pp. 207-267. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005422754?ysclid=lovnxsaprn44371513.

8. Evseev E.Yu., Ryazantsev A.I., Rembalovich G.K., Antipov A.O., Murog I.A. Technical solutions for improving the productivity of a multifunctional circular machine on slope areas // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. T 15, No. 2, pp. 119-124 https://doi.org / 10.36508/ RSATU.2023.72.87.016 URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54188403.

9. Ivanov M.N. Wave gears. M.: Higher School, 1981. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001063959?ysclid=losuwzf4b7441652634.

10. Catalog. Mogilev plant "Electric Motor", Mogilev., Rep. Belarus, 2008. p. 38. URL: https://mogilez.nt-rt.ru/images/showcase/katalog.pdf?ysclid=losuqnkkmc396689092 .

11. Kravchenko V.A. Test results of basic agricultural aggregates with an elastic damping mechanism in the power transmission of a mobile energy means of class 1,4 / Kravchenko V.A., Kravchenko L.V. // Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2022. VOL. 15. No. 3 (59). pp. 15-25. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49872585.

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

13. Organization of the irrigation site for the effective operation of the Cascade 65T sprinkler machine / Soloviev D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Yu.N., Zagoruiko M.G., Kuznetsov R.E. // Nature management. 2023. No. 1. pp. 28-32. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=52474535.

14. Resource–saving energy-efficient environmentally safe technologies and technical means of irrigation: reference. - M.: FSBI "Rosinformagrotech", 2015. – 264 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008275977 /?ysclid=losvbmr3tj149381548.

15. Evseev E.Yu. Directions for improving the supporting properties of sprinkler machines / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Evseev E.Yu. // An integrated approach to scientific and technical support of agriculture: Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of corresponding member of RASKHN and NANKR Academician MAEP and RAVN Bochkarev Ya.V. – Part II. – Ryazan: RGATU, 2020. – pp. 314-319.URL: https://elibrary.ru/vwkjkq?ysclid=lovo3k51ku92638812516. Ryazantsev A.I. Directions of improvement of sprinkler machines and systems. [Text] A.I. Ryazantsev – Ryazan: FSUE IN RGATU, 2013. – 305 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20907374.

17. Ryazantsev A.I., Kostenko M.Yu., Evseev E.Yu., Antipov O.V., Antipov A.O. Justification of parameters for improving the flow regulator of sprinklers of the Kuban-LK1 machine / Scientific and production journal "Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" No. 4 2020 URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44845900.

18. Ryazantsev A.I., Turapin S.S., Evseev E.Yu., Antipov A.O. Substantiation of the regulation of the flow of sprinklers of wide-reach circular machines // Land reclamation and water management. 2022. No.3. pp.6-10. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48644180

19. Ryazantsev, A.I. Mechanization of irrigation with wide-reach circular sprinkler machines in difficult conditions [Text] / A.I. Ryazantsev. – Ryazan: Ryazanagroinform, 1991. – 131 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001598513?ysclid=losvjpkzlz878448393.

20. Udovenko A. I., Modern irrigation systems and features of their application [Electronic resource]/ Udovenko A. I. – URL: http://www.yug-poliv.ru/article/oborudovanie_dlya_kapelnogo_poliva/sovremennye_sistemy_orosheniya_i_osobennosti_ikh_primeneniya.

Информация об авторах

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

Information about the authors

A. Ryazantsev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; A. Zazulya - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Evseev - lecturer of the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes; A. Antipov – Candidate of Technical Sciences, associate professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 20.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 631:362.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-71-79

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДИСКА ПРИ ОБЖАРКЕ ЗЕРНА В УСТАНОВКЕ КОНТАКТНОГО ТИПА

Сергей Алексеевич Сутягин [1]***, Пётр Сергеевич Агеев*** [2]***,***
Андрей Александрович Павлушин [3]***, Владимир Иванович Курдюмов*** [4]
Владимир Анатольевич Семыкин [5]
[1,2,3,4] *Ульяновский государственный аграрный университет, г. Ульяновск, Россия*
[1] sergeysut@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6477-3817, [2] ageev_petr@mail.ru
[3] andrejpavlu@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7678-2876
[4] bgdie@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1603-1779
[5] *Курский государственный аграрный университет им.И.И.Иванова, г. Курск, Россия*
[5] semykin-v@internet.ru, https://orcid.org/0009-0001-4769-4738

Автор ответственный за переписку: Сергей Алексеевич Сутягин, sergeysut@mail.ru
Corresponding author: Sergey Sutyagin, sergeysut@mail.ru

Реферат. *Анализ средств механизации для обжарки зерна, которое используется в кормах для животных, показал, что они имеют ряд недостатков: низкое качество обжарки зерна, высокую стоимость, повышенные удельную металлоемкость и удельные затраты энергии. Разработка новых технических средств, способных с учетом ресурсосбережения качественно обжаривать зерно, является актуальной и важной научно-технической проблемой. Для ее решения была разработана физическая модель установки с рабочим органом, который выполнен в виде плоской спирали. Устройство включает в себя кожух, выполненный в виде вертикально установленного цилиндра, внешняя поверхность которого покрыта теплоизолирующим материалом, из которого через перфорированную пластину удаляются излишки влаги в виде пара. Исследование разработанной установки проводили в лабораторных условиях для зерна ячменя. Для процесса обжарки выбрали в качестве критерия оптимизации - удельные затраты энергии, наиболее значимых независимых факторов - температуру нагрева диска и время пребывания зерна на диске. Во избежании обугливания зерновки в экспериментах диапазоны изменения температуры нагрева диска составляли 180 - 250ºС, а время пребывания зерна на диске 140 - 200 ^{0}С. Для оценки качества обжарки зерна определяли массовую долю декстринов. В результате исследования установлено, что рациональное значение температуры диска составляет 224 ºС, а время пребывания зерна в установке - 168 с. При таких значениях независимых факторов процесса удельные затраты энергии на обжарку зерна составляют 3922 кДж·ч/кг, а пропускная способность установки достигает 30 кг/ч. Качество обжарки зерна удовлетворяет предъявляемым требованиям.*

Ключевые слова*: установка, контактный подвод теплоты, зерно, обжарка зерна, температура диска.*

DETERMINATION OF DISK TEMPERATURE FOR GRAIN ROASTING IN CONTACT TYPE INSTALLATION

Sergey Sutyagin [1]***, Pyotr Ageev*** [2]***, Andrey Pavlushin*** [3]***, Vladimir Kurdyumov*** [4]
Vladimir Semykin [5]
[1,2,3,4] *Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russia*
[1] sergeysut@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6477-3817, [2] ageev_petr@mail.ru
[3] andrejpavlu@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7678-2876
[4] bgdie@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1603-1779
[5] *KUR State Agrarian University named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia*

[5] semykin-v@internet.ru, https://orcid.org/0009-0001-4769-4738

Abstract. *Analysis of mechanization means for roasting grain, which is used in animal feed, showed that they have a number of disadvantages: low quality of grain roasting, high cost, increased specific metal consumption and specific energy consumption. The development of new technical means capable of frying grain efficiently, taking into account resource conservation, is a pressing and important scientific and technical problem. A physical model of the installation with a working body, which is made in the form of a flat spiral, was developed to solve it. The device includes a casing made in the form of a vertically mounted cylinder, the outer surface of which is covered with heat-insulating material, from which excess moisture is removed through a perforated plate in the form of steam. The study of the developed installation was carried out in laboratory conditions for barley grain. For the roasting process, we chose specific energy consumption as an optimization criterion; the most significant independent factors were the heating temperature of the disk and the residence time of the grain on the disk. The range of changes in the heating temperature of the disk in experiments to avoid charring of the grain was 180 - 250ºC, and the time the grain remained on the disk was 140 - 200 0C. To assess the quality of grain roasting, the mass fraction of dextrins was determined. As a result of the study, it was established that the rational value of the disk temperature is 224 ºC, and the residence time of the grain in the installation is 168 s. The specific energy consumption for roasting grain at such values of independent process factors is 3922 kJ h/kg, and the throughput of the installation reaches 30 kg/h. The quality of grain roasting meets the requirements.*

Keywords: *installation, contact heat supply, grain, grain roasting, disk temperature*.

Для цитирования: Сутягин С.А., Агеев П.С., Павлущин А.А., Курдюмов В.И., Семыкин В.А. Определение температуры диска при обжарке зерна в установке контактного типа // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 71-79. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-6-71-79.

For citation: Sutyagin S.A., Ageev P.S., Pavluschin A.A., Kurdyumov V.I., Semykin V. Determination of disk temperature for grain roasting in contact type installation". *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 71-79. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-71-79.

Введение. Для получения качественной продукции фермеры при выращивании сельскохозяйственных животных должны обеспечивать их полноценными и сбалансированными кормами. Благодаря правильному кормлению животных молочные и мясные продукты будут иметь требуемое качество, а их себестоимость будет минимальна. Правильное использование кормов, в свою очередь, зависит от того, насколько качественно компоненты корма подготовлены к скармливанию [1, 3].

Одним из основных компонентов в кормах является зерно. Зерно пшеницы, ячменя, сои, рапса кукурузы, гороха и других культур используют для корма свиней, КРС, птицы, лошадей, кроликов и многих других животных.

Технологии подготовки зерна к скармливанию разнообразны, они могут включать различные процессы: обжаривание, запаривание, осолаживание, дрожжевание, плющение, микронизацию и другие [1, 2, 4].

Обжаривание зерна – тепловая обработка предварительно увлажненного зерна при высокой температуре. При обжарке часть крахмала в зерне распадается до моносахаров, происходит его декстринизация (термическая деструкция). Благодаря этому зерно приобретает более сладкий вкус, улучшается его перевариваемость. Обжаренное зерно скармливают, например, поросятам с 5…7 дневного возраста до отъёма. Обжаренное зерно начинают скармливать животным в небольшом количестве, обычно это 30 - 50 г. Затем суточную норму обжаренного зерна постепенно увеличивают до 120 -150 г [6, 11].

Материалы и методы. В настоящее время зерно обжаривают в установках барабанного типа с замкнутой циркуляцией горячего воздуха (рисунок 1).

Рисунок 1 – Установка барабанного типа для обжаривания сыпучих продуктов

Установка барабанного типа предназначена для обжаривания крупяных культур, масличных и мелкозернистых семян трав, а также зерен кофе, арахиса, семян тыквы и других сыпучих продуктов. Принцип работы такой установки основан на подводе теплоты к обрабатываемому продукту от вращающегося барабана. Барабан снабжен электронагревателями, которые разделены на 2 секции. В каждой секции установлены 6 электронагревателей суммарной мощностью 13,8 кВт. Масса барабана составляет 150 кг, а для его вращения установлен привод мощностью 2,2 кВт. Пропускная способность установки барабанного типа может быть от 25 кг/ч до 150 кг/ч в зависимости от вида обрабатываемого продукта. При обжарке зерна в установке барабанного типа удельные затраты энергии превышают 4320 кДж·ч/кг.

В настоящее время для обжаривания зерна применяют также установки камерного типа, установки с ленточным рабочим органом и инфракрасным источником теплоты, установки с конвективным нагревом продукта. Однако такие установки имеют низкую равномерность обжарки зерна, а также их удельные затраты энергии в 1,2 - 1,7 раза превышают удельные затраты энергии установок барабанного типа [2, 4, 6]. Поэтому разработка энергосберегающих средств механизации обжарки зерна, обеспечивающих требуемое качество готового продукта, является актуальной и важной научно- технической проблемой [1, 3, 4].

Для решения указанной проблемы нами предложена принципиально новая конструкция установки с рабочим органом, который выполнен в виде плоской спирали (рисунок 2) [8, 9, 10, 11].

Устройство для обжарки зерна включает в себя кожух, выполненный в виде вертикально установленного цилиндра, внешняя поверхность которого покрыта теплоизолирующим материалом.

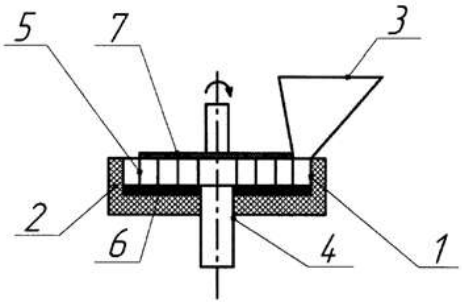


Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема предложенной установки: 1 – кожух; 2 – теплоизолирующий материал; 3 – бункер; 4 – выгрузной цилиндр; 5 – транспортирующий рабочий орган; 6 – диск с электрическим нагревателем; 7 – перфорированная пластина круглой формы

С одной стороны внешней образующей поверхности цилиндра закреплён загрузочный бункер. Внутри вертикального цилиндра на нижнем его основании установлен диск с электрическим нагревателем. В центре диска установлен выгрузной цилиндр. Над диском установлен с

возможностью вращения транспортирующий рабочий орган, который выполнен в виде соединенных между собой перфорированной пластины круглой формы и плоской спирали (рисунок 3). Перфорированная пластина снабжена приводом.

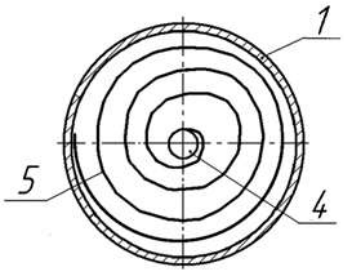


Рисунок 3 – Рабочая камера предложенной установки:
1 – кожух; 4 – выгрузной цилиндр; 5 - транспортирующий рабочий орган

Установка работает следующим образом. Включают нагреватель диска и привод перфорированной пластины. Привод начинает вращать перфорированную пластину, а вместе с ней и плоскую спираль. После того, как температура диска достигнет требуемой температуры, засыпают подготовленное зерно в загрузочный бункер. Из загрузочного бункера зерно попадает на нагретый диск, захватывается внешним витком транспортирующего рабочего органа и далее единичным слоем перемещается по виткам плоской спирали к выгрузному цилиндру.

Контактируя с поверхностью нагретого диска, зерно также нагревается и обжаривается. При обжаривании излишки влаги из зерна в виде пара удаляется из кожуха через перфорированную пластину. Подбором частоты вращения транспортирующего рабочего органа устанавливают время пребывания зерна в установке. Обжаренное зерно удаляется из устройства через выгрузной цилиндр.

Для определения температуры диска $t_д$, ºС, которую необходимо создать для передачи количества теплоты q, кДж, необходимого для равномерной обжарки зерна, выберем краевые условия для случая, когда направление теплового потока совпадает с осью x (рисунок 4).

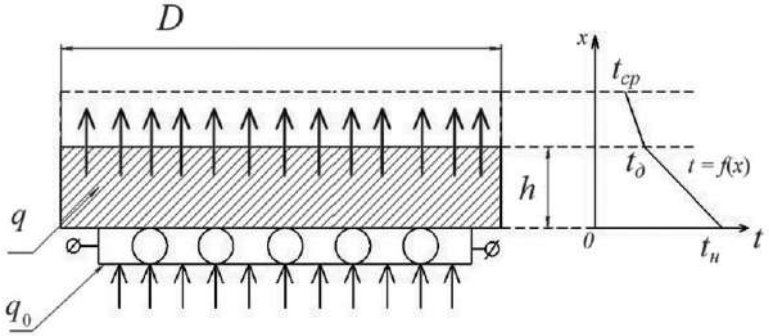


Рисунок 4 - Схема передачи теплового потока от нагретого диска к зерну
где: D – диаметр диска, м; h – толщина диска, м; q_0 – количество теплоты, подводимое к диску, кДж; q – количество теплоты, которое нагретый диск передает зерну, кДж; $t_н$ – температура нагревательного элемента, ºС; $t_{ср}$ – средняя температура слоя зерна, загружаемого в установку, ºС

При этом [5, 7].

$$t(x, \tau) = t_{ср}. \quad (1)$$

$$dt(0, \tau)/dx = 0, \quad (2)$$

где: τ – время пребывания зерна на диске, с.

После дифференцирования уравнений (1) и (2) запишем частное решение:

$$t(x, \tau) = a \sin k_в x e^{-a\tau k_в} + b \cos k_в x e^{a\tau k_в}, \quad (3)$$

где: a, b – постоянные коэффициенты; $k_в$ - коэффициент влагопроводности материала, м^2/ч.

$$dt(0, \tau)/dx = \lim_{x\to 0}(ak_в\cos k_в x - bk_в\sin k_в x)e^{-a\tau k_в}, \quad (4)$$

Общее решение уравнений (3) и (4) будет иметь вид [3]:

$$t(x, \tau) = \Sigma^{\infty}_{n=1} b \cos(2a - 1)\pi x/2) \exp(-2a - 1)^2\pi^2 a/4b). \quad (5)$$

Обозначим в частице зерна элементарную площадку dS, м^2. Пусть к этой площадке за время, $d\tau$, с, нагретый диск передаёт количество теплоты

$$\Delta q = - \lambda dSd\tau(dt/dm), \quad (6)$$

где: λ - коэффициент теплопроводности зерна, Вт/(м·°С); (dt/dm) - градиент температуры, °С/м.

Проинтегрируем уравнение (6) по площади S и интервалу $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$.

$$\Delta q = - \int_{\tau 1}^{\tau}{}_2 \int_S \lambda dSd\tau(dt/dm), \quad (7)$$

где t_1 и t_2 – соответственно начальная и конечная температура элементарной частицы зерна объёмом dV при ее нагреве в течение времени $\Delta\tau$.

После преобразования получаем

$$\Delta q = - \int_{\tau 1}^{\tau}{}_2 \lambda Sd\tau(dt/dm). \quad (8)$$

При условии, что элементарная частица зерна объёмом $dV = dxdydz$ за время $\Delta\tau$ нагревается от температуры t_1 до значения t_2, то к этому объёму будет подведено количество теплоты

$$\Delta q = c\rho(t_2 - t_1)dV, \quad (9)$$

где: c - удельная теплоёмкость диска, кДж/(кг·°С); ρ – насыпная плотность обжариваемого зерна, кг/м^3.

С учётом этого количество теплоты, которое нагретый диск передает зерну, характеризует уравнение (10):

$$q = c\rho\iiint_V(t_2 - t_1)dV = c\rho V\int_0^V(t_2 - t_1)dV, \quad (10)$$

Тогда температуру диска можно определить по выражению:

$$t_д = (1/V)\int_0^V t(x, \tau)dV = (1/Dh)\int_0^D\int_0^h t(h, \tau)dxdydz = (1/h)\int_0^h t(h, \tau)dh. \quad (11)$$

С учётом полученных выражений, а также в соответствии с указанной на рисунке 2 конструктивно-технологической схемой, разработана физическая модель установки с рабочим органом, который выполнен в виде плоской спирали (рисунок 5).

Рисунок 5 – Физическая модель установки с рабочим органом, выполненным в виде плоской спирали: 1 – рама; 2 – вертикальный цилиндр; 3 – загрузочный бункер; 4 - привод перфорированной пластины; 5 – плоская спираль; 6 – диск

Результаты и их обсуждение. Разработанную физическую модель установки со спиральным рабочим органом исследовали в лабораторных условиях в режиме обжарки зерна ячменя. Методика лабораторных исследований включала в себя несколько этапов, указанных на схеме, которая представлена на рисунке 6.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ЭКСПЕРИМЕНТА
ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ
ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ФАКТОРОВ
ВЫБОР ИНТЕРВАЛОВ ВАРЬИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ
ВЫБОР ВИДА РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ
ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТАНОВКИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ
ПОЛУЧЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И ИХ АНАЛИЗ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕЗАВИСИМЫХ ФАКТОРОВ
ПРОВЕРКА РАБОТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТАНОВКИ ПРИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ И РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Рисунок 6 - Методика лабораторных исследований разработанной физической модели установки для обжарки зерна

В качестве критерия оптимизации при обжарке зерна выбрали удельные затраты энергии $P_{уд}$, кДж·ч/кг, которые определяли по методике, указанной в работе [12]. Для оценки качества обжарки зерна определяли массовую долю декстринов ω, %, по ГОСТу 29177-91.

В качестве наиболее значимых независимых факторов выбрали температуру нагрева диска $t_д$, ºС, и время τ, с, пребывания зерна на диске. В экспериментах температуру нагрева диска изменяли в диапазоне 180…250 ºС, а время пребывания зерна на диске изменяли в диапазоне 140…200 С. Такие режимы обеспечивают нагрев зерна ячменя до температуры, не превышающей 180 ºС, при превышении которой начинается обугливание зерновки.

При обжаривании зерна на каждом этапе изменения значений независимых факторов определяли удельные затраты энергии, среднюю температуру $t_{ср}$ обжаренного зерна, а также массовую долю декстринов и жиров в обжаренном зерне.

В результате исследований получен график (рисунок 7) и уравнение (12), которые характеризуют влияние температуры диска и времени пребывания зерна в установке на массовую долю декстринов в обжаренном зерне.

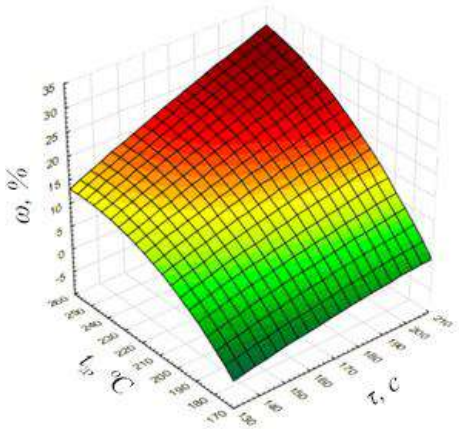


Рисунок 7 – Зависимость массовой доли декстринов от температуры диска и времени пребывания зерна в установке

$$\omega = -129{,}67 - 0{,}08\tau + 1{,}05t_д - 0{,}0004\tau^2 + 0{,}0017\tau t_д - 0{,}0025t_д^2. \quad (12)$$

После решения уравнения (12) определили, что при температуре диска 245 ºС и времени пребывания зерна в установке 182 с, массовая доля декстринов в обжаренном зерне находилась на уровне 26…28 %.

Далее провели экспериментальные исследования разработанной физической модели установки, в которых определяли влияние выбранных независимых факторов на удельные затраты энергии. В результате построен график (рисунок 8) и получено уравнение (13), которые характеризуют влияние температуры диска и времени пребывания зерна в установке на удельные затраты энергии.

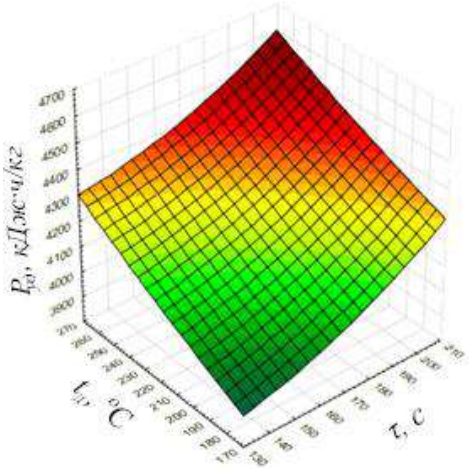


Рисунок 8 - Зависимость удельных затрат энергии от температуры диска и времени пребывания зерна в установке

$$P_{уд} = 3586{,}68 + 4{,}06\tau + 2{,}21t_д - 0{,}03\tau^2 - 0{,}0076\tau t_д + 0{,}0058t_д^2. \quad (13)$$

После решения уравнения (13) установили, что при полученных ранее значениях температуры диска 245 ºС, времени пребывания зерна в установке 182 с, удельные затраты энергии на обжаривание зерна ячменя составляют 4017 кДж·ч/кг. Однако при этом происходит резкое снижение массовой доли жиров в обжаренном зерне, что отрицательно сказывается на его питательной ценности. Поэтому для исследуемой установки выбрали рациональные значения независимых факторов: $t_д$ = 224 ºС, τ = 168 с. Далее провели серию экспериментов при выбранных рациональных значениях, в результате установили, что удельные затраты энергии составляют 3922 кДж·ч/кг, массовая доля декстринов в обжаренном зерне составила 25…27 %, а массовая доля жиров находилась в пределах 16…20 %, что соответствует требованиям, предъявляемым к качеству готового продукта. При этом пропускная способность установки составила 30 кг/ч.

Заключение. Таким образом, разработанная физическая модель установки с рабочим органом, выполненным в виде плоской спирали, позволяет с требуемым качеством выполнять обжарку зерна. В результате исследования установлено, что рациональное значение температуры диска установки составляет 224 ºС при времени обжаривания зерна ячменя 168 с. При таких значениях независимых факторов удельные затраты энергии на обжарку зерна составляют 3922 кДж·ч/кг, а пропускная способность достигает 30 кг/ч. Качество обжарки зерна удовлетворяло предъявляемым требованиям.

Список источников

1. Гинзбург, А.С. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, И.М. Савина - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 280 с.

2. Гуляев, Г.А. Автоматизация процессов послеуборочной обработки и хранения зерна / Г.А. Гуляев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 236 с.

3. Грачев, Ю.П. Моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов пищевых производств / Ю.П. Грачев, А.К. Тубольцев, В.К. Тубольцев - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 216 с.

4. Sutyagin, S.A., Features of heat treatment of grain in dryers of the contact type // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2019). 2019. P. 00045.

5. Куцов, С.В. Физико-математическое моделирование процесса обжарки зерна овса / С.В. Куцов, А.В. Дранников // Вестник Воронежской государственной технологической академии. – 2008. – № 1(35). – С. 26-30.

6. Pavlushin, A.A., Research of a machine with a belt conveyor for drying grain // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020). 2020. P. 01071.

7. Минухин, Л.А. Расчеты сложных процессов тепло-, и массообмена в аппаратах пищевой промышленности / Л.А. Минухин. М.: Агропромиздат, 1986. - 175 с.

8. Патент на полезную модель № 167410 U1 Российская Федерация, МПК A23B 9/08. Устройство для сушки зерна: № 2016130462: заявл. 25.07.2016: опубл. 10.01.2017 / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина».

9. Патент на полезную модель № 92603 U1 Российская Федерация, МПК A23B 9/08. Устройство для сушки зерна: № 2009140702/22: заявл. 03.11.2009: опубл. 27.03.2010 / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия».

10. Патент на полезную модель № 170451 U1 Российская Федерация, МПК A23B 9/08. устройство для сушки зерна: № 2016131956: заявл. 03.08.2016: опубл. 25.04.2017 / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина».

11. Патент № 2632181 C Российская Федерация, МПК A23B 9/08. устройство для сушки зерна: № 2016124458: заявл. 20.06.2016: опубл. 02.10.2017 / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина».

12. Сутягин, С.А. Снижение удельных затрат энергии на обжаривание зерна в установке непрерывного типа /, П.С. Агеев, В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4(48). – С. 18…22.

13. Vargas, W.L. Heat conduction in granular materials / W.L. Vargas, J.J. McCarthy // AIChE Journal. – 2001. – № 47. - P. 1052 – 1059

References

1. Ginzburg, A.S. Mass and moisture exchange characteristics of food products / A.S. Ginzburg, I.M. Savina - M.: Light and food industry, 1982. - 280 p.

2. Gulyaev, G.A. Automation of post-harvest processing and grain storage processes / G.A. Gulyaev. – M.: Agropromizdat, 1990. – 236 p.

3. Grachev, Yu.P. Modeling and optimization of heat and mass transfer processes in food production / Yu.P. Grachev, A.K. Tuboltsev, V.K. Tuboltsev - M.: Light and food industry, 1984. - 216 p.

4. Sutyagin, S.A., Features of heat treatment of grain in dryers of the contact type // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2019). 2019. P. 00045.

5. Kutsov, S.V. Physico-mathematical modeling of the process of roasting oat grains / S.V. Kutsov, A.V. Drannikov // Bulletin of the Voronezh State Technological Academy. – 2008. – No. 1(35). – P. 26-30.

6. Pavlushin, A.A., Research of a machine with a belt conveyor for drying grain // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020). 2020. P. 01071.

7. Minukhin, L.A. Calculations of complex heat and mass transfer processes in food industry apparatuses / L.A. Minukhin. M.: Agropromizdat, 1986. - 175 p.

8. Utility model patent No. 167410 U1 Russian Federation, IPC A23B 9/08. Device for drying grain: No. 2016130462: application. 07/25/2016: publ. 01/10/2017 / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin".

9. Utility model patent No. 92603 U1 Russian Federation, IPC A23B 9/08. Device for drying grain: No. 2009140702/22: application. 03.11.2009: publ. 03/27/2010 / V.I. Kur-dyumov, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin; applicant Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Ulyanovsk State Agricultural Academy".

10. Utility model patent No. 170451 U1 Russian Federation, IPC A23B 9/08. device for drying grain: No. 2016131956: appl. 08/03/2016: publ. 04/25/2017 / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin".

11. Patent No. 2632181 C Russian Federation, IPC A23B 9/08. device for drying grain: No. 2016124458: appl. 06/20/2016: publ. 10/02/2017 / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin".

12. Sutyagin, S.A. Reducing specific energy consumption for roasting grain in a continuous type installation /, P.S. Ageev, V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. – 2019. – No. 4(48). – P. 18…22.

13. Vargas, W. L. Heat conduction in granular materials / W.L. Vargas, J.J. McCarthy // AIChE Journal. – 2001. – No. 47. - R. 1052 - 1059.

Информация об авторах

С. А. Сутягин – кандидат технических наук, доцент; П. С. Агеев – кандидат технических наук; А.А. Павлушин – доктор технических наук, профессор; В.И. Курдюмов - доктор технических наук, профессор; В. А. Семыкин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

S. Sutyagin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; P. Ageev – Candidate of Technical Sciences; A. Pavlushin – Doctor of Technical Sciences, Professor; V. Kurdyumov - Doctor of Technical Sciences, Professor; V. Semykin – Doctor of agricultural Sciences, Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 20.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.95
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-80-92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФОПРОДУКЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Виктория Александровна Брыксина [1], Яна Владимировна Каданцева [2], Николай Алексеевич Курьято [3]
[1] *Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина*
[2] *Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина*
[3] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве*
[1]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310
[2]kadantseva2014@gmail.ru
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370

Автор, ответственный за переписку: Виктория Александровна Брыксина, bryksina_98@mail.ru
Corresponding author: Viktoriya Bryksina, bryksina_98@mail.ru

Реферат. *Торфопродукция играет важную роль в сельском хозяйстве. Проведен анализ применения торфопродукции. Отмечено, что в России самые большие в мире запасы торфа. Проанализированы основные направления применения торфопродукции в сельском хозяйстве: животноводстве (подстилки для скота, торфяной навоз, торфопоника, производство белковых и кормовых добавок, силосы, получение препаратов в ветеринарии) и растениеводстве (улучшение плодородия почв, субстраты, мульчирование почвы, защита растений от заморозков и сорняков). Возможно применение торфяных брикетов в качестве топлива для обогрева теплиц, животноводческих помещений, жилищ. После их сжигания остается торфяная зола - неплохое удобрение. Показан органический и химический состав торфа. Для эффективной переработки торфа и применения торфопродукции предлагается создавать сельскохозяйственные потребительские кооперативы (СПК). Представлена модель взаимодействия структурообразующих элементов СПК по переработке торфа. Создание СПК для переработки и комплексного использования торфопродуктов перспективно, так как реализуется простота технических решений, возможность масштабирования процессов, маловременные сроки реализации и экологичность получаемой продукции. Комплексное использование торфопродукции в сельском хозяйстве позволяет не только улучшить плодородие почв и повысить урожайность сельскохозяйственных культур, но и обеспечить эффективное использование торфа в качестве топлива, кормовых добавок, подстилок для животных, сорбента нефтепродуктов и др.*

Ключевые слова: *торф, сельское хозяйство, удобрение, торфяное топливо*.

USE OF PEAT PRODUCTS IN AGRICULTURE

Viktoriya Bryksina [1], Yana Kadantseva [2], Nikolay Kur`yato [3]
[1] *Tambov State University named after G.R. Derzhavin*
[2] *Ryazan State University named for S.A. Esenin*
[3] *All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture*
[1]bryksina_98@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1264-1310
[2]kadantseva2014@gmail.ru
[3]cska-sparta@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1319-7370

Abstract. *Peat products play an important role in agriculture. An analysis of the use of peat products in agriculture was carried out. It was noted that in livestock farming, peat is used as bedding for livestock to produce peat manure, peatponics, the production of protein and feed additives, silos, and the production of drugs from peat in veterinary medicine. Peat is used to improve soil fertility, create*

substrates, for growing seedlings, for mulching the soil and protecting plants from frost and weeds in crop production. The use of peat briquettes as fuel for heating greenhouses and livestock buildings is possible. After burning them, peat ash remains - a good fertilizer. The organic and chemical composition of peat is shown. For the effective processing of peat and the use of peat products, it is proposed to create an agricultural consumer cooperative (ACC). A model of the interaction of structure-forming elements of ACC for peat processing is presented. The creation of an industrial complex for the processing and integrated use of peat products is promising, since it realizes the simplicity of technical solutions, the possibility of scaling processes, short lead times and the environmental friendliness of the resulting products. The integrated use of peat products in agriculture allows not only to improve soil fertility and increase crop yields, but also to ensure the effective use of peat as fuel, feed additives, animal bedding, oil product sorbent, etc.

Keywords: *peat, agriculture, fertilizer, peat fuel.*

Для цитирования: Брыксина В.А., Каданцева Я.В., Курьято Н.А. Использование торфопродукции в сельском хозяйстве // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 80-92. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-80-92.

For citation: Bryksina V., Kadantseva Ya., Kur`yato N. Use of peat products in agriculture. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 80-92. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-80-92.

Введение. Почвы представляют собой чрезвычайно важную матрицу окружающей среды, возникающую в результате взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы, при этом характер протекающих химических реакций зависит от условий среды. Торф является одним из типов почв, который представляет особый интерес из-за широкого спектра возможного применения. Он представляет собой один из крупнейших резервуаров земного углерода, объем которого оценивается примерно в 20% мировых запасов углерода в почве. Такое огромное накопление углерода является результатом длительного накопления органического вещества в течение тысяч лет в условиях заболачивания, высокой кислотности и низкого содержания питательных веществ, которые исключают аэробное разложение. Происхождение торфяников умеренного и бореального поясов связано в основном с мхами и травами, тропические торфяники обычно залесены, и их происхождение вызвано древесными растительными остатками. Скорость накопления торфа также выше в тропиках из-за более высокой продуктивности лесной растительности, в результате чего образуются мощные торфяные залежи глубиной до 20 м.

В России сосредоточена значительная часть мировых ресурсов торфа (рисунок 1).

Рисунок 1 – Запасы торфа в мире

Общая площадь торфяных месторождений составляет более 80 млн га и более чем в 2 раза больше площадь разведанных запасов и прогнозных ресурсов.

Продукты переработки торфа находят широкое применение в различных отраслях промышленности: в виде топливного кокса на определённых типах электростанций; в цветоводстве и ландшафтной архитектуре; в металлургии (термобрикеты, топливно-плавильные и углеродсодержашие композиции, брикеты свинцовой пыли с торфом, метофильтры для очистки стали и цветных металлов), химической промышленности (сорбент, при получении красителей, битумов, воска, парафина ряда других химических веществ), строительстве (термоизоляционный материал, упаковочный материал), в медицине (сырье для изготовления антибиотиков, препаратов для лечения различных заболеваний внутренних органов, для торфяных ванн и других медицинских и косметических целей) и т.д. (рисунок 2).

Органический состав торфа разнообразен, он может включать в себя, гуминовые и аминоксилоты, полипептиды, углеводороды, в том числе циклоалканы, изоалканы, альдегиды, спирты, ферменты, стерины, углеводы и т.д. Одним из компонентов также могут являться и битумы, которые в свою очередь содержат смесь парафинов, смол и восков [1-3]. Пример химического состава различных видов торфов представлен в таблице 1. Органическое вещество почвы образуется в результате распада остатков животных и растений, а химически сложная фракция, образующаяся в результате обширного разложения - гуминовые вещества (ГВ), обладающие исключительной способностью к комплексообразованию с веществами, включая ионы металлов. Как следствие, гуминовые вещества имеют широкое экологическое применение [4].

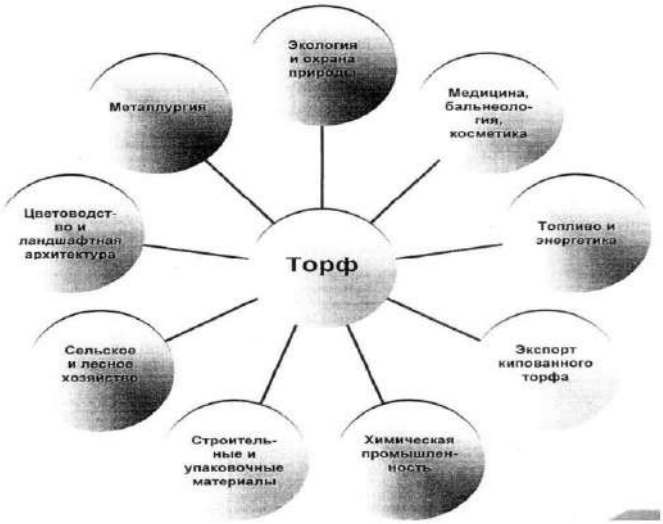


Рисунок 2 – Основные направления использования торфа

Таблица 1 – Химический состав некоторых типов торфа

Типы торфов	Азот	Фосфор	Калий	Известь	Зольность
Верховые	0,2-1,6	0,06-0,12	0,1	До 0,5	До 5
Низинные	1,8-3,3	0,11-0,6	0,1-0,25	2,5-6 и более	8-15
Переходные	1,2-1,8	0,1	0,1	0,5-2,5	0,5-0,8

Удобрения, продаваемые как «органические» или «натуральные», такие как торф или гуминовые вещества, извлеченные из торфа, обогащены макро- и микроэлементами, которые, по утверждению производителей, поступают в растение в соответствии с его потребностями. Это относительно новый рынок, обладающий экономическим потенциалом и, следовательно, является весьма привлекательным. Однако, этот сектор по-прежнему регулируется недостаточно, главным

образом из-за отсутствия научных данных о механизмах высвобождения питательных веществ из ГВ, посредством которых необходимые элементы становятся доступными для ризосферы.

Наиболее перспективным направлением использования продукции торфа является сельское хозяйство. Наиболее перспективным направлением использования продукции торфа является сельское хозяйство. Сегодня торф — это инновационная составляющая сельскохозяйственного производства. Что касаемо потребления сельскохозяйственного торфа, то по данным Росстата, большая часть используется в ЦФО, следом идёт Приволжский ФО и несколько ниже Северо-Кавказский федеральный округ (рисунок 3).

К сожалению, в Российских организациях сельскохозяйственного назначения использование торфа значительно снижается. Если учесть его долю в общем объеме применения органических удобрений, то она сократилась практически до 1 %. Это приводит к снижению добычи торфа (таблица 2)

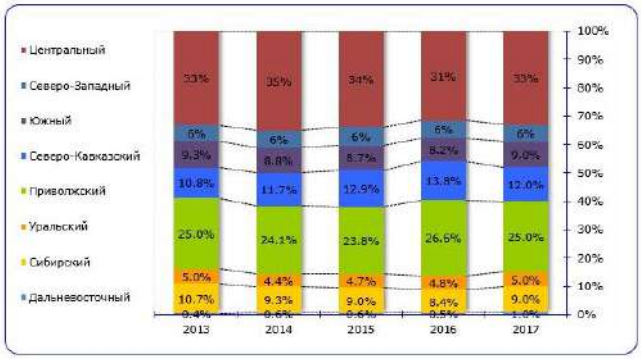


Рисунок 3 – Структура потребления сельскохозяйственного торфа по федеральным округам 2013-2017

Таблица 2 – Добыча торфа и некоторых других полезных ископаемых, млн. т.

Добыча\Год	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Торф	73,00	13,50	4,100	4,600	3,000	1,500	2,000	1,700
Уголь	395,0	263,0	258,0	270,0	270,0	277,0	282,0	314,0
Сланцы	4,600	2,400	1,700	1,500	1,100	1,200	1,200	0,600
Нефть	516,0	307,0	324,0	348,0	380,0	421,0	459,0	491,0
Газ	641,0	595,0	584,0	581,0	595,0	620,0	633,0	653,0

Использование торфа в энергетике Российской Федерации сокращается. Если тридцать лет назад его потребление составляло 30 млн т, сейчас ~ 2,5 млн т, количество электростанций, работающих на торфе, сократилось в 7 раз [5, 6].

Будущее в развитии сельскохозяйственных территорий, добыче и переработке торфа за созданием и функционированием местных сельскохозяйственных организаций по производству и использованию торфопродукции.

Цель данной работы – оценить возможности комплексного использования торфопродукции в сельскохозяйственном потребительском кооперативе.

Основная часть.

Для эффективной переработки торфа в [7] предлагается создавать сельскохозяйственные потребительские кооперативы (рисунок 4), чтобы приблизить сельскохозяйственные предприятия к возможности эффективного потребления торфопродукции. Создание таких организаций позволит снизить затраты, проводить добычу торфа на землях сельхозназначения и тут же использовать торфопродукцию, создаст гарантии для сельхозтоваропроизводителей для получения начального капитала для создания минизаводов по переработке торфа, что позволит мобилизовать

инвестиционные ресурсы. Получение членами кооператива торфопродукции по ценам ниже рыночных, позволит оптимизировать производственные затраты сельхозтоваропроизводителей.

В сельскохозяйственном потребительском кооперативе проще всего получать торфогрунты и провести брикетирование торфа (брикеты в последствии можно использовать как топливо и как сырье для дальнейшей переработки, например, пиролиза). К преимуществам брикетирования можно отнести: способ хранения (требуется меньшая площадь хранения по сравнению с такими видами топлива как уголь, дрова); небольшая стоимость; горючие свойства топливных брикетов сохраняются на несколько лет; безопасность и экологичность использования (не образуются искры, при сгорании не выделяется токсичные вещества).Возможно использование торфяных брикетов в качестве подстилки для животных, так как они впитывают влагу и запахи, что делает их более гигиеничными и удобными для использования, чем традиционные материалы для подстилки.

Технологии создания удобрений на основе торфа начиналась с первоначального компостирования и дошли до уровня серьезных регулируемых технологий основанных на биологической конверсии органического вещества с вторичными ресурсами [8,9].

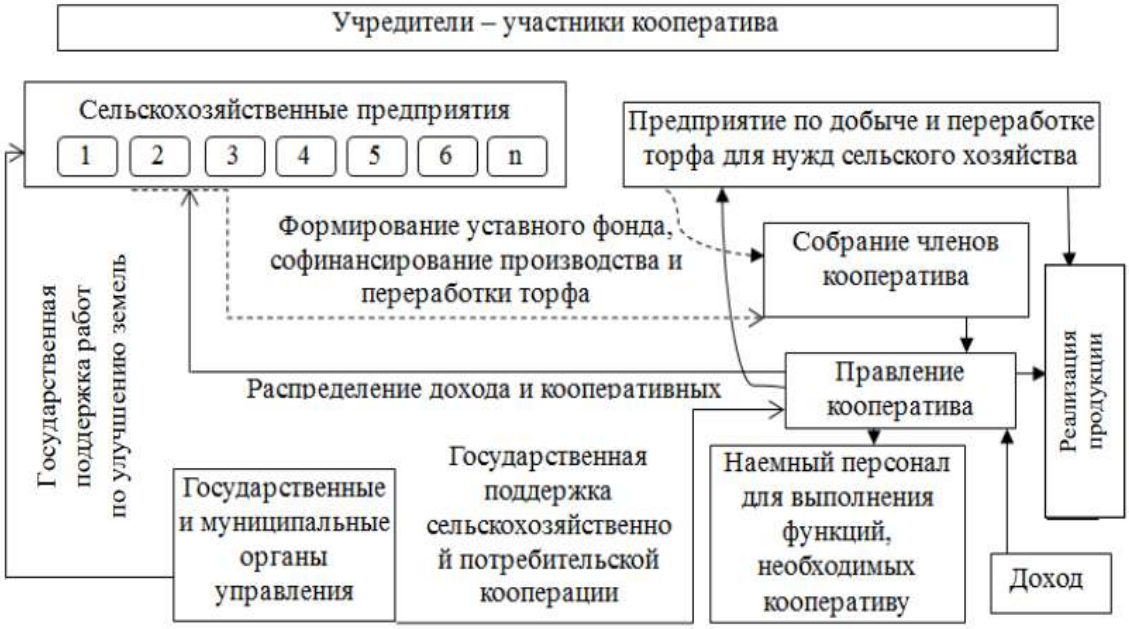


Рисунок 4 – Модель взаимодействия структурообразующих элементов сельскохозяйственного потребительского кооператива по переработке торфа

Считается, что наиболее эффективным способом переработки торфяного сырья является термохимический способ конверсии посредством пиролиза [10], в результате которого получают горючий газ, уголь и пиролизную жидкость.

Другой способ переработки торфяного сырья [11] можно осуществить путем двухступенчатого нагрева торфа с дальнейшей возможностью получения твердой и газообразной составляющих. При осуществлении переработки данным способом можно оптимизировать первоначальный процесс, а также снизить энерго- и экономические затраты при повышении производительности торфа. Осуществление данной технологии происходит в соответствии с установкой, представленной на рисунке 5.

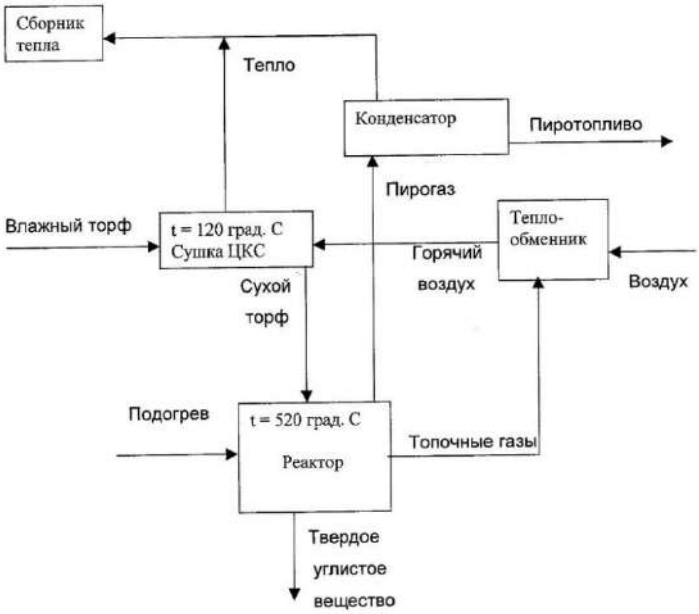


Рисунок 5 – Процесс переработки торфа

При осуществлении процесса переработки торфа, согласно данному способу, происходит высушивание исходной массы до показателя влажности не более 15%, снижаются теплопотери, обеспечивается высокая скорость процесса переработки торфа.

Применение торфа в сельскохозяйственном потребительском кооперативе может быть различным (рисунок 6).

Рисунок 6 – Основные направления применения торфа в сельскохозяйственном потребительском кооперативе

Перспективы использования торфяных болотных почв в сельском хозяйстве связаны, в первую очередь, с развитием животноводства и увеличением потребности в кормах. На фермах торф можно использовать в качестве в подстилки для скота с получением торфяного навоза, который не снижает, как солома, питательной ценности навоза для подкормки растений. Используется также торфопоника, основанная на выращивании на торфе зеленой массы различных сельскохозяйственных культур с последующим скармливанием животным не только зеленой массы, но и самого торфа-субстрата с корнями. Торф используют в белковых и кормовых добавках (торфа осахаренного, сахара кормового торфяного, биостимуляторов роста), при

производстве силосов, в ветеринарии в качестве профилактических средств и в комплексе лечения различных заболеваний.

В работе [12] было исследовано влияние добавки гумата калия, полученной переработкой торфа компанией «Питер Пит» на продуктивность и здоровье откармливаемого молодняка свиней. Результаты представлены в таблице 3. Можно отметить, что данная добавка является экологичной, производимой из местного сырья, обладает высокой биологической активностью по отношению к животному организму, оказывает положительное влияние на здоровье молодняка свиней.

Таблица 3 – Результаты по откорму молодняка свиней с добавкой в корма гумата калия.

Показатели	Группы		Опытная группа в % к контрольной
	контрольная	опытная	
Живая масса в начале опыта, кг	66,1 ± 0,20	65,8 ± 0,18	99,5
Живая масса в конце опыта (предубойная), кг	106,3 ± 2,00	112,0 ± 0,70**	105,4
Абсолютный прирост, кг	40,2	46,2	114,9
Среднесуточный прирост, г	670	770	114,9
Валовой прирост, кг	1005	1155	114,9
Убойная масса, кг	68,4 ± 0,76	72,9 ± 0,30***	106,6
Убойный выход, %	64,3	65,1	+0,8п.п.
Затраты корма всего, кг	3869	4297	111,1
Конверсия корма (затраты корма на 1кг прироста), кг	3,85	3,72	96,6
Получено прироста на 1кг корма, кг	0,26	0,27	103,8
Сохранность поголовья, %	100	100	–

В растениеводстве торф находит применение для улучшения плодородия почв, создания субстратов, для выращивания рассады, для мульчирования почвы и защиты растений от заморозков и сорняков. Его применяют при производстве питательных грунтов, компостов (торфо-минеральных, торфо-компостных и др.), гранулированных удобрений, гуминовых препаратов, мульчи, гранулированных раскислителей почв, торфяных мелиорантов, удобрений на основе биоконверсии, различных удобрительных составов. Как показывают данные для различных вариантов использования торфа (таблица 4), наиболее экономически эффективно получение торфогрунтов.

Но для сельскохозяйственного потребительского кооператива привлекательно и использование торфа для получения концентрированных удобрений, в том числе для продажи на сторону.

В состав торфоудобрений входят такие полезных вещества как: азот, фосфор, калий, кальций, магний, микроэлементы и гуминовые кислоты. Благодаря им, улучшается рост и развитие растений, увеличивается их устойчивость к болезням и неблагоприятным условиям, а также способствует увеличению урожайности. На основе торфа производят различные виды удобрений:

1. Верховой торф – подходит для выращивания овощей, ягод и цветов. Он имеет кислую среду, а также хорошо удерживает влагу.
2. Низинный торф – используется для улучшения структуры тяжелых глинистых почв и для подкисления щелочных почв.
3. Торфяные субстраты – применяются для выращивания растений в теплицах и на гидропонике.
4. Торф в гранулах и брикетах – используется для внесения в почву и длительного хранения.
5. Жидкие торфяные удобрения – содержат все необходимые питательные вещества и могут использоваться как для полива, так и для опрыскивания растений.
6. Гуминовые и органоминеральные удобрения на основе торфа применяют для обеспечивания растениям полным комплексом питательных веществ и улучшают структуру почвы.

Таблица 4 – Сравнительная эффективность различных направлений использования торфа

Направление использования	Расход торфа, т/га	Продолжительность использования, лет	Получено от 1 т торфа, навоза, компоста, торфогрунта		
			Зерновых единиц, ц	Стоимость, руб	Стоимостной эквивалент
Топливо	300	4	-	261	1,0
Удобрение					
чистый торф	20	60	0,22	132	0,5
постилочный торфяной навоз	10	120	0,60	360	1,4
торфонавозный компост	10	120	0,54	324	1,2
подстилочный помет	10	120	1,80	1080	4,1
торфопометный компост	10	120	0,80	480	1,8
Почва:					
многолетние травы	3,5	340	7,14	4284	16,4
зерновые	5	240	7,40	4440	17,0
пропашные	7	171	8,92	5352	20,5
Торфогрунты:					
"Росток"	2	600	10,00	6000	23,0
"Торфолин"	2	600	25,00	15000	57,5

Наиболее часто, в качестве непосредственного удобрения используют именно низинный торф из-за высокого содержания гумусовых веществ (таблица 5).

Таблица 5 – Состав органического вещества торфов по отношению (%) к общему органическому веществу

Тип торфа	Глубина, см	Битумы	Водорастворимые вещества	Гумусовые вещества	Гидролизуемые H_2SO_4		Негидролизуемый остаток
					1,0Н	80 %	
Верховой	0-8	2,6	3,1	12,1	15,6	34,7	32,4
	8-40	3,0	1,55	16,6	12,9	35,5	31,6
Низинный	0-3	2,9	5,5	34,5	7,4	16,3	32,3
	10-60	0,7	1,6	57,2	4,7	6,6	26,6
Навоз КРС	-	2,3	-	43,4	7,6	16,4	30,3

В низинном торфе содержится максимальное количество гумусовых веществ: в 2-5 раз больше, чем в верховом торфе, на 20-25 % выше, чем в навозе КРС [13].

Учёными ВНИИРАЭ был исследован препарат ГЕОТОН, который предназначается для предпосевной обработки семян и поверхностной обработки вегетирующих растений в периоды максимального роста. Содержащиеся в нём гуминовые кислоты были получены из разных месторождений торфа. Полученные результаты авторов [14] свидетельствуют о том, что для получения данного органоминерального комплекса предпочтительно использовать сырьё низинного торфа месторождений Дмитровского района Московской области и Клепиковского района Рязанской области, поскольку в их составе содержится до 42,5 % гуминовых кислот.

В таблице 6 показаны органические компоненты, которые можно извлечь из торфа и указана их биологическая активность. Гуминовые препараты содержат в своём составе множество полезных веществ: гуминовые кислоты, фульвокислоты, аминокислоты, витамины, минералы и др. Они способствуют росту и развитию растений, улучшают структуру почвы, а также могут снижать уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами, повышают урожайность различных культур. Они имеют различную форму для их использования: жидкость, порошки, гранулы, таблетки и др.

Таблица 6 – Органические компоненты гуминовых препаратов и их биологические функции

Вещества	Биологическая активность
Углеводороды ациклические, алициклические, ароматические. Алифатические кислоты – моно- и дикарбоновые, оксо-, оксимоно- и оксидикарбоновые, непредельные моно- и дикарбоновые кислоты.	Стимуляторы роста и развития растений
Ароматические кислоты – оксибензойные; с карбоксилом в насыщенной и ненасыщенной боковых цепях. Функциональные производные ароматических кислот.	Антисептики, элисторы (к элисторам относятся вещества, которые, имитируя контакт растения с фитопатогеном, провоцирует запуск защитных механизмов)
Фенолы, полифенолы и их производные. Спирты от изопропанола и выше, гликоли.	Антисептики, мягкие стрессоры, регуляторы окислительно-восстановительных процессов (например, гидрохиноны)
Аминокислоты и их производные.	Стимуляторы и элисторы
Производные витаминов	Стимуляторы роста и развития
Фитостерины (стеролы)	Брассиностероиды (оказывают влияние на процессы репродукции, созревания и старения)
Амины – пропиламин и гетероциклические. Индол и его производные (в том числе β-(индолил-3)-уксусная кислота) и ее этиловый эфир.	Регуляторы роста ауксинового ряда (способствуют активному образованию и росту корней, улучшают приживаемость растений при пересадке и размножении)

Гуминовые препараты играют важную роль в плодородии почвы.

Использование торфа в качестве удобрений, объясняется его многочисленными, необходимыми для сельскохозяйственных культур, свойствами, например, такими как, сорбционные и связующие показатели. Достоинства торфопродукции как удобрения в том, что она не приводит к загрязнению окружающей среды. По мнению авторов работы [15], ежегодные перспективные объемы применения торфа для сельского хозяйства приблизительно составят 15 млн. тонн. Соответственно для того, обеспечить данному показателю прирост, необходимо, в первую очередь модернизировать нормативные документы относительно добычи торфа и его дальнейшего применения. Например, ФЗ от 04.10.2010 № 260 относительно торфа исключит такое понятие как «агрохимикат», тем самым позволяя сельскохозяйственным производителям наращивать объемы вносимых в почвенные покровы органических удобрений на основе торфа.

Авторами [16] была изучена возможность использования торфа в качестве сорбента нефтепродуктов с последующей утилизацией в роли топлива. По проведенным исследованиям было установлено, что сорбированные нефтепродукты увеличивают теплоту сгорания торфа, а также вероятность использования для сжигания в качестве самостоятельного топлива, так и возможностью применения в роли добавки к традиционному топливу. Исходя из этого учёными были рассчитаны данные по экономии от сжигания торфа (таблица 7).

Таблица 7 – Экономия от сжигания торфа [22]

Вид торфа	Удельная теплота сгорания *q*, кВт/кг	Масса топлива *m*, кг	Количество полученной энергии *Q*, кВт	Эквивалентное количество природного газа *V*, м^3	Экономия от сжигания торфа вместо природного газа, тыс.руб
Торф с влажностью 65 %	3,01	4826254,8	14527024	2135071	12429
Торф, насыщенный моторным маслом	8,89	1633858,8	14525004	2134774	12778
Торф, насыщенный дизельным топливом	9,475	1533366	14528642	2135309	12792,7

Месторождения торфа обязательно сразу проверяют на возможность его использования в качестве котельного топлива. Котельни могут быть созданы на базе сельскохозяйственного потребительского кооператива.

Авторами [17] был получен патент на способ получения брикетов из торфа (рисунок 5). Полученные ими топливные брикеты отличались высокой механической прочностью, при этом не содержали в своём составе связующих веществ. Данный показатель очень важен при транспортировке, поскольку снижение его может привести к разрушению брикетов, повышению мелких фракций, что в свою очередь ведёт к потере топлива.

Рисунок 7 – Кусковой брикет торфа

Эффективность использования топливных брикетов в качестве топлива повышается за счет использования торфяной золы в качестве удобрения, содержащего кальций, фосфор, калий, а также ряд микроэлементов, необходимых для роста и развития культурных растений, в том числе и овощных культур [18,19].

Как показывают расчеты, от использования 1 т торфа на топливо может быть получен доход в размере 261 руб. В то же время при использовании торфа для производства компостов стоимость выращенной продукции составит от 108 до 360 руб., а для производства торфяных субстратов от 6000 до 15000 руб. на 1 т (табл. 4) [20]. Авторы [20] подчёркивают тот факт, что использование торфа в сельском хозяйстве позволяет получить значительно большую отдачу в виде добавленной стоимости по сравнению с его сжиганием в виде топлива.

В сельскохозяйственном потребительском кооперативе по переработке торфа можно правильно подойти к вопросу утилизации отходов

Отходами торфоперерабатывающих предприятий можно считать побочные продукты, которые образуются в процессе переработки торфа [21].

К ним относятся:

– остатки торфа, которые не были использованы в производстве;

– отходы от очистки и сортировки торфа;

– воду, используемую для увлажнения торфа;

– различные материалы, например, металл, стекло и пластик и др., которые могут попадать в торф при его добыче и переработке.

Перечисленные выше отходы могут быть утилизированы различными способами, включая их использование в качестве топлива, компоста или удобрения, а также их переработку для получения других продуктов. Важно правильно утилизировать эти отходы, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды и обеспечить эффективное использование ресурсов.

Помимо всего, добыча торфа с заболоченных земельных территорий, позволила бы снизить некоторые проценты выброса метана в атмосферный воздух.

Также стоит отметить одним из плюсов торфа является то, что он относится к возобновляемым источникам энергии, поскольку по проведенным исследованиям, на территории России ежегодно приходится прирост торфяной массы на 1 мм, что соответствует 1 млрд. куб.м. [22].

Заключение. Торфопродукция играет важную роль в сельском хозяйстве. Создание сельскохозяйственных потребительских кооперативов для переработки и комплексного использования торфопродуктов перспективно, так как реализуется простота технических решений, возможность масштабирования процессов, маловременные сроки реализации и экологичность получаемой продукции. Комплексное использование торфопродукции в сельском хозяйстве позволяет не только улучшить плодородие почв и повысить урожайность сельскохозяйственных культур, но и обеспечить эффективное использование торфа в качестве топлива, кормовых добавок, подстилок для животных, сорбента нефтепродуктов.

Список источников

1. Батуро В.А., Раковский В.Е. Химия торфообразователей // Труды института торфа АН БССР. Минск. – 1959. – №.7. – С. 18-21.
2. Пигулевская Л.В., Раковский В.Е. Химический состав торфообразователей и влияние его на состав торфов // Труды Института торфа АН БССР. Минск. – 1957. – №.6. – С. 7-12.
3. Драгунов С.С., Рождественский А.П. Химический состав гуминовых кислот // Труды Калининского политехнического института. – 1967. – №. 3. – С. 81-86.
4. Перминова И.В., Жилин Д.М. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии // Зеленая химия в России: сб. статей. Москва. 2004. С. 146-162.
5. Тимофеева С. С., Мингалеева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2014. – Т. 325. – № 4. – С. 46-55.
6. Штин С. М. Применение торфа как топлива для малой энергетики // Горный информ.-аналит. бюл. – 2011. – № 7. – С. 82-95.
7. Бородина Т.А., Соловьева Н.А. Повышение эффективности производства продукции растениеводства на основе применения торфа // Социально-экономический и гуманитарный журнал. – 2019. – №1(11). – С. 46-60.
8. Лиштван И.И. Основные свойства торфа и методы их определения / И.И. Лиштван, Н.Т. Король. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
9. Муромцев Г.С. Основы сельскохозяйственной биотехнологии / Г.С. Муромцев, Р.Г. Бутенко, Т.И. Тихоненко, М.И. Прокофьев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 384 с.
10. Гильфанов М.Ф., Шаймуллин А.Т., Хайруллина М.Р., С.А. Забелкин, А.Н. Грачев, Башкиров В.Н. Исследование свойств древесного угля основных лесообразующих пород республики Татарстан // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 21. – С. 112-114.
11. Патент RU 2 259 385 C1, опубл. 27.08.2005. Способ переработки торфа.
12. Майорова Ж.С., Эйвазов Д.А. Влияние гумата калия на продуктивность и здоровье откармливаемого молодняка свиней // Вестник БГАУ. – 2011. – №4. – С. 38-40.
13. Барановский И.Н., Ковалев Н.Г. Использование торфа в земледелии региона верхней волги / «Инновационные технологии использования торфа в сельском хозяйстве»: сборник

международной научно-практической конференции (г. Владимир, 2010 г.). – М: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИОУ, 2010. С. 32-43.

14. Торф – основа для производства нового высокоэффективного органоминерального комплекса геотон / А.Н. Ратников, Н.И. Санжарова, А.А. Суслов и др. // Вестник Брянской ГСХА. – №3(67). – 2018. – С. 24-28.

15. Пресс-служба Президента Республики Беларусь. – Режим доступа: https://president.gov.by/ru/belarus//. – Дата доступа: 01.12.2023.

16. Зверева Э.Р., Дремичева Е.С., Эминов А.А., Макеева Е.Н., Никулина Т.Н. Использование торфа в качестве сорбента нефти и нефтепродуктво с дальнейшей утилизацией отработанного материала в качестве топлива // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2023. – №3(94). – С. 44-57.

17. Патент RU 2463333 C2, опубл. 10.10. 2012. Способ получения брикетов из торфа.

18. Соловьёв П.П. Зола и её применение на удобрение / П.П. Соловьёв. – М.: Сельхозгиз. – 1952. – 110 с.

19. Еськов А.И., Лукин С.М., Анисимова Т.Ю. Результаты и перспективы исследований ГНУ ВНИИОУ по использованию торфа в земледелии / «Инновационные технологии использования торфа в сельском хозяйстве»: сборник международной научно-практической конференции (г. Владимир, 2010 г.). – М: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИИОУ, 2010. С. 4-15.

20. Бородина Т.А., Соловьева Н.А. Повышение эффективности производства продукции растениеводства на основе применения торфа // Социально-экономический и гуманитарный журнал. – 2019. – №1(11). – С. 46-60.

21. Никулин А.Н., Ковшов В.С., Ковшев В.П., Падунов А.В., Санжихаева В.А. Оценка объемов образования различных видов органических топливных ресурсов и анализ перспектив их использования в народном хозяйстве. – АПГГ, Т. 6. – №2. – 2012. – С. 56.

22. Лукин С.М., Анисимова Т.Ю. К вопросу о сельскохозяйственном торфоиспользовании в России // Мелиорация. – 2016. – №1(75). – С. 48-54.

References

1. Baturo V.A., Rakovsky V.E. Chemistry of peat formers // Proceedings of the Institute of Peat of the Academy of Sciences of the BSSR. Minsk. – 1959. – No.7. – pp. 18-21.

2. Pigulevskaya L.V., Rakovsky V.E. Chemical composition of peat formers and its influence on the composition of peat // Proceedings of the Institute of Peat of the Academy of Sciences of the BSSR. Minsk. – 1957. – No.6. – P. 7-12.

3. Dragunov S.S., Rozhdestvensky A.P. Chemical composition of humic acids // Proceedings of the Kalinin Polytechnic Institute. – 1967. – No. 3. – pp. 81-86.

4. Perminova I.V., Zhilin D.M. Humic substances in the context of green chemistry // Green chemistry in Russia: collection. articles. Moscow. 2004. pp. 146-162.

5. Timofeeva S.S., Mingaleeva G.R. Prospects for the use of peat in regional energy // Izv. Volume. Polytechnic un-ta. – 2014. – T. 325. – No. 4. – P. 46-55.

6. Shtin S. M. Application of peat as fuel for small-scale energy // Mining information-analyst. Bulletin – 2011. – No. 7. – P. 82-95.

7. Borodina T.A., Solovyova N.A. Increasing the efficiency of crop production based on the use of peat // Socio-economic and humanitarian journal. – 2019. – No. 1(11). – P. 46-60.

8. Lishtvan I.I. Basic properties of peat and methods for their determination / I.I. Lishtvan, N.T. King. – Minsk: Science and Technology, 1975. – 320 p.

9. Muromtsev G.S. Fundamentals of agricultural biotechnology / G.S. Muromtsev, R.G. Butenko, T.I. Tikhonenko, M.I. Prokofiev. – M.: Agropromizdat, 1990. – 384 p.

10. Gilfanov M.F., Shaimullin A.T., Khairullina M.R., S.A. Zabelkin, A.N. Grachev, Bashkirov V.N. Study of the properties of charcoal of the main forest-forming species of the Republic of Tatarstan // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2013. – No. 21. – P. 112-114.

11. Patent RU 2 259 385 C1, opubl. 27.08.2005. Sposob pererabotki torfa.

12. Mayorova Zh.S., Eyvazov D.A. The influence of potassium humate on the productivity and health of fattened young pigs // Vestnik BSAU. – 2011. – No. 4. – P. 38-40.

13. Baranovsky I.N., Kovalev N.G. The use of peat in agriculture in the upper Volga region / “Innovative technologies for the use of peat in agriculture”: collection of an international scientific and practical conference (Vladimir, 2010). – M: Russian Agricultural Academy – State Scientific Institution VNIIOU, 2010. P. 32-43.

14. Peat is the basis for the production of a new highly effective organomineral complex geoton / A.N. Ratnikov, N.I. Sanzharova, A.A. Suslov and others // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. – No. 3(67). – 2018. – pp. 24-28.

15. Press service of the President of the Republic of Belarus. – Access mode: https://president.gov.by/ru/belarus//. – Access date: 12/01/2023.

16. Zvereva E.R., Dremicheva E.S., Eminov A.A., Makeeva E.N., Nikulina T.N. The use of peat as a sorbent for oil and oil products with further utilization of waste material as fuel // Bulletin of the Gomel State Technical University named after. BY. Sukhoi. – 2023. – No. 3(94). – pp. 44-57.

17. Patent RU 2463333 C2, publ. 10.10. 2012. Method for producing briquettes from peat.

18. Solovyov P.P. Ash and its use as fertilizer / P.P. Solovyov. – M.: Selkhozgiz. – 1952. – 110 p.

19. Eskov A.I., Lukin S.M., Anisimova T.Yu. Results and prospects of research by State Scientific Institution VNIIOU on the use of peat in agriculture / “Innovative technologies for the use of peat in agriculture”: collection of international scientific and practical conference (Vladimir, 2010). – M: Russian Agricultural Academy – State Scientific Institution VNIIOU, 2010. P. 4-15.

20. Borodina T.A., Solovyova N.A. Increasing the efficiency of crop production based on the use of peat // Socio-economic and humanitarian journal. – 2019. – No. 1(11). – P. 46-60.

21. Nikulin A.N., Kovshov V.S., Kovshev V.P., Padunov A.V., Sanzhikhaeva V.A. Assessment of the volumes of formation of various types of organic fuel resources and analysis of the prospects for their use in the national economy. – APGG, T. 6. – No. 2. – 2012. – P. 56.

22. Lukin S.M., Anisimova T.Yu. On the issue of agricultural peat use in Russia // Melioration. – 2016. – No. 1(75). – pp. 48-54.

Информация об авторах

В. А. Брыксина – аспирант; Я.В. Каданцева – магистрант; Н.А. Курьято – младший научный сотрудник.

Information about the authors

V. Bryksina – graduate student; Ya. Kadantseva – master`s student; N. Kur`yato – junior researcher.

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

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

Поступила в редакцию (Received): 20.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 004.94; 631.363.7
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-93-101

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В «Flow Simulation» «SOLIDWORKS 2018» ПРОЦЕССА ОБТЕКАНИЯ ЛОПАТКИ СМЕСИТЕЛЯ КОРМОВ

Андрей Юрьевич Конев [1]***, Андрей Юрьевич Глазков*** [2]***, Николай Васильевич Хольшев*** [3]***,***
Алексей Владимирович Прохоров [4]***, Сергей Михайлович Ведищев*** [5]
[1,2,3,4,5] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1] konev.a1998@mail.ru, [2] glazkov.ay@mail.ru, [3] xhb@live.ru, [4] prohorov.av@mail.tstu.ru,
[5] serg666_65@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Николай Васильевич Хольшев, xhb@live.ru
Corresponding author: Nikolay Kholshev, xhb@live.ru

Реферат. *Получение качественных комбинированных кормов невозможно без эффективных смесителей. Для их совершенствования можно использовать программы имитирующих поведение сыпучих материалов, но большинство из них малодоступны и сложны в освоении. Предлагается применение для оценки движения сыпучих материалов более доступного программного обеспечения, моделирующего процесс течения жидкостей-«Flow Simulation» «SOLIDWORKS 2018». Использована ранее разработанная конструктивная схема, в которой рабочие органы смесителя являются комбинированными и содержат несколько участков лопаток с обоснованными геометрическими параметрами разного назначения (транспортирование и смешивание). Выполнена модель лопатки. Исследуемым параметром являлся угол установки лопаток смесителя относительно вала рабочего органа. Критерием выбора углов установки лопатки было выбрано наличие максимального количества областей потока со скоростями отличными от заданной для общего потока материала. В результате моделирования были получены распределения скорости потока при заданных углах установки лопатки с шагом градации полей скорости потока 0,393 м/с. Установлены граничные значения углов установки лопатки смесителя - от 0° до 60°. Этому критерию отвечают углы установки лопаток от 45° до 0° Показано, что результаты моделирования обтекания плоской лопатки с заданными размерами в целом не противоречат результатам уже существующих исследований. Дальнейшие исследования будут направлены на оценку результатов моделирования на основании натурных экспериментов с последующей корректировкой.*

Ключевые слова: *смешивание, угол установки лопаток, моделирование, смеситель кормов.*

METHODS AND RESULTS OF SIMULATION IN “FLOW SIMULATION” “SOLIDWORKS 2018” OF THE FLOW PROCESS AFTER A FEED MIXER BLADE

Andrey Konev [1]***, Andrey Glazkov*** [2]***, Nikolay Kholshev*** [3]***, Alexei Prokhorov*** [4]***,***
Sergey Vedishev [5]
[1,2,3,4,5] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1] konev.a1998@mail.ru, [2] glazkov.ay@mail.ru, [3] xhb@live.ru, [4] prohorov.av@mail.tstu.ru,
[5] serg666_65@mail.ru

Abstract. *It is impossible to obtain high-quality combined feeds without effective mixers. To improve them, you can use programs that simulate the behavior of bulk materials, but most of them are inaccessible and difficult to master. The use of more accessible software that simulates the process of fluid flow - “Flow Simulation” “SOLIDWORKS 2018” is proposed for assessing the movement of bulk materials. A previously developed design scheme was used, in which the working bodies of the mixer are combined and contain several sections of blades with reasonable geometric parameters for different purposes (transportation and mixing). A model of the scapula has been made. The parameter under study*

was the installation angle of the mixer blades relative to the shaft of the working element. The criterion for selecting blade installation angles was the presence of a maximum number of flow areas with velocities different from those specified for the overall material flow. As a result of the simulation, flow velocity distributions were obtained at given blade installation angles with a gradation step of flow velocity fields of 0.393 m/s. The limit values for the installation angles of the mixer blade are set from 0° to 60°. This criterion is met by blade installation angles from 45° to 0°. It is shown that the results of modeling the flow around a flat blade with given dimensions generally do not contradict the results of existing studies. Further research will be aimed at assessing the simulation results based on full-scale experiments with subsequent adjustments.

Keywords: *mixing, blade angle, modeling, feed mixer.*

Для цитирования: Конев А. Ю., Глазков А. Ю., Хольшев Н. В., Прохоров А. В., Ведищев С.М. Методика и результаты моделирования в «FLOW SIMULATION» «SOLIDWORKS 2018» процесса обтекания лопатки смесителя кормов // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 93-101. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-93-101.

For citation: Konev A., Glazkov A., Kholshev N., Prokhorov A., Vedishchev S. Methodology and results of modeling in “FLOW SIMULATION” “SOLIDWORKS 2018” the process of flow around a feed mixer blade. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 93-101. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-93-101.

Введение. Использование в полном объеме генетического потенциала продуктивности сельскохозяйственных животных зависит от многих факторов. Одним из которых является кормление животных с учетом их половозрастных особенностей. Наибольший эффект дает применение полнорационных кормовых смесей, обеспечивающих потребности животных всеми необходимыми элементами питания. Такие смеси содержат большое количество компонентов. От равномерности распределения ингредиентов кормовой смеси в порции корма зависит эффективность их применения [1, 2]. Допустимая неравномерность компонентов корма нормируется зоотехническими требованиями различными для каждого вида сельскохозяйственных животных и их половозрастных групп. Существует большое количество моделей смесительного оборудования, отличающихся различными параметрами. Основными характеристиками любого смесителя является его производительность, максимальная неоднородность смешивания и потребляемая мощность. Рост стоимости энергоресурсов и ужесточение требований к качеству смешивания определяет непрерывный процесс совершенствования конструктивно-режимных параметров смесительного оборудования с целью снижения максимальной неоднородности получаемой смеси и уменьшения удельной энергоемкости процесса смешивания [1 - 7]. Рабочие органы смесителей принудительного действия по своей форме разнообразны. Это могут быть шнековые или винтовые навивки, лопатки различной формы, прутковые мешалки. Каждая разновидность рабочего органа имеет свои преимущества и недостатки. Одним из перспективных направлений развития конструкции рабочих органов смесительного оборудования является применение комбинированных рабочих органов. Применение комбинированных рабочих органов позволяет организовывать технологический процесс смешивания компонентов в смесителе, используя положительные качества конкретного конструктивного решения рабочего органа [2, 8, 9].

В конструкции многих смесителей кормов широко применяются лопастные рабочие органы, отличающиеся низкой металлоемкостью, простотой конструкции и приемлемым качеством смешивания. Важными характеристиками лопатки являются ее высота и ширина, а также угол поворота лопатки относительно вала рабочего органа. Данные параметры существенно влияют на качество смешивания, производительность смесителя и потребляемую им на процесс смешивания мощность. существует большое количество рекомендаций по определению данных параметров, но они привязаны к конкретному конструктивному решению и технологической схеме смесителя [2, 3, 9, 10]. Однозначное установление рациональных значений этих параметров для конкретной конструктивно-технологической схемы смесителя возможно только опытным путем, что является ресурсозатратной задачей.

Развитие цифровых технологий позволило в последнее время с достаточной точностью осуществлять моделирование процесса перемещения и перемешивания сыпучих материалов при помощи специализированного программного обеспечения (Rocky DEM, ALTAIR EDEM) [11, 12, 13], а также алгоритмов, предлагаемых различными исследователями [14]. Данный подход получил достаточно широкое распространение и показал высокую эффективность, обеспечивая фактически создание цифровой модели процесса смешивания с высоким уровнем адекватности и возможностью оперативной корректировки входных параметров. Это существенно снижает затраты на проведение натурных экспериментов и время разработки и испытания нового смесительного оборудования, отвечающего современным или специфическим требованиям, позволяя часть натурных экспериментов заменить численными. Существенным препятствием использованию специализированных программных продуктов при научных исследованиях, проводимых аспирантами, является высокая стоимость лицензии и необходимость длительного обучения работе в данных программах. Препятствием использования алгоритмов, предлагаемых отдельными исследователями, является то, что они адаптированы под конкретную конструктивно-технологическую схему смесительного оборудования и могут быть перенастроены под другую схему только разработчиками, что не всегда возможно.

Существует также относительно большое количество систем автоматизированного проектирования, дополненные специализированными инструментами, позволяющими моделировать процессы протекания жидкостей и газов. Это, например, такие инструменты, как «KompasFlow» для «Компас 3D» и «Flow Simulation» для «SOLIDWORKS». Данные системы являются более доступными и распространенными. В первом приближении характер течении жидкости и потока сыпучего материла подобны. Этот факт можно использовать на начальном этапе оптимизации параметров конструкции смесительного оборудования с целью снижения объема исследований. В рамках данного исследования, для предварительного выбора рациональных значений углов встречи потока с лопаткой, имеющей заданные геометрические размеры, было решено произвести моделирование процесса обтекания лопатки в «Flow Simulation» «SOLIDWORKS 2018» [15].

Материалы и методы. С учетом ранее обоснованных геометрических параметров бункера смесителя были приняты внешний и внутренний радиусы лопатки - 125 мм и 80 мм, а также ее ширина по среднему радиусу - 160 мм, величина зазора между кромкой лопатки и дном бункера – 2,5 мм. Толщина лопатки 3 мм, а диаметр стойки лопатки - 25 мм. Коэффициент наполнения сечения был принят равным 1. На основании данных размеров была выполнена модель лопатки в «SOLIDWORKS 2018» (рисунок 1) [15]. Указанные размеры лопатки и ее форма были приняты с учетом конструктивно-технологической схемы смесителя, предложенной авторами данной работы в патенте RU2756742 [8]. В данной конструктивно-технологической схеме смесителя используются комбинированные рабочие органы с несколькими участками лопаток, имеющих различное назначение – транспортирование и смешивание.

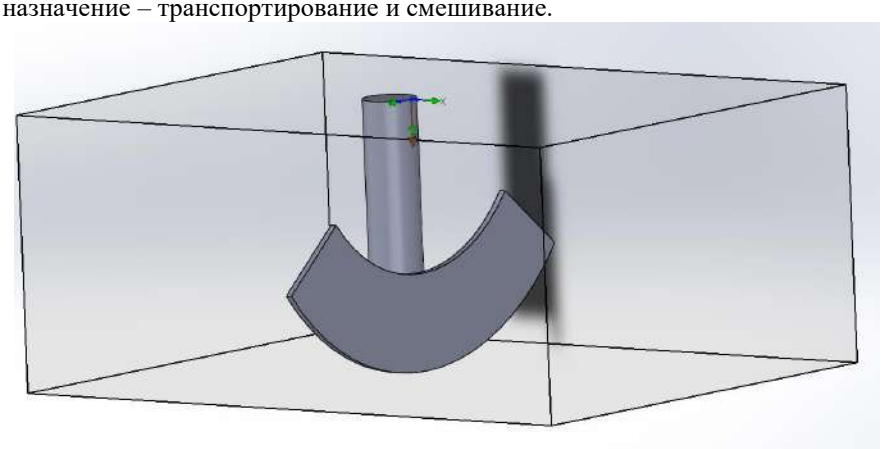
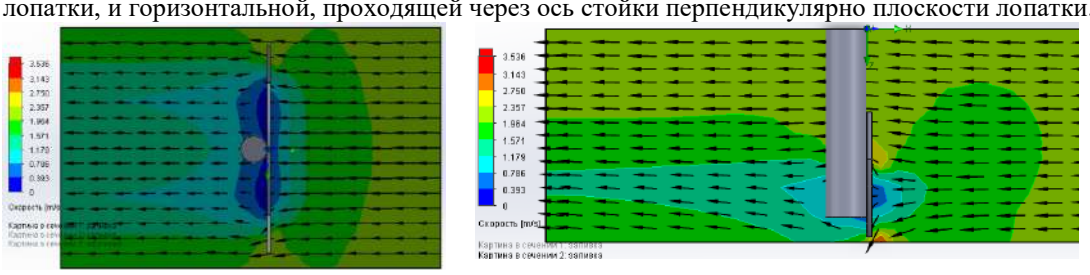


Рисунок 1 - Модель лопатки смесителя в «SOLIDWORKS 2018»

Угол установки лопатки отсчитывался от оси вала рабочего органа и изменялся от 0° до 80° с шагом 20° и дополнительно расчеты проводились для 45°. Изменение угла встречи лопатки и потока осуществлялось путем корректировки направления потока при неизменном положении лопатки. С учетом выбранной максимально допустимой частоты вращения рабочих органов и линейных размеров лопатки исходная скорость потока была принята равной 2 м/с.

Смешивание компонентов корма на уровне макрообъемов возможно при наличии в потоке корма слоев (объемов) корма с различными скоростями, чем больше количество таких слоев и меньше их толщина (объем), тем эффектнее смешивание. Лопатки смесителя с горизонтальным рабочим органом выполняют две функции - смешивание компонентов корма и перемещение смеси к выгрузному окну, поэтому необходимо устанавливать угол лопатки, обеспечивающий оптимальное выполнение этих задач. В данном исследовании критерием выбора рациональных значений углов встречи потока с лопаткой было принято наличие максимального количества областей с различными скоростями потока.

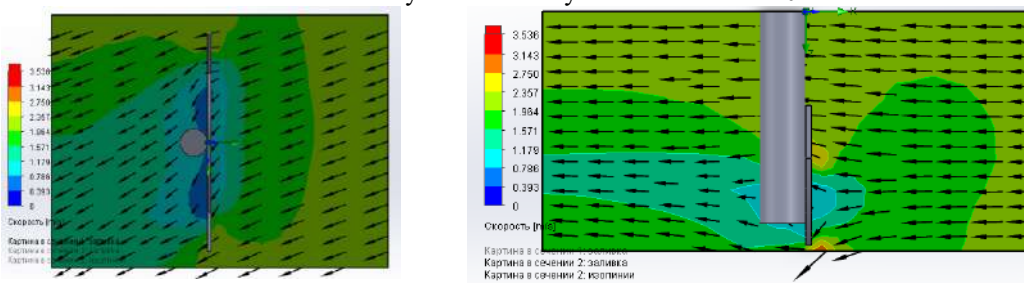
Результаты и их обсуждение. В результате моделирования были получены распределения скорости потока при заданных углах установки лопатки (рисунки 2 - 7). Шаг градации полей скорости потока составил 0,393 м/с. Во всех случаях рассматривались изополя распределения скорости потока в двух плоскостях - вертикальной, проходящей касательно через средний радиус лопатки, и горизонтальной, проходящей через ось стойки перпендикулярно плоскости лопатки.



а) б)

а - горизонтальная плоскость; б - вертикальная плоскость;

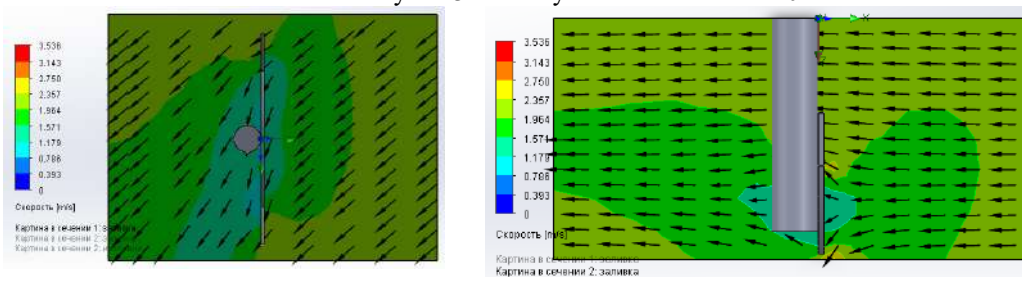
Рисунок 2 - Угол установки лопатки 0°



а) б)

а - горизонтальная плоскость; б - вертикальная плоскость;

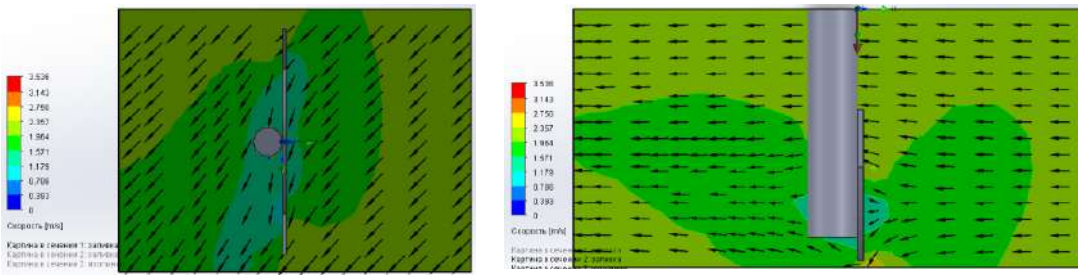
Рисунок 3 - Угол установки лопатки 20°



а) б)

а - горизонтальная плоскость; б - вертикальная плоскость;

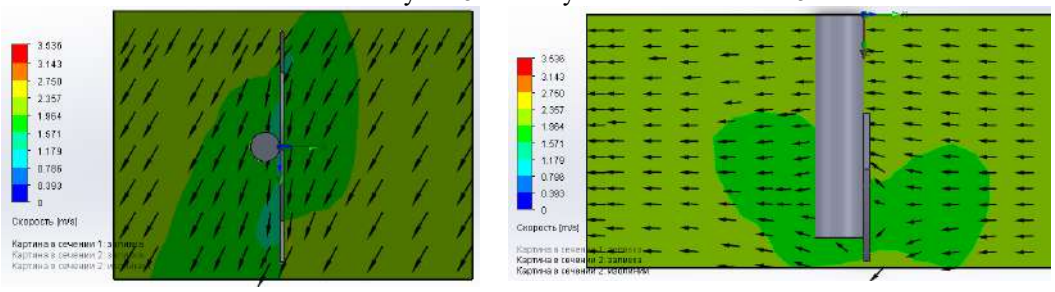
Рисунок 4 - Угол установки лопатки 40°



а) б)

а - горизонтальная плоскость; б - вертикальная плоскость;

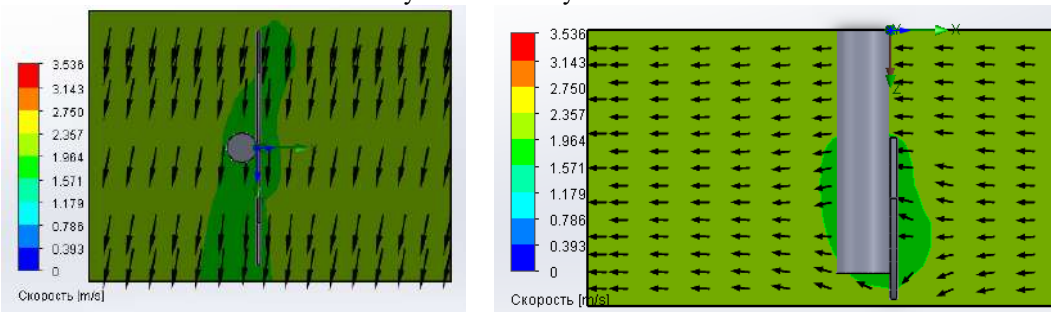
Рисунок 5 - Угол установки лопатки 45°



а) б)

а - горизонтальная плоскость; б - вертикальная плоскость;

Рисунок 6 - Угол установки лопатки 60°



а) б)

а - горизонтальная плоскость; б - вертикальная плоскость;

Рисунок 7 - Угол установки лопатки 80°

Из анализа рисунков 2-7 видно, что в обеих рассматриваемых плоскостях наибольшее количество областей с различной скоростью потока наблюдается при угле установки лопатки 0°. Уменьшение угла встречи потока с лопаткой ведет к снижению количества зон с различными скоростями и уменьшению их площади, достигая минимума при 80°. Это говорит о минимальном воздействии лопатки на поток смеси. Результаты моделирования показывают, что установка лопатки под углом более 60° не эффективно. Применение лопаток параллельных валу целесообразно только на тех участках, где не требуется организации осевого перемещения смеси. Для тех участков, где необходима организация осевого перемещения смеси различной интенсивности целесообразно применять углы установки лопаток больше 0° и не более 60°. На эффективность работы лопатки также оказывает форма контура поля скоростей, чем более она развита и имеет большую протяженность, тем интенсивнее процесс взаимопроникновения частиц из соседних слоев. Этому критерию отвечают углы установки лопаток от 45° до 0°.

Для количественной оценки зон с различной скоростью потока в программе «Компас 3D V16» был произведен расчет отношения площадей со скоростью отличной от исходной. Результаты расчетов приведены в таблице 1. Площадь зон определялась встроенными средствами программы

по полученным рисункам с приведением их к одному масштабу. При вычислении площади пределы измерений ограничивались радиусом лопатки, так как в реальном смесителе зона ее действия будет ограничена стенками бункера. Площадь зон потока с исходной скоростью потока во всех случаях имеет условный номер 1, далее определялись площади зон по порядку уменьшения скорости потока в них.

Таблица 1 – Количество и площади зон участков с различной скоростью

Угол лопатки), град.	Условный номер зоны	Площадь зон, мм^2		Отношение площади i-той зоны к площади зоны с исходной скоростью потока, %	
		В горизонтальной плоскости	В вертикальной плоскости	В горизонтальной плоскости	В вертикальной плоскости
0°	1	9113	12863	20,26	43,48
	2	18659	24	41,48	0,08
	3	12783	162	28,42	0,55
	4	956	11359	2,13	38,39
	5	2687	4283	5,97	14,48
	6	787	764	1,75	2,58
	7	-	132	-	0,45
	Итого	44985	29455	100,00	100,00
20°	1	12666	12760	23,26	42,19
	2	18994	21	34,87	0,07
	3	16715	140	30,69	0,46
	4	4986	12397	9,15	40,99
	5	1103	4472	2,03	14,79
	6	-	452	-	1,49
	Итого	54464	30242	100,00	100,00
40°	1	21366	16269	40,14	55,21
	2	23023	74	43,25	0,25
	3	8274	12453	15,54	42,26
	4	571	673	1,07	2,28
	Итого	53234	29469	100,00	100,00
45°	1	33238	23158	60,24	77,30
	2	20834	6799	37,76	22,70
	3	1103	-	2,00	0,00
	Итого	55175	29957	100,00	100,00
60°	1	33012	22432	61,29	78,12
	2	19752	6281	36,67	21,88
	3	1097	-	2,04	0,00
	Итого	53861	28713	100,00	100,00
80°	1	48232	28237	84,08	95,97
	2	9132	1187	15,92	4,03
	Итого	57364	29424	100,00	100,00

Из таблицы 1 видно, что рост угла установки лопатки ведет к увеличению площади зоны с неизменной скоростью потока относительно общей измеренной площади от 20,26% в горизонтальной и 43,48% в вертикальной плоскости при параллельном расположении лопатки и соответственно до 84,08% и 95,97% при угле установки лопатки 80°. Приведенные в таблице 1 данные в целом подтверждают сделанные ранее выводы: максимальное воздействие лопатки на смесь наблюдается при углах лопаток от 0° до 60°.

Выводы. Результаты моделирования обтекания плоской лопатки с заданными размерами в «Flow Simulation» «SOLIDWORKS 2018» в целом не противоречат результатам существующих исследований [2, 10, 16]. Применение предлагаемой методики на начальном этапе обоснования конструктивно-режимных параметров смесительного оборудования позволит сузить интервалы значений параметров оптимизации, тем самым уменьшив количество натурных экспериментов,

существенно сократив время разработки нового смесительного оборудования. Более точных результатов моделирования возможно достичь при применении специализированных программ, имитирующих поведение сыпучих материалов, но и они не позволят полностью отказаться от проведения натурных экспериментов, являющихся источником наиболее достоверной информации. Перспективным направлением применения численного моделирования является разработка «умных цифровых двойников» смесительного оборудования, предусматривающих возможность двухстороннего обмена информацией между моделью и реальным объектом. Но разработка таких «двойников» возможна также только с применением специализированных платформ. Предложенная методика и используемое программное обеспечение для ее реализации более доступны. Дальнейшие исследования будут направлены на оценку результатов моделирования на основании натурных экспериментов с последующей корректировкой. Дополнительно планируется проведение моделирования с использованием моделирования в «Flow Simulation» «SOLIDWORKS 2018» для установления граничных значений других конструктивных и технологических параметров исследуемого смесителя.

Список источников

1. Ревякин Е. Л., Пахомов В.И. Опыт освоения современных технологий и оборудования для внутрихозяйственных комбикормовых предприятий. - ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.

2. Хольшев, Н. В. Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных кормосмесей шнеколопастным смесителем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Мичуринск, 2015. 22 с.

3. Ведищев С. М. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи кормосмесей в сельскохозяйственных свиноводческих организациях: дис. ... д-р. техн. наук: 05.20.01. Тамбов, 2018. 381 с.

4. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурсусидзе, В.Ф. Некрашевич. – М.: Колос - 1999. – 528 с.

5. Коновалов, В.В. Повышение эффективности средств механизации приготовления и выдачи кормосмесей в свиноводстве: автореф. дис. … д-р. техн. наук: 05. 20. 01. – Пенза, 2005. 40 с.

6. Мартынов В.К. Совершенствование технологического процесса приготовления полнорационных кормосмесей в планетарном смесителе периодического действия за счет интенсификации взаимопроникновения смешиваемых ингредиентов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05. 20. 01. – Саратов, 2005. 23 с.

7. Чупшев А.В. Повышение качества смешивания сухих микродобавок с обоснованием конструктивных и технологических параметров смесителя: дис. … канд. техн. наук: 05. 20. 01. - Пенза, 2009. 153 с.

8. Патент 2756742 C1 РФ, МПК A23N 17/00, B01F 7/00. Смеситель кормов // С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров [и др.]; № 2020122691: заявл. 09.07.2020: опубл. 05.10.2021. Бюл. № 28.

9. Ведищев С. М. Обоснование перспективного шнеколопастного смесителя / С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев, А.В. Прохоров // Труды ТГТУ: сборник научных статей молодых ученых и студентов. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2008. – 320 с. – Вып. 21., С.12 - 16.

10. Дёмин О. В. Совершенствование методов расчета и конструкций лопастных смесителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Тамбов, 2003. 240 с.

11. Altair EDEM [Электронный ресурс] URL: https://hyperworks.compmechlab.ru/article/altair-edem (дата обращения 25.09.2023 г.)

12. Rocky DEM [Электронный ресурс] URL: https://www.rocky-dem.ru/software/ (дата обращения 25.09.2023 г.)

13. Кикин Н. О., Ханина Е. Г., Ефросимов К. Е. Применение программной среды EDEM для анализа качества смешения в лопастном смесителе// Механизация и автоматизация строительства: сборник статей. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2020. – С. 70-75.

14. Иммитационная математическая модель процесса смешивания сыпучих компонентов в смесителе / А. Н. Остриков, Л. Н. Фролова, А. И. Александров, В. В. Посметьев // Вестник

Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81, № 2(80). – С. 13-21. – DOI 10.20914/2310-1202-2019-2-13-21.

15. Моделирование процесса обтекания лопатки кормом в модуле Flow Simulation Solidworks / А. Ю. Конев, А. Ю. Глазков, Н. В. Хольшев [и др.] // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы V-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2023. – С. 184-187.

16. Кулаковский И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов. Ч.2. // И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. - М.: Россельхозиздат - 1987. - 285 с.

References

1. Revyakin E.L., Pakhomov V.I. Experience in mastering modern technologies and equipment for on-farm feed mills. - Federal State Scientific Institution “Rosinformagrotekh”, 2009. – 80 p. (In Russ.)

2. Kholshev, N.V. Improving the technological process of preparing dry loose feed mixtures with an auger-blade mixer: abstract of thesis. dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01. Michurinsk, 2015. 22 p. (In Russ.)

3. Vedishchev S. M. Improvement of technologies and technical means for preparing and distributing feed mixtures in agricultural pig-breeding organizations: dis. ... dr. tech. Sciences: 05.20.01. Tambov, 2018. 381 p. (In Russ.)

4. Mechanization and technology of livestock production / V.G. Koba, N.V. Braginets, D.N. Mursusidze, V.F. Nekrashevich. – M.: Kolos - 1999. – 528 p. (In Russ.)

5. Konovalov, V.V. Increasing the efficiency of mechanization of preparation and distribution of feed mixtures in pig farming: abstract of thesis. dis. ... dr. tech. Sciences: 05. 20. 01. – Penza, 2005. 40 p. (In Russ.)

6. Martynov V.K. Improving the technological process of preparing complete feed mixtures in a planetary batch mixer by intensifying the interpenetration of mixed ingredients: abstract of thesis. dis. ...cand. tech. Sciences: 05. 20. 01. – Saratov, 2005. 23 p. (In Russ.)

7. Chupshev A.V. Improving the quality of mixing dry microadditives with justification of the design and technological parameters of the mixer: thesis. ...cand. tech. Sciences: 05. 20. 01. - Penza, 2009. 153 p. (In Russ.)

8. Patent 2756742 C1 RF, IPC A23N 17/00, B01F 7/00. Feed mixer // S. M. Vedishchev, A. I. Zavrazhnov, A. V. Prokhorov [etc.]; No. 2020122691: application. 07/09/2020: publ. 05.10.2021. Bull. No. 28. (In Russ.)

9. Vedishchev S. M. Justification of a promising auger-blade mixer / S. M. Vedishchev, N. V. Kholshev, A. V. Prokhorov // Proceedings of TSTU: collection of scientific articles by young scientists and students. – Tambov: Tamb. state tech. univ., 2008. – 320 p. – Vol. 21., pp. 12 - 16. (In Russ.)

10. Demin O. V. Improvement of calculation methods and designs of paddle mixers: dis. ...cand. tech. Sciences: 02/05/13. Tambov, 2003. 240 p. (In Russ.)

11. Altair EDEM [Electronic resource] URL: https://hyperworks.compmechlab.ru/article/altair-edem (accessed September 25, 2023) (In Russ.)

12. Rocky DEM [Electronic resource] URL: https://www.rocky-dem.ru/software / (date accessed 09/25/2023) (In Russ.)

13. Kikin N. O., Khanina E. G., Efrosimov K. E. Application of the EDEM software environment for analyzing the quality of mixing in a paddle mixer // Mechanization and automation of construction: collection of articles. – Samara: Samara State Technical University, 2020. – pp. 70-75. (In Russ.)

14. Simulation mathematical model of the process of mixing bulk components in a mixer / A. N. Ostrikov, L. N. Frolova, A. I. Aleksandrov, V. V. Posmetyev // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2019. – T. 81, No. 2(80). – P. 13-21. – DOI 10.20914/2310-1202-2019-2-13-21. (In Russ.)

15. Modeling the process of feed flow around a blade in the Flow Simulation Solidworks module / A. Yu. Konev, A. Yu. Glazkov, N. V. Kholshev [etc.] // Modern science: theory, methodology, practice: Materials of the V All-Russian (national) scientific and practical conference. – Tambov: Publishing House IP Chesnokova A.V., 2023. – P. 184-187. (In Russ.)

16. Kulakovsky I.V. Machines and equipment for preparing feed. Part 2. // I.V. Kulakovsky, F.S. Kirpichnikov, E.I. Reznik. - M.: Rosselkhozizdat - 1987. - 285 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Конев А. Ю. - аспирант; Глазков А. Ю. - аспирант; Хольшев Н. В. – кандидат технических наук, доцент; Прохоров А. В. – кандидат технических наук, доцент; Ведищев С. М. - доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

Konev A. - graduate student; Glazkov A. - graduate student; Kholshev N. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Prokhorov A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Vedishchev S. - Doctor of Technical Sciences, Professor.

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

Поступила в редакцию (Received): 25.10.2023 Принята к публикации (Accepted): 12.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 004.932.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-102-110

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Дарья Сергеевна Пожидаева [1], Максим Юрьевич Левин [2], Станислав Александрович Нагорнов [3], Ирина Анатольевна Коваленко [4], Любовь Александровна Лунева [5]
[1,2,4] *Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия*
[1] pozhidaeva28@mail.ru, [2] lmu@list.ru
[3] *ВНИИТиН, г. Тамбов, Россия*
[3] snagornov@yandex.ru
[5] *МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*
[5] luneva@bmstu.ru

Автор, ответственный за переписку: Дарья Сергеевна Пожидаева, pozhidaeva28@mail.ru
Corresponding author: Darya Pozhidaeva, pozhidaeva28@mail.ru

Реферат. *В работе приведён обзор аппаратного устройства систем машинного зрения, рассмотрены основные принципы обработки изображений биотехнических систем и соответствующий математический аппарат на примере использования технологии машинного зрения в цифровой дерматоскопии. Извлеченная системой машинного зрения цифровая информация передается в специальное программное обеспечение для обработки изображения методами машинного обучения, среди которых в работе отмечены такие как: нейронные сети, регрессия, классификация, детектирование объектов. Приведена классификация нейронных сетей, которые применяются для машинного зрения и дана их краткая характеристика по практическому применению. Рассмотренные методы систем машинного зрения в биотехнологической практике с применением сверточных нейронных сетей открывают возможности для повышения качества визуальной диагностики. Для анализа эфективности применения CNN в работе проводилось сравнение с ранее известными методами классификации цифровых объектов. С применением пакета прикладных программ Statistica, проведенный сверточной нейронной сетью анализ цифрового объекта выявил различные цветовые области. Точность классификации областей цифрового объекта составила 94,7 %, что говорит о высокой точности распознавания цифрового объекта с применением CNN и на 1,5% точнее статистических методов классификации.*

Ключевые слова: *машинное зрение, компьютерное зрение, обработка изображений, автоматизация, дерматоскопия.*

IMPROVING THE MACHINE VISION ALGORITHM IN BIOTECHNICAL SYSTEMS USING NEURAL NETWORKS

Daria Pozhidaeva [1], Maxim Levin [2], Stanislav Nagornov [3], Irina Kovalenko [4], Lyubov Luneva [5]
ALL-Russian research Institute for the use of machinery and petroleum products in agriculture,
[1,2,4] *Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia*
[1] pozhidaeva28@mail.ru, [2] lmu@list.ru
[3] *VNIITiN, Tambov, Russia*
[3] snagornov@yandex.ru
[5] *Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*
[5] luneva@bmstu.ru

Abstract. *A review of the hardware design of machine vision systems is given in the work; the basic principles of image processing of biotechnical systems and the corresponding mathematical apparatus are considered using the example of the use of machine vision technology in digital dermatoscopy. The digital information extracted by the computer vision system is transferred to special software for image processing using machine learning methods, among which the work highlights the following: neural networks, regression, classification, and object detection. A classification of neural networks that are used for computer vision is given and a brief description of their practical application is given. The considered methods of computer vision systems in biotechnological practice using convolutional neural networks open up opportunities for improving the quality of visual diagnostics. A comparison with previously known methods for classifying digital objects was carried out in the work to analyze the effectiveness of using CNN. Analysis of the digital object by a convolutional neural network using the Statistica software package revealed different color regions. The accuracy of classification of areas of a digital object was 94.7%, which indicates a high accuracy of digital object recognition using CNN and is 1.5% more accurate than statistical classification methods.*

Keywords: *machine vision, computer vision, image processing, automation, dermatoscopy.*

Для цитирования: Пожидаева Д.С., Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Коваленко И.А., Лунева Л.А. Совершенствование алгоритма машинного зрения в биотехнических системах с применением нейронных сетей // Наука в Центральной России. 2023. Т. 66, № 6. С. 102-110. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-6-102-110.

For citation: Pozhidaeva D., Levin M., Nagornov S., Kovalenko I., Luneva L. Improving the machine vision algorithm in biotechnical systems using neural networks. *Nauka v central'noj Rossii =* Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 102-110. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-102-110.

Введение. В последние десятилетия в нашей стране активно развивается отрасль научных знаний в биотехнических системах и технологиях. Предлагаются новые научные и технические решения для улучшения качества сельскохозяйственной продукции, животноводства, автотранспорта, жизни человека.

В настоящее время под термином «биотехнические системы» (БТС) подразумеваются системы, состоящие из биологических и технических элементов, связанных между собой для выполнения различного рода задач [1] в сельском хозяйстве, транспорте, охране труда и промышленной безопасности, медицине и других отраслях. БТС способны решить следующие задачи: инструментальная диагностика, реабилитация, контроль состояния окружающей среды, лечение заболеваний, обеспечение биологической и химической защиты и так далее. Повысить точность работы и расширить функциональные возможности БТС можно с помощью интеграции новых технологий, таких как искусственный интеллект и машинное зрение с целью распознавания контента или содержимого цифрового изображения.

Согласно определению, машинное зрение – это автоматизированная технология получения, обработки и анализа изображений объектов, использующаяся для решения прикладных задач [2]. С помощью машинного зрения программное обеспечение способно провести классификацию исследуемого цифрового объекта, выделить конечные наборы фиксированных признаков.

Перспективными областями применения машинного зрения являются те отрасли, в которых необходимо принимать решения, подкрепленные выверенными математическими расчетами. Например, в сельском хозяйстве – это определение участков с заболеваниями культур, с недостатком полива, удобрений; а медицине и ветеринарии – это дерматоскопия, неизвазивный метод визуальной диагностики кожи посредством распознавания специфических признаков заболеваний с последующей объективной оценкой различных параметров (геометрических, структурных, цветовых и т. д.). Именно этот метод применяется при диагностике меланомы – онкологического заболевания кожи, на долю которого приходится 80% смертельных исходов появления кожных новообразований. Поскольку за последние 50 лет распространённость меланомы значительно возросла [3–4], её своевременная диагностика с помощью современных

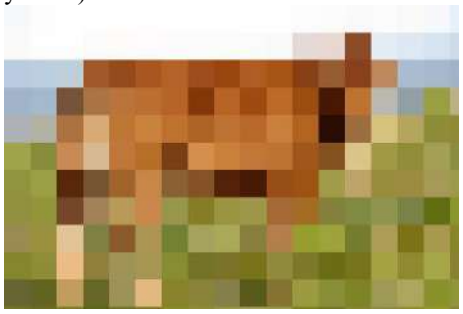
технологий является актуальной задачей. В работе усовершенствован метод машинного зрения на примере определения меланомы с применением нейронных сетей глубокого обучения.

Материалы и методы. В работе использовались методы машинного зрения, для получения и обработки информации, а также пакет прикладных программ Statistica Automated Neural Networks для создания и обучения сверточной нейронной сети. В качестве математического аппарата для повышения качества изображения был применен частотный Фурье-преобразователь. Система машинного зрения включает несколько основных компонентов: камера, специализированная система освещения объекта, система передачи результатов (физические входы/выходы, протоколы передачи данных), программное обеспечение для обработки изображений [5].

Камеры машинного зрения должны обеспечивать получение чётких изображений, а также при необходимости – точную передачу цветов объекта съёмки. Поэтому одним из требований, предъявляемым к камерам, является большая площадь светочувствительных элементов (пикселей).

В формировании цифрового изображения участвует твердотельная матрица, состоящая из фотодетекторов. Такими элементами могут быть приборы с зарядовой связью (ПЗС, или CCD), а также металл-оксид-полупроводниковые устройства (КМОП, или CMOS).

От количества пикселей в матрице зависит чёткость и информативность изображения (рисунок 1).



16-пиксельная (4x4 матрица)

81-пиксельная (9x9 матрица)

400-пиксельная (20x20 матрица)

2025-пиксельная (45x45 матрица)

11881-пиксельная (109x109 матрица)

Рисунок 1 – Матрицы, используемые в камерах машинного зрения

Камеры, используемые в диагностике, должны иметь разрешение до 20 мегапикселей, а также осуществлять возможность производить предобработку полученных данных. Для этого камеры машинного зрения обеспечиваются программно-вычислительным модулем. Данная технология позволяет разгрузить процессор компьютера, взяв на себя операции по кодировке и коррекции изображения [6].

В цифровых камерах, которые используются в дерматоскопах, на светочувствительные детекторы производится наслоение комплекса графических цифровых фильтров, который называется матрицей (шаблоном) Байера (рисунок 2). В каждом структурном элементе матрицы содержится два зеленых, один красный и один синий пиксель. Такая схема распределения цветов является наиболее распространенной.

G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G
G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G
G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G

Рисунок 2 – Шаблон Байера

Зафиксированные отдельными цветными пикселями значения интенсивности используются для вычисления цветовых значений. Происходит экстраполяция значений интенсивности на данные цветовой модели RGB (R – red, G – green, B – blue; каждый цвет кодируется 8 битами). Этот процесс известен как дебайеризация, он осуществляется непосредственно во встроенном вычислительном модуле современных камер машинного зрения.

Извлеченная системой машинного зрения информация передается в компьютер с целью дальнейшей обработки изображения с помощью программных средств [5] и методов машинного обучения, среди которых можно выделить такие как: нейронные сети, регрессия, классификация, детектирование объектов. Приведем классификацию нейронных сетей для машинного зрения в таблице 1.

Таблица 1. Нейронные сети для машинного обучения

Код сети	Наименование нейронной сети	Основные особенности
CNN	Сверточные нейронные сети	С помощью свертки и пуллинга производится извлечение признаков из цифрового объекта для последующей классификации или сегментации
DCGAN	Глубокие сверточные генеративные модели	На основе обучающего примера генерирует новые цифровые объекты
RNN	Рекуррентные нейронные сети	Производят анализ текстов или временных рядов, учитывая предыдущие состояния

Применение глубокого обучение в компьютерном зрении в совокупности с различными классами нейронных сетей позволяют создавать и расширять возможности сложных биотехнических систем.

Результат и их обсуждение. Проведем совершенствование алгоритма машинного зрения в биотехнических системах с применением нейронных сетей на примере оценки изображения пигментного пятна на коже, полученного при помощи камеры дерматоскопа в работе [8].

При первоначальной обработке цифрового снимка создается гистограмма. Для монохромного изображения гистограмма представляет собой таблица, где каждый элемент – число, отражающее количество пикселей с конкретным уровнем яркости. Всего таких уровней 256. Аналогичным образом формируется гистограмма цветного изображения, в которой отражается число пикселей каждого из цветов модели RGB (рисунок 3).

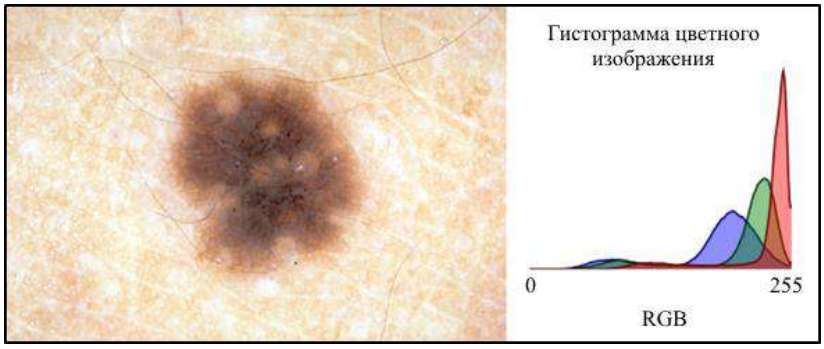


Рисунок 3 – Цветное изображение и его гистограмма

На данном этапе можно автоматически выделить наличие определённых цветов, которые учитываются при дерматоскопии: белый, красный, бежевый, коричневый, сине-серый, черный. Качественная оценка наличия каждого из данных цветов конвертируется в количественную оценку в баллах: каждому обнаруженному цвету соответствует один балл. Чем больше баллов, тем выше общий дерматоскопический индекс, позволяющий оценить злокачественность образования.

Далее для выделения объекта интереса (в данном случае – пигментного пятна) применяется бинаризация (рисунок 4). Бинаризацией называют процесс преобразования данных, сигналов или изображений в двоичную форму, то есть форму, которая имеет только два возможных значения или состояния: 0 и 1. В данном случае такому преобразованию подвергается яркость пикселей [6].

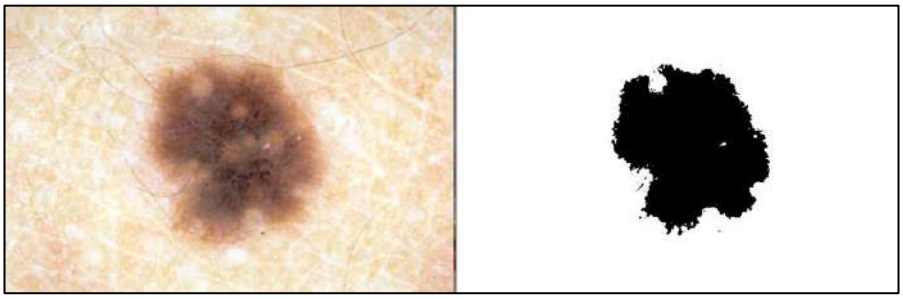


Рисунок 4 – Бинаризация изображения по яркости с порогом 146

Пороговое значение бинаризации определяет такой уровень яркости, выше которого все значения будут приравнены к максимальному уровню (белый цвет); соответственно, пиксели с уровнем яркости ниже порога приобретут минимальную яркость (чёрный цвет).

В цветных изображениях аналогичная бинаризация может проводиться по компоненту тона, что позволит увеличить точность распознавания пигментного образования на коже. Сформированное таким образом бинарное изображение подвергается дальнейшему анализу, включающему оценку геометрических параметров пятна. Для этого процесса используется определённый математический аппарат [7].

Площадь области *A*:

$$S = \sum_{y=Y\min}^{Y\max} \sum_{x=X\min}^{X\max} g(x, y),$$

где g(x,y) – множество пикселей, принадлежащих области *A*.

Вычисление центра тяжести графической области производится путем формирования начальных координат Y_C и X_C, которые рассчитывают как среднее значение координат в графическом пространстве *A* и обозначают (x, y):

$$Y_C = \frac{1}{S} \sum_{(x,y)\in A} y; \qquad X_C = \frac{1}{S} \sum_{(x,y)\in A} x.$$

Периметр при количестве граничных точек равном N:

$$P = \sum_{i=1}^{N} r_i; \quad r_i = \sqrt{\left(x_{i+1} - x_i\right)^2 + \left(y_{i+1} - y_i\right)^2}.$$

Расчетным значением коэффициента формы является отношение квадрата периметра к площади и записывается выражением:

$$K = \frac{P^2}{S}.$$

Расчетным значением округлости являются выражения:

$$C = \frac{m_A}{\sigma_A}; \quad m_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} r_{ic}; \; \sigma_A = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} \left(r_{ic} - m_A\right)^2};$$

где m_A – среднее расстояние от центра тяжести до граничных пикселей;

σ_A – среднеквадратическое отклонение этих расстояний.

Данные параметры позволяют дать количественную оценку критериям асимметрии, формы пигментного пятна, провести сегментирование для оценки границ кожного образования. Общий дерматоскопический индекс (ОДИ), по которому проводится объективная оценка злокачественности меланомы, определяется по формуле:

ОДИ = 1,3А + 0,1Г + 0,5Ц + 0,5Д,

где А – асимметрия пигментного пятна, Г – чёткость границ, Ц – цвета, Д – дифференциация структур.

При *ОДИ ≤ 4,75* новообразование считается доброкачественным, значения выше этого являются признаком злокачественности меланомы.

По данным проведённых исследований, при анализе снимков меланом по этому алгоритму с помощью машинного зрения чувствительность (процент обнаруженных заболеваний) составляет 93,75%, специфичность (процент обнаруженных здоровых людей) 79,9% (p<0,01) [8], что свидетельствует о высоком уровне точности данного метода и больших перспективах применения машинного зрения для автоматической диагностики заболеваний кожи.

Данный алгоритм можно усовершенствовать с применением CNN, которые являются биологическим аналогом многослойной персептронной нейронной сети, с отличием что сеть имеет один общий вес. Запишем алгоритм обучения такой сети. Учитывая входное изображение I и фильтр (ядро) K размером M×N, операция свертки определяется выражением:

$$(I * K)_{i,j} = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I(i+m, j+n) K(-m, -n)$$

Легко видеть, что свертка в данном случае является взаимной корреляцией с перевернутым ядром K, где K(-m,-n) == K(m,n). CNN будет состоять из сверточных слоев с входным изображение I и фильтрами K и смещением b.

Фильтр K в нашем случае является частотным методом улучшения качества цифровых объектов. В основе данного метода положено Фурье-преобразование функции двух переменных. Запишем выражение для прямого Фурье-преобразование дискретное функции, обозначенной как *f(x, y)*, где переменные *x* и *y* являются пространственными, примененной к цифровому объекту с размерами M×N:

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)e^{-i2\pi\left(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N}\right)},$$

где u = 0,1,2... M – 1; v = 0,1,2... N – 1, которые также называют переменными преобразования или частотными переменными.

Теперь запишем выражение для обратного Фурье-преобразование, примененной к этому же цифровому объекту:

$$f(x,y)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}F(u,v)e^{i2\pi\left(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N}\right)}.$$

Частотная область цифрового объекта является пространством, в котором происходит изменение значений методом Фурье-преобразования переменных (u, v).

В случае с изображением на рисунке 3 мы получаем сверточную нейронную сеть с высотой изображения H, шириной W и тремя каналами цветов C=3 (RGB):

$$(I*K)_{i,j}=\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1}\sum_{c=1}^{C}K_{m,n,c}\cdot I_{i+m,j+n,c}+b$$

Для обучения такой сети применяется алгоритм обратного распространения ошибки (E).

$$\frac{\partial E}{\partial x_{i`,j`}^{l}}=rot_{180^\circ}\left\{\sum_{m=0}^{k1-1}\sum_{n=0}^{k2-1}\delta_{i`+m,j`+n}^{l+1}\cdot w_{m,n}^{l+1}\right\}f(x_{i`,j`}^{l})$$

где δ – предыдущий слой нейронной сети.

С учетом гипербалического тангенса в качестве функции активации f = 1,7159 th(0,66x) получим[9]:

$$\frac{\partial E}{\partial x_{i`,j`}^{l}}=rot_{180^\circ}\left\{\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1}\delta_{i`+m,j`+n}^{l+1}\cdot w_{m,n}^{l+1}\right\}1{,}7159th(0{,}66x_{i`,j`}^{l})$$

С применением пакета прикладных программ Statistica, проведенный сверточной нейронной сетью анализ рисунка 3 выявил различные цветовые области. Точность классификации цифрового объекта составила 94,7 %, что говорит о высокой точности распознования цифрового объекта с применением CNN.

Выводы. В настоящее время сделан большой шаг в научном познании машинного зрения для цифровых объектов. Однако, несмотря на полученные положительные результаты работы машинного зрения, существующие автоматизированные системы пока не могут составить конкуренцию человеку. Вместе с тем проблема цифрового зрения является краеугольной при внедрении интеллектуальных систем в практику. Поэтому в области компьютерного распознавания цифровых объектов существует ряд общих до сих пор нерешенных проблем, для решения которых прикладываются усилия ученых и разработчиков всего мира.

Одна из центральных – это то, что проблемы данного направления необходимо решать в условиях ограниченного ресурса времени. Рассмотренные в настоящей работе принципы использования систем обработки изображений в биотехнологической практике и соответствующий математический аппарат на примере использования технологии машинного зрения в цифровой дерматоскопии с применением сверточных нейронных сетей открывают

возможности для повышения качества визуальной диагностики. Анализ эффективности применения CNN в сравнении с методом, представленным в работе [8], показал хорошие результаты. Использование машинного зрения в цифровой дерматоскопии выявило ряд преимуществ, включая увеличение скорости и точности диагностики, возможность анализа больших объемов данных и автоматизацию рутинных процедур. С применением пакета прикладных программ, проведенный сверточной нейронной сетью анализ рисунка из работы [8] выявил различные цветовые области. Точность классификации цифрового объекта составила 94,7 %, что говорит о высокой точности распознавания цифрового объекта с применением CNN по сравнению с точностью статистических методов классификации.

Список источников

1. Акулов С.А., Федотов А.А. Основы теории биотехнических систем. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 259 с. – ISBN 978-5-9221-1552-0.

2. Ситников В. В., Люминарский В. В., Коробейников А. В. Обзор методов распознавания объектов, используемых в системах машинного зрения. // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 4, 222 – 229 с.

3. Римская Е.Н., Аполлонова И.А. Разработка требований для автоматизированного комплекса экспресс-диагностики пигментных новообразований кожи // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 6.Ч. 5

4. Эркенова Ф.Д., Пузин С.Н. Статистика меланомы в России и странах Европы // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2020; 23(1): 44−52.

5. Основы машинного зрения / Френк Лэмб; перевод с английского В. Рентюка // Control Engineering Россия. 2019, №1 (79), 59–62 с.

6. Берингер П., Деттмер Д. Камеры машинного зрения в медицине. Анализ возможностей ПЗС-/КМОП-сенсоров с акцентом на обеспечении точности цветовоспроизведения: технический документ Basler AG.

7. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

8. Козлов С. В., Неретин Е.Ю., Куколкина В.В. Перспективы применения «машинного зрения» в цифровой дерматоскопии при подозрении на меланому кожи. Саратовский научно-медицинский журнал 2014; №10 (2): 281–285 с.

9. Левин М.Ю. Формализация алгоритма проектирования архитектуры нейронных сетей на практике [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. 2016. № 1 (19). С. 81-97.

References

1. Akulov S.A., Fedotov A.A. Fundamentals of the theory of biotechnical systems. – M.: FIZMATLIT. – 259 p. – ISBN 978-5-9221-1552-0.

2. Sitnikov V. V., Luminarsky V. V., Korobeynikov A.V. Review of object recognition methods used in machine vision systems. // Bulletin of IzhSTU named after M. T. Kalashnikov. 2018. Vol. 21, No. 4, 222-229 p.

3. Rimskaya E.N., Apollonova I.A. Development of requirements for an automated complex of express diagnostics of pigmented skin neoplasms // Modern scientific research and innovations. 2015. No. 6.Ch. 5

4. Erkenova F.D., Puzin S.N. Statistics of melanoma in Russia and European countries // Medico-social expertise and rehabilitation. 2020; 23(1): 44-52.

5. Fundamentals of machine vision / Frank Lamb; translated from English by V. Rentyuk // Control Engineering Russia. 2019, No. 1 (79), 59-62 p.

6. Behringer P., Dettmer D. Machine vision cameras in medicine. Analysis of CCD/CMOS Sensor Capabilities with a Focus on Color Accuracy: Basler AG White Paper.

7. Fisenko V.T., Fisenko T.Yu. Computer processing and image recognition: textbook. allowance. – St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2008. – 192 p.

8. Kozlov S.V., Neretin E.Yu., Kukolkina V.V. Prospects for the use of “machine vision” in digital dermatoscopy for suspected skin melanoma. Saratov Scientific and Medical Journal 2014; No. 10 (2): 281–285 p.

9. Levin M.Yu. Formalization of the algorithm for designing the architecture of neural networks in practice [Text] / Levin M.Yu., Nagornov S.A. // Science in central Russia. 2016. No. 1 (19). pp. 81-97.

Информация об авторах

Д. С. Пожидаева – студент; М.Ю. Левин – доктор технических наук, профессор; С.А. Нагорнов – доктор технических наук, профессор, И.А. Коваленко – кандидат технических наук, доцент; Л.А. Лунева – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

D. Pozhidaeva – student; M. Levin – Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Nagornov – Doctor of Technical Sciences, Professor, I. Kovalenko – candidate of technical sciences, associate professor; L. Luneva – 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): 17.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 621.43:629.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-111-122

ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗРАЗБОРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ И МЕХАНИЗМОВ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Юрий Викторович Родионов [1], Андрей Константинович Агафонов [2], Александр Егорович Ломовских [3], Глеб Викторович Берестевич [4], Александр Викторович Север [5], Григорий Вячеславович Рыбин [6]
[2,3,4,5]*ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия*
[1,3] *Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1,6]*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1]*rodionow.u.w@rambler.ru*
[2,3,4,5]*lomovskih1979@yandex.ru*
[6]*enot1237@gmail.com*

Автор, ответственный за переписку: Григорий Вячеславович Рыбин, *enot1237@gmail.com*
Corresponding author: Grigory Rybin, *enot1237@gmail.com*

Реферат. *Предложена технология безразборного восстановления и продления ресурса изношенных металлических соединений деталей и механизмов силовых установок сельскохозяйственной техники, а также средства для её реализации. Проведённый анализ работы сельскохозяйственной техники, показал, что её эксплуатация осуществляется в основном в полевых условиях и с существенными нагрузками на силовую установку, при этом увеличивается тепловая напряжённость деталей кривошипно-шатунного механизма. Для решения этой проблемы разработана специальная смазочная присадка, добавляемая в моторное масло через маслозаливную горловину. Технология включает первоначально комплексную оценку технического состояния силовой установки каждого образца техники по параметрам работающего масла, разработку методики по безразборному восстановлению изношенных металлических соединений деталей и механизмов силовой установки на основе применения разработанной антифрикционной смазочной присадки, добавляемой в работающее моторное масло. Для определения параметров работающего моторного масла разработан модуль для его экспресс-анализа. Внедрение разработанной технологии безразборного восстановления и продления ресурса изношенных металлических соединений деталей и механизмов силовых установок сельскохозяйственной техники приведёт к снижению расхода топлива до 7 %, увеличению ресурса изношенных дизельных установок, позволит повысить готовность отдельных образцов сельскохозяйственной техники и в целом техническую готовность парка техники.*

Ключевые слова: *силовая установка, сельскохозяйственная техника, технология, техническое состояние, безразборное восстановление деталей, антифрикционная смазочная присадка.*

TECHNOLOGY OF NON-SELECTIVE RESTORATION AND PROLONGATION OF THE LIFE OF PARTS AND MECHANISMS OF POWER PLANTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Yuri Rodionov [1], Andrey Agafonov [2], Alexander Lomovskikh [3], Gleb Berestevich [4], Alexander Sever [5], Grigory Rybin [6]
[2,3,4,5]*Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Voronezh,products in agriculture, Voronezh, Russia*
[1,3]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1,6] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

[1]*rodionow.u.w@rambler.ru*
[2,3,4,5]*lomovskih1979@yandex.ru*
[6]*enot1237@gmail.com*

Abstract. *The technology for in-place restoration and extension of the life of worn metal connections of parts and mechanisms of power plants of agricultural machinery, as well as means for its implementation, have been proposed. The analysis of the operation of agricultural machinery showed that its operation is carried out mainly in field conditions and with significant loads on the power plant, while the thermal stress of the crank mechanism parts increases. To solve this problem, a special lubricating additive has been developed, which is added to the engine oil through the oil filler neck. The technology initially includes a comprehensive assessment of the technical condition of the power plant of each model of equipment based on the operating oil parameters, the development of a method for in-place restoration of worn metal connections of parts and mechanisms of the power plant based on the use of a developed anti-friction lubricant additive added to the operating engine oil. The express analysis module is designed to determine the parameters of operating motor oil. The introduction of the developed technology for in-place restoration and extension of the life of worn metal connections of parts and mechanisms of power plants of agricultural machinery will lead to a reduction in fuel consumption by up to 7%, an increase in the life of worn-out diesel units, and will increase the readiness of individual types of agricultural machinery and the overall technical readiness of the equipment fleet.*

Keywords: *power plant, agricultural machinery, technology, technical condition, unassembled restoration of parts, antifriction lubricant additive.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Агафонов А.К., Ломовских А.Е., Берестевич Г.В., Север А.В., Рыбин Г.В. Технология безразборного восстановления и продления ресурса деталей и механизмов силовых установок сельскохозяйственной техники // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 111-122. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-111-122.

For citation: Rodionov Yu., Agafonov A., Lomovskikh A., Berestevich G., Sever A., Rybin G. Technology of non-selective restoration and prolongation of the life of parts and mechanisms of power plants of agricultural machinery. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 111-122. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-111-122.

Введение. Современный машинно-тракторный парк (МТП) разнообразен и включает большое множество разнородной сельскохозяйственной техники, как отечественного, так и импортного производства. Со сложившейся в последнее время тяжёлой внешнеполитической обстановкой в нашей стране появилось множество проблем, связанных с закупкой и эксплуатацией импортной техники, так как многие производители ушли с рынка нашей страны. В этих условиях запасные части резко подорожали и многие сельхозпроизводители столкнулись с проблемой поддержания в работоспособном состоянии эксплуатируемых импортных образцов сельскохозяйственной техники (СХТ). В связи с этим решение задач по продлению ресурса и восстановлению изношенных деталей и механизмов СХТ стало первостепенным. Актуальность решения данных задач для сельскохозяйственных предприятий современного агропромышленного комплекса также заключается в том, что на сегодняшний день изношенность парка отечественных образцов дизельной СХТ составляет около 70%, что в конечном итоге способствует снижению готовности парка данной техники. Работоспособность в целом СХТ, также будет зависеть от работоспособности каждого агрегата, узла и механизма, входящего в состав технического образца СХТ. Следует отметить, что самым дорогим элементом в конструкции СХТ является силовая установка (СУ). В основном на СХТ используются дизельные СУ, которые в основном работают в тяжёлых условиях эксплуатации. Следовательно, в механизмах (кривошипно-шатунном и газораспределительном механизмах) СУ возникают повышенные нагрузки, которые приводят к увеличению тепловой напряжённости деталей (поршней, цилиндров, клапанов и др.) данных механизмов. Это происходит из-за того, что в камере сгорания ухудшается процесс сгорания, поэтому на переходных режимах работы СУ, например при вспашке поля, возможно при переключении передач двигатель

может заглохнуть. В связи с этим, данные детали, в процессе эксплуатации техники будут перегреваться, поэтому будут увеличиваться в размерах и дополнительно изнашиваться. Соответственно, чем больше будет теплонапряжённость на деталях, тем быстрее они будут изнашиваться, приводя к потере работоспособности образца СХТ и существенному снижению ресурса СУ [1].

Таким образом, необходимо выработать пути решения выявленной проблемы, которые будут включать 2 этапа:

- на первом этапе разработку комплексной оценки технического состояния СУ каждого образца СХТ (затратная и трудоемкая задача, требующая исследования большого количества исправных и неисправных состояний СУ образцов СХТ, выработки критериев оценки их технического состояния, минимизации рисков необоснованного демонтажа и т.п.).

- на втором этапе разработку технологии безразборного восстановления и продления ресурса изношенных металлических соединений деталей и механизмов СУ образцов СХТ на основе применения разработанной антифрикционной смазочной присадки (АСП), добавляемой в работающее моторное масло, и которая позволит обеспечить возможность безразборного восстановления тел качения жидкостных систем образцов техники.

Материалы и методы. На первом этапе оценку технического состояния СУ образца СХТ целесообразно производить по фактическому состоянию (параметрам), то есть по параметрам работающего моторного масла. В процессе эксплуатации СУ моторное масло загрязняется следующими компонентами: капельками воды, продуктами окислений – шламом, несгоревшим моторным топливом, частицами пыли и др.), которые обладают диэлектрическими свойствами, что формирует статистическую смесь, обладающую диэлектрической проницаемостью. Поэтому по концентрациям загрязняющих компонентов можно диагностировать техническое состояние СУ и прогнозировать её ресурс [2].

Для определения параметров работающего моторного масла разработан модуль для его экспресс-анализа. Внешний вид модуля представлен в виде 3-D модели на рисунке 1. Данный модуль позволяет оперативно и с высокой точностью определять следующие параметры работающего моторного масла. К таким параметрам относятся: мутность, кислотность; металлические частички или стружка) и др.

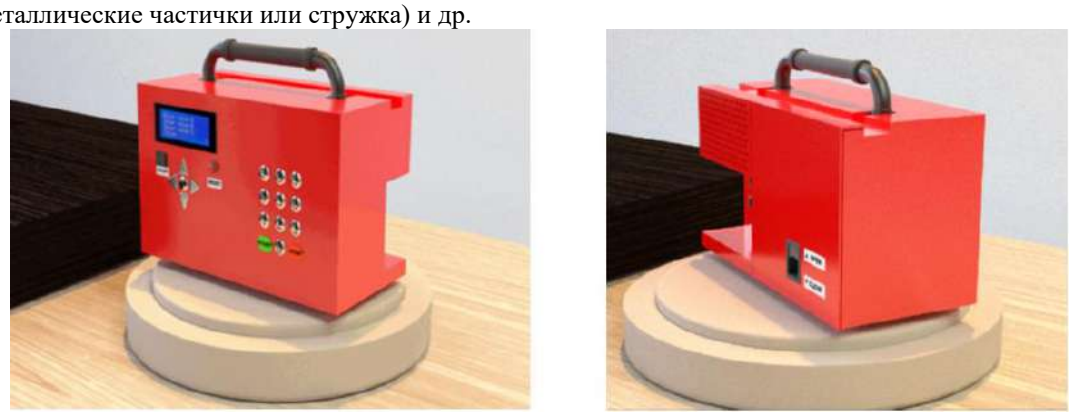


Рисунок 1 – Устройство для проведения экспресс-анализа масла

При этом отбор работающего моторного масла из поддона-картера техники предлагается осуществлять без вывода из эксплуатации в объёме не более 100 мл. путём забора через отверстие измерительного стержня. Затем работающее моторное масло, заливается в специальную ёмкость (на рисунке 1 не показана) и устанавливается на специальную площадку, находящуюся в задней части устройства.

Данное устройство работает от 12 В или 24В бортовой сети образца СХТ, что позволит использовать его в полевых условиях. Также возможно подключить устройство для экспресс-анализа моторного масла к компьютеру и получать определяемые параметры моторного масла в

виде таблиц, графиков и др. После такой визуализации можно производить статистику и анализ полученных результатов.

Внедрение комплексной оценки технического состояния СУ каждого образца СХТ по параметрам работающего моторного масла с помощью разработанного устройства, позволит быстро определить фактическое состояние СУ по фактическим параметрам масла и косвенно установить остаточный ресурс работы СУ [3].

На втором этапе необходимо разработать и внедрить технологию безразборного восстановления и продления ресурса изношенных металлических соединений деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизма СУ образцов СХТ на основе использования антифрикционной смазочной присадки, которая добавляется в работающее моторное масло.

Реализация предлагаемой технологии будет происходить при одновременном улучшении антикоррозионных, антифрикционных и противоизносных свойств масел. В основу разработанной антифрикционной смазочной присадки входит порошок, состоящий из природных серпентиносодержащих пород и катализаторов, который добавляется в эксплуатируемое моторное масло и подаётся в зону трения деталей [4].

Данная присадка формирует покрытие при эксплуатационной нагрузке СУ образца СХТ, как показано на рисунке 2.

Рисунок 2 – Внешний вид формируемого покрытия

Перед подачей АСП в зону трения проводится её активация путём циклического разрушения и восстановления структуры основного минерала – серпентина, после чего подача присадки осуществляется поэтапно порциями, каждая из которых содержит разное соотношение химических элементов. При этом первая порция содержит Ni не больше 12%, а Fe – не более 7%, другая порция содержит Mg 20...29%, а третья – Si 16...24%, что позволяет дополнительно удерживать масло и уплотнять зазоры в цилиндро-поршневой группе СУ [5, 6].

С целью более точного диагностирования дизельных СУ образцов СХТ для замера давления газов в конце такта сжатия (компрессия) использовался компрессометр модели «AIST 19201405», который показан на рисунке 3.

Рисунок 3 – Внешний вид дизельного компрессометра в наборе AIST 19201405

Для измерения давления масла в главной масляной магистрали, которое необходимо замерять на холостых (n=700…1000 об/мин) и на средних (n=2000…2500 об/мин) оборотах СУ, применялся тестер давления модель «AIST 19210810», показанным на рисунке 4.

Рисунок 4 – Тестер давления масла AIST 19210810

Проведение исследований дизельной СУ при добавлении АСП в моторное масло включает.

1. Первоначальную диагностику СУ:

1.1. Визуальную проверку СУ.

1.2. Проверку уровня масла в системе смазки.

1.3. Осуществить (при необходимости) замену фильтрующих элементов масляных фильтров, для центробежных фильтров очистки масла необходимо заблокировать вращение ротора, чтобы частицы АСП не осаждались на внутренней поверхности ротора.

2. Запустить СУ и прогреть её до рабочей температуры (около 95 °С).

3. Осуществить диагностику СУ:

3.1. С помощью компрессометра осуществить замер давления газов (компрессию) в каждом цилиндре СУ, кПа (кгс/см^2).

3.2. Осуществить замер давление масла в главной магистрали системы смазки СУ на холостых и средних оборотах СУ, кПа (кгс/см^2).

4. Остановить СУ.

5. Добавить АСП через заливную горловину в моторное масло (в систему смазки), целесообразно на горячей СУ:

при этом на 4 литра моторного масла необходимо добавить 1 мл;

данную АСП необходимо перемешать с малым количеством (50…100 мл) моторного масла, желательно той же марки, что находится в СУ.

6. После выполнения перечисленных выше пунктов нужно запустить СУ и на холостом ходу дать ей проработать в течении 20…25 минут. При этом каждые 5 минут увеличивать частоту вращения коленчатого вала СУ до 2000…2500 с$^{-1}$ (об/мин).

7. Осуществить диагностику механизмов и узлов СУ, как описано в п. 3.

8. В режиме штатной эксплуатации СУ образца СХТ необходимо в течение 5…6 мото-часов (300…400 км пробега для автомобилей, при этом первые 50 км при максимальной скорости не выше 60 км/час).

9. После этого нужно выполнить диагностику СУ, как описано в п. 3.

Следует отметить, что полная обработка СУ с добавлением АСП включает:

двух или трёхкратную обработку – при показаниях общего пробега автомобильной техники менее 50000 км;

трёх или шестикратную обработку – при показаниях общего пробега автомобильной техники около 50000…150000 км.

При этом после каждой последующей обработке необходимо осуществлять диагностику СУ, как описано в п. 3 [7, 8].

Результаты и их обсуждение. В рамках проведённых исследований была испытана СУ

(КАМАЗ-740), которая подвергалась обработке новой разработанной присадкой в моторное масло – АСП.

Вводилась АСП в прогретую СУ, в систему смазки через маслозаливную горловину (из расчёта 1 мл состава на каждые 4 л масла), как показано на рисунке 5. Перед началом проведения испытаний и после добавки АСП производилась комплексная диагностика СУ.

Рисунок 5 – Процесс добавления АСП через маслозаливную горловину в систему смазки

Вначале производились исследования по замеру давления в системе смазки СУ. Для этих целей использовался тестер давления масла AIST 19210810 (см. рисунке 4). Место вкручивания штуцера манометра в масляную магистраль СУ показано на рисунке 6.

Рисунок 6 – Схема установки манометра в масляной системе СУ

На рисунке 7 показаны показания манометра при проведении замеров давления масла в масляной магистрали СУ до проведения исследований и после добавления АСП. Анализ полученных результатов показал, что после добавления АСП произошло увеличение давления в системе смазки СУ.

а) б)

а) показания манометра на максимальных оборотах СУ б) показания манометра на холостом ходу СУ

Рисунок 7 – Внешний вид показаний манометра при измерении давления масла в системе смазки СУ

На рисунке 8 представлены результаты замеров давления масла в системе смазки СУ КАМАЗ-740 при её работе на холостом ходу и на максимальных оборотах.

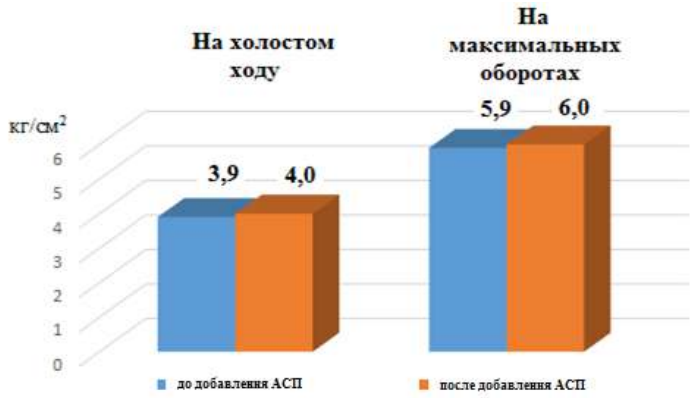


Рисунок 8 – Диаграмма показаний давления масла в системе смазки СУ до и после добавления АСП

Анализ полученных результатов показывает, что на холостом ходу после добавления АСП произошло увеличение давления масла в системе смазки на 0,1 кг/см^2 и на максимальных оборотах работы СУ, также произошло увеличение на 0,1 кг/см^2. Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что добавление АСП приводит к существенному снижению зазоров в кривошипно-шатунном механизме (между шатунными, коренными шейками коленчатого вала и вкладышами) в результате взаимодействия компонентов АСП с металлическими поверхностями шеек коленчатого вала происходит наплавление и восстановление изношенных поверхностей деталей СУ.

На рисунке 3 представлена графическая зависимость диагностики состояния цилиндро-поршневой группы, с помощью дизельного компрессометра AIST-19201406 замеряем все компрессии во всех цилиндрах СУ.

Полученные результаты проведённых измерений (см. рисунок 6) показывают, что восьмом цилиндре (19 кгс/см^2) получены минимальные значения компрессии, а в третьем цилиндре (25 кгс/см^2) – максимальное значение компрессии. Таким образом, можно сделать вывод, что максимальный разброс компрессии в цилиндрах СУ составляет 6 кгс/см^2. Подводя итог можно сделать вывод, что нужен капитальный ремонт СУ.

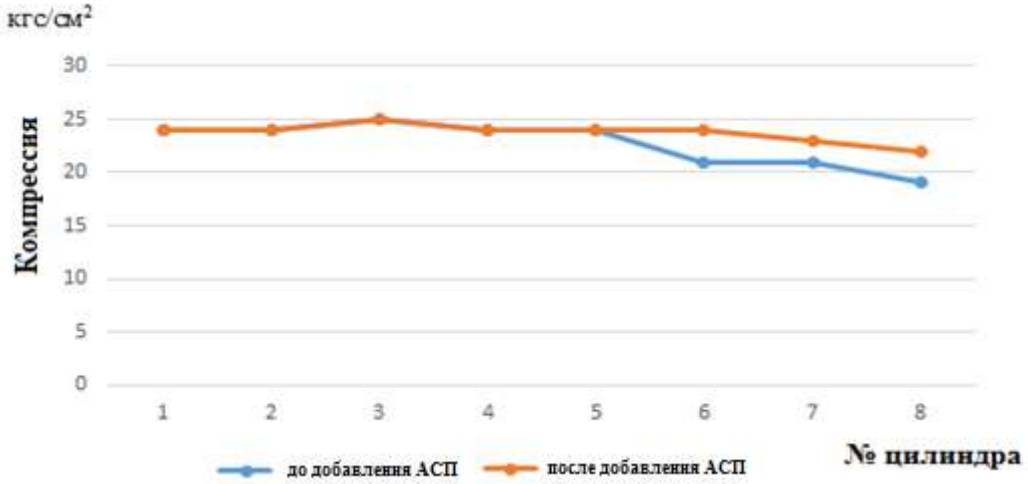


Рисунок 9 – Графическая зависимость изменения поршневой компрессии

По добавке АСП, средняя поршневая компрессия в цилиндрах СУ составляет 22,75 кгс/см^2 (см. рисунок 10), что также не соответствует предъявляемым требованиям по компрессии согласно технической документации на образец СХТ.

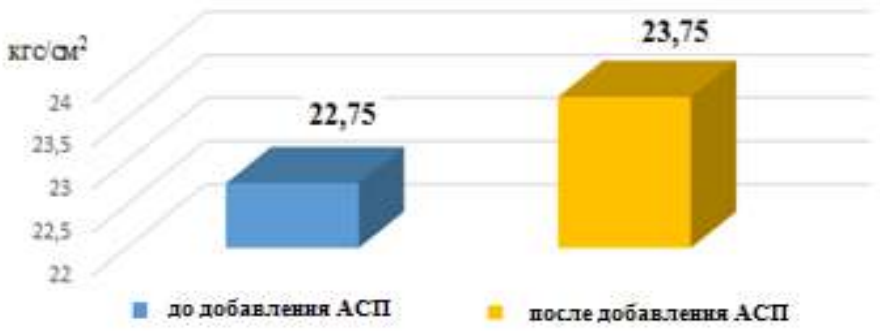


Рисунок 10 – Диаграмма средней поршневой компрессии в цилиндрах СУ

После добавления АСП средняя поршневая компрессия в цилиндрах СУ увеличилась на 1 кгс/см^2.

Полученные результаты замеров кольцевой компрессии (см. рисунок 11) показали, что в шестом и седьмом цилиндре (3 кгс/см^2) было получено минимальное значение кольцевой компрессии, а в первом цилиндре (14 кгс/см^2) – максимальное значение кольцевой компрессии. Делаем вывод, что максимальный разброс поршневой компрессии по цилиндрам СУ составляет 11 кгс/см^2, что не соответствует технической документации, то есть требуется капитальный ремонт СУ [9].

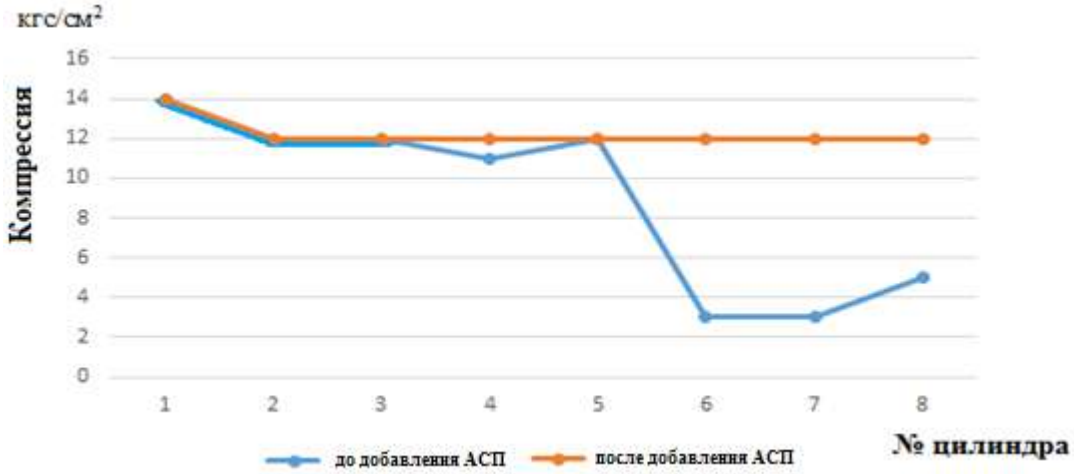


Рисунок 11 – Графическая зависимость кольцевой компрессии по цилиндрам СУ

Анализ полученных значений показывает, что произошло увеличение поршневой и выравнивание кольцевой компрессии в цилиндрах СУ.

После этого осуществлялась частичная разборка СУ для визуального подтверждения качества обработанных поверхностей деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизма. При разборке проводились замеры размеров четвёртой шатунной шейки коленчатого вала и восьмого цилиндра с помощью микрометра и нутромера, как показано на рисунке 12.

Рисунок 12 – Процесс выполнения замеров гильз цилиндров и шейки коленчатого вала

Таблица 1 – Результаты замеров диаметра цилиндров СУ

Плоскость замера в цилиндре	Какой пояс	Номер гильзы цилиндра	
		7	8
<u>До добавки состава АСП</u>			
Плоскость А-А	I	119,58	119,68
Плоскость В-В		119,56	119,68
Овал		0,030	0,010
Плоскость А-А	II	119,62	119,68
Плоскость В-В		119,60	119,66
Овал		0,020	0,020
Плоскость А-А	III	119,58	119,68
Плоскость В-В		119,57	119,67
Овал		0,010	0,010
<u>После добавления АСП</u>			
Плоскость А-А	I	119,59	119,69
Плоскость В-В		119,56	119,68
Овал		0,03	0,01
Плоскость А-А	II	119,62	119,68
Плоскость В-В		119,60	119,66
Овал		0,02	0,02
Плоскость А-А	III	119,58	119,68
Плоскость В-В		119,57	119,67
Овал		0,01	0,01

Таблица 2 – Результаты по замерам четвёртой шатунной шейки

Плоскость измерений	Пояс I (*0,25l*)			Пояс II (*0,75l*)			Наибольшее отклонение от цилиндричности, мм
	До добавки АСП	После добавки АСП	Увеличение диаметра шейки	До добавки АСП	После добавки АСП	Увеличение диаметра шейки	
А-А	94,24	94,74	0,5	94,25	94,75	0,5	0,010
Б-Б	94,25	94,72	0,47	94,26	94,74	0,49	0,010

Проводя анализ полученных значений измерений, можно определить следующие характеристики: овальность, конусность, наибольший износ шеек вала. Овальность после добавления АСП снизилась овальность до 0,02 мм. Также после добавки АСП существенно уменьшился зазор между поверхностью шатунной шейки и вкладышем коленчатого вала (в среднем по диаметру шейки) до 0,0225 мм.

Для более эффективного оценивания действия АСП на поверхности деталей СУ на стенде методом Роквелла были произведены замеры прочности поверхности поршней и шатунных вкладышей, как показано на рисунке 13, 14.

Рисунок 13 – Процесс замера твердости юбки поршня

Результаты показывают, что после добавки АСП твердость поршня увеличилась на 0,5 HRB, а шатунного вкладыша на 0,3 HRB до добавки АСП.

Рисунок 14 – Внешний процесса измерения твердости шатунного вкладыша

Таблица 3 – Результаты измерения твёрдости юбки поршня

Результаты измерения твёрдости юбки поршня	
До добавления АСП	После добавления АСП
35,3 HRB	35,8 HRB

Согласно результатам измерений, представленным в таблице 3 твёрдость юбки поршня увеличилась на 0,5 HRB

Таблица 4 – Результаты измерения твёрдости шатунного вкладыша

Результаты измерения твёрдости шатунного вкладыша	
До обработки	После обработки
4,2 HRB	4,3 HRB

Согласно результатам измерений, представленным в таблице 4 твердость шатунного вкладыша увеличилась на 0,3 HRB.

Заключение. Применение АСП в системе смазки для обработки узлов трения СУ в режиме штатной эксплуатации техники позволит:

увеличить твердость трущихся поверхностей на 2…5%;

увеличить ударную прочность до 50 кг/мм^2;

компенсировать зазоры между трущимися деталями.

При эксплуатации техники в условиях низких температур применение АСП позволит:

облегчить запуск СУ при минусовых температурах;

обеспечить снижение удельного расхода топлива до 10 %;

увеличить эксплуатационный ресурс моторного масла в 3 раза;

увеличить ресурс СУ до 30 % и снизить затраты на запасные части.

Все перечисленное приведёт к выравниванию компрессии по цилиндрам СУ до 25%, снижению максимального разброса компрессии по цилиндрам СУ в 1,5... 2 раза, увеличивается давление масла в масляной магистрали на 3...5%, снижаются потери на трение до 10% от базовых значений при штатных смазках это обеспечивает снижение расхода топлива до 7%.

В целом внедрение разработанной технологии безразборного восстановления и продления ресурса изношенных металлических соединений деталей и механизмов СУ позволит повысить готовность отдельных образцов СХТ и в целом техническую готовность МТП [10].

Список источников

1. Агафонов А.К., Колтаков А.А., Ломовских А.Е. Илларионов В.В. Антифрикционный смазочный материал ВПК-АЗ. Приоритетные направления и актуальные проблемы развития средств технического обслуживания летательных аппаратов [текст]: сб. ст. по материалам II Всероссийская НТК (15–16 марта 2016 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. 304 с. С. 6–9.

2. ГОСТ 23435–79. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Изд-во стандартов, 1979. 16 с.

3. Повышение ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным материалам. Технологические рекомендации (временные). М: ФГНУ «Росинформагротех», 2013. 260 с.

4. Ломовских А.Е. Колтаков А.А., Иванов В.П., Берестевич Г.В., Агафонов А.К. Специальная тема шифр «ПЕНЯ». Пат. № 2709800 Российская Федерация МПК C10M 125/10. Заявка №2017410050, опубл. 20.12.2019. Бюл №12. 8 с.

5. Иванов В.П., Чернухо И.И., Берестевич Г.В., Агафонов А.К. Устройство для безразборного восстановления двигателей внутреннего сгорания. Пат. № 2803591 Российская Федерация МПК C10M 125/10, C10M 125/26. Заявка №2022114511, опубл. 18.09.2023. Бюл №26. 10 с.

6. Агафонов А.К., Агафонов Д.А. Антифрикционный смазочный материал. Пат. № 2410415 Российская Федерация МПК C10M 125/10, C10M 125/26, C10N 50/02. Заявка №2009128013/04 опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3. 6 с.

7. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов. 42 с.

8. ГОСТ Р 52033–2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. М.: Изд-во стандартов. 31 с.

9. Ладиков В.В., Маркелов Г.А., Чечет В.А., Дунаев А.В., Хмелевой Н.М., Суслов Д.А. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники. М.: VICCO, 2004. 52 с.

10. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Orobinsky V.I., Afonichev D.N. Determination of antioxidant additive and its decomposition products in working motor fuels. Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2019. Т. 55. № 2. С. 145–150.

References

1. Agafonov A.K., Koltakov A.A., Lomovskikh A.E. Illarionov V.V. Antifriction lubricant VPK-AZ. Preliminary appointments and current development opportunities with the help of aircraft maintenance [text]: collection of articles on the material of the II All-Russian STC (March 15-16, 2016). Voronezh: VUNTS "VVA", 2016. 304 S. S. 6–9.

2. GOST 23435-79. Technical diagnostics. Internal combustion engines. Moscow: Publishing House of Standards, 1979. 16 p .

3. Increasing the resource of tractor units with repair and restoration additives to lubricants. Technological recommendations (temporary). Moscow: FGNU "Rosinformagrotech", 2013. 260 p.

4. Lomovskikh A.E. Koltakov A.A., Ivanov V.P., Berestevich G.V., Agafonov A.K. Special topic cipher "PENALTY". Pat. No. 2709800 Russian Federation IPC S10M 125/10. Application no.2017410050, publ. 20.12.2019. Byul No. 12. 8 p.

5. Ivanov V.P., Chernukho I.I., Berestevich G.V., Agafonov A.K. Device for disassembly recovery of internal combustion engines. Pat. No. 2803591 Russian Federation IPC S10M 125/10, S10M 125/26. Application No. 2022114511, publ. 18.09.2023. Byul No. 26. 10 p.

6. Agafonov A.K., Agafonov D.A. Antifriction lubricant. The patent. No. 2410415 Russian Federation IPC S10M 125/10, S10M 125/26, S10N 50/02. Application no. 2009128013/04 publ. 27.01.2011, Bul. no. 3. 6 p.

7. GOST 14846-81. Automotive engines. Methods of bench tests. M.: Publishing House of standards. 42 p .

8. GOST R 52033-2003. Cars with gasoline engines. Emissions of pollutants from exhaust gases. Norms and methods of control in the assessment of technical condition. M.: Publishing House of standards. 31 p .

9. Ladikov V.V., Markelov G.A., Chechet V.A., Dunaev A.V., Khmelevoy N.M., Suslov D.A. Unassembled technologies aimed at improving the efficiency of Russian motorsport equipment. Moscow: VIKKO, 2004. 52 p.

10. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Orobinsky V.I., Afonichev D.N. Determination of the content of an antioxidant additive and its decomposition products in working motor fuels. Chemistry and technology of fuels and oils. 2019. Vol. 55. No. 2. pp. 145–150.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; А.К. Агафонов - доктор технических наук, старший научный сотрудник А.Е. Ломовских – кандидат технических наук, доцент; Г.В. Берестевич – начальник отдела; А.В. Север – адъюнкт, Г.В. Рыбин – магистрант.

Information about the authors

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Agafonov - Doctor of Technical Sciences, senior researcher A. Lomovskikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; G. Berestevich – head of department; A. Sever – adjunct, G.V. Rybin is a master's student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2023

Тип статьи: научная
УДК 631.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-123-134

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И СОСТАВА РЕМОНТНЫХ БРИГАД ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТЕХНИКИ

Юрий Викторович Родионов [1]***, Александр Егорович Ломовских*** [2]***, Алексей Алексеевич Свиридов*** [3]***,***
Василий Сергеевич Январёв [4]***, Александр Викторович Север*** [5]***, Григорий Вячеславович Рыбин*** [6]
[2,3,4,5] *ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия*
[1,6] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,2] *Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]*rodionow.u.w@rambler.ru*
[2,3,4,5]*lomovskih1979@yandex.ru*
[6]*enot1237@gmail.com*

Автор, ответственный за переписку: Григорий Вячеславович Рыбин, *enot1237@gmail.com*
Corresponding author: Grigory Rybin, *enot1237@gmail.com*

Реферат. *Энергетические средства (ЭС), входящие в состав машинно-тракторного парка, сельскохозяйственного предприятия (СХП), подвергающиеся интенсивной эксплуатации, постоянно нуждаются в поддержании их работоспособного состояния. Выявлены основные проблемы технического обслуживания и ремонта ЭС и методы их решения. Определена схема планирования ремонтов на СХП. В условиях ограниченного времени средний и капитальный ремонты предлагается производить перекомплектацией или агрегатно-участковым методом. Установлено, что основными техническими характеристиками качества ремонтных органов являются показатели: трудоемкость выполнения определённого вида ремонта на данном типе ЭС; цикл ремонта; интенсивность ремонта; фонд рабочего времени. Они определяются аналитически и позволяют оценивать качественные характеристики ремонтных органов, определять количество, состав ремонтных бригад на предприятии, перечень ремонтных работ и т.д. Хронометрированием в процессе ремонта техники определяются нормы затрат времени (трудоемкость) на выполнение каждой отдельной ремонтной операции, которые одновременно являются и нормами выработки ремонтников. При статистической обработке результатов хронометража времени выполнения ремонтных работ определяются расчетные нормы трудозатрат на отдельные виды работ и суммарные затраты на производство текущего, среднего и капитального ремонтов для каждого типа ЭС. Затем определяются: перечни необходимого оборудования, КИА, оснастки, инструмента и ЗИПов; технология производства ремонтных работ; требующееся количество ремонтных бригад, мастерских, цехов, участков, рабочих участков и специалистов-ремонтников; продолжительность цикла ремонта; нормы выработки специалистов-ремонтников; интенсивности ремонтов; перечень специальностей, уровень квалификации и производительность каждого ремонтника. Реализация теоретически обоснованных методов определения количества и состава ремонтных бригад при восстановлении ЭС СХП, позволит расширить возможности ремонтных органов предприятия по восстановлению техники имеющей неисправности различного характера.*

Ключевые слова: *неисправность, трудоемкость, ремонтная бригада, цикл ремонта, технология ремонта, ремонтная операция, интенсивность ремонта, фонд рабочего времени*.

METHODS FOR DETERMINING THE NUMBER AND COMPOSITION OF REPAIR TEAM WHEN RESTORING EQUIPMENT

***Yuri Rodionov* [1], *Alexander Lomovskikh* [2], *Alexey Sviridov* [3], *Vasily Yanvarev* [4], *Alexander Sever* [5], *Grigory Rybin* [6]**

[2,3,4,5]*Military educational scientific center air force «air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Voronezh, products in agriculture, Voronezh, Russia*
[1,6]*Tambov state technical university, Tambov, Russia*
[1,2]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]*rodionow.u.w@rambler.ru*
[2,3,4,5]*lomovskih1979@yandex.ru*
[6]*enot1237@gmail.com*

Abstract. *Energy resources (ES) that are part of the machine and tractor fleet, agricultural enterprise (Agricultural Enterprise), subject to intensive use, constantly need to maintain their working condition. The main problems of maintenance and repair of electrical systems and methods for solving them have been identified. A scheme for planning repairs at agricultural storage facilities has been determined. In conditions of limited time, medium and major repairs are proposed to be carried out by reassembly or by the aggregate-sectional method. It has been established that the main technical characteristics of the quality of repair bodies are the following indicators: the complexity of performing a certain type of repair on a given type of electrical system; repair cycle; repair intensity; working time fund. They are determined analytically and make it possible to evaluate the quality characteristics of repair bodies, determine the number and composition of repair teams at the enterprise, the list of repair work, etc. The norms for time expenditure (labor intensity) for performing each individual repair operation, which are also the norms for the production of repairmen, are determined in the process of repairing equipment by timing. When statistically processing the results of timing the time of repair work, the estimated norms of labor costs for individual types of work and the total costs of performing current, medium and major repairs for each type of electrical system are determined. Then the following is determined: lists of necessary equipment, instrumentation, equipment, tools and spare parts; technology of repair work; the required number of repair teams, workshops, workshops, sites, work areas and repair specialists; duration of the repair cycle; production standards for repair specialists; intensity of repairs; list of specialties, qualification level and productivity of each repairman. The implementation of theoretically based methods for determining the number and composition of repair teams when restoring power supply systems will expand the capabilities of the enterprise's repair bodies to restore equipment with faults of various types.*

Keywords: *malfunction, labor intensity, repair team, repair cycle, repair technology, repair operation, repair intensity, working time fund.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Январёв В.С., Север А.В., Рыбин Г.В. Методы определения количества и состава ремонтных бригад при восстановлении техники // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 123-134. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-123-134.

For citation: Rodionov Yu., Lomovskikh A., Sviridov A., Yanvarev V., Sever A., Rybin G. Methods for determining the number and composition of repair team when restoring equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 123-134. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-123-134.

Введение. На современном этапе развития науки и техники одной из основных задач отрасли агропромышленного комплекса является своевременная подготовка машинно-тракторного парка (МТП) к сезонным работам. В связи с этим, энергетические средства (ЭС) к которым относятся стационарные, ограниченно подвижные и подвижные средства (трактора, автомобили, самоходное шасси, моторизованные машины и др.), входящие в состав МТП, подвергающиеся интенсивной эксплуатации, постоянно нуждаются в поддержании их работоспособного состояния [1].

Одним из способов поддержания работоспособного состояния подвижных ЭС является их своевременный и качественный ремонт. Актуальность вопросов эксплуатации и ремонта данных средств подтверждается многочисленными научными публикациями, а также открытой регулярной отчетностью таких организаций, как Росстат, Минпромторг, Ростехнадзор и др., которых достаточно для оценки масштабов проблемы в области эксплуатации, технического обслуживания и ремонта ЭС. Основные проблемы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) ЭС представлены на рисунке 1.

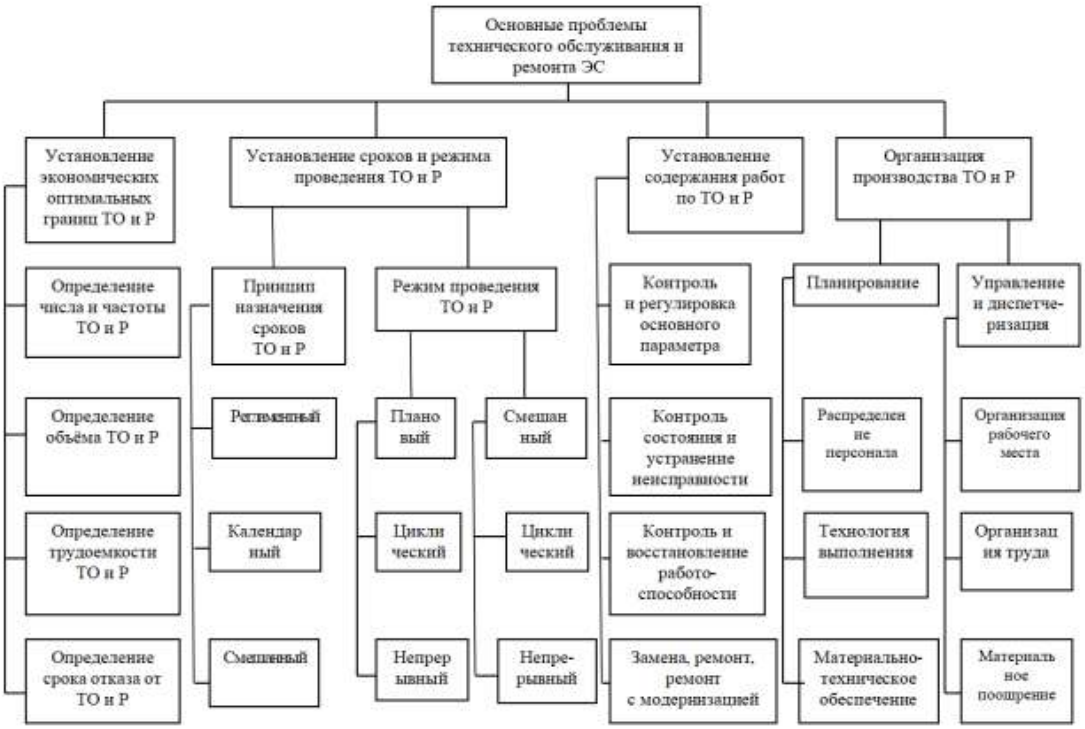


Рисунок 1 – Основные проблемы технического обслуживания и ремонта ЭС

Следует отметить, что представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации ТО и Р и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему.

На рисунке 2, в соответствии с ГОСТ 18322-2016 [2], представлена структурная схема системы ТО и Р.

В зависимости от степени износа, характера неисправностей и трудоемкости предстоящих ремонтных работ на ЭС производятся следующие технические мероприятия, включающие виды ремонтов: текущий, средний и капитальный.

Текущий ремонт заключается в устранении отказов техники путём замены неисправных деталей, узлов, агрегатов и механизмов на исправные из комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) и отремонтированные (изготовленные) ремонтными мастерскими с последующей настройкой и регулировкой ремонтировавшейся техники. Текущий ремонт, как правило, производится силами и техническими средствами предприятий. В отдельных случаях, с целью сокращения времени восстановления техники, к выполнению работ привлекаются специалисты и технические средства ремонтных предприятий и заводов изготовителей. В первую очередь выполняются работы по устранению неисправностей препятствующие эксплуатации ЭС, а во вторую – все остальные дефекты и неисправности [3].

Средний ремонт заключается в восстановлении эксплуатационных характеристик ЭС путем замены неисправных деталей, узлов, агрегатов, механизмов на исправные из ЗИПов и

отремонтированные (восстановленные) в ремонтных органах [1]. Средний ремонт может производиться как в полевых, так и в стационарных условиях. К его выполнению привлекаются силы и технические средства ремонтных предприятий, выездные ремонтные бригады заводов изготовителей. Средний ремонт в стационарных условиях производится силами и техническими средствами заводов изготовителей.

При среднем ремонте производится проверка технического состояния всей техники МТП и демонтаж неисправных ее элементов. Снятые узлы, агрегаты и механизмы подвергаются разборке, дефектации и ремонту путем замены неисправных деталей на исправные из комплектов ЗИП и восстановленные (отремонтированные или изготовленные) на ремонтном предприятии, заводе изготовителе.

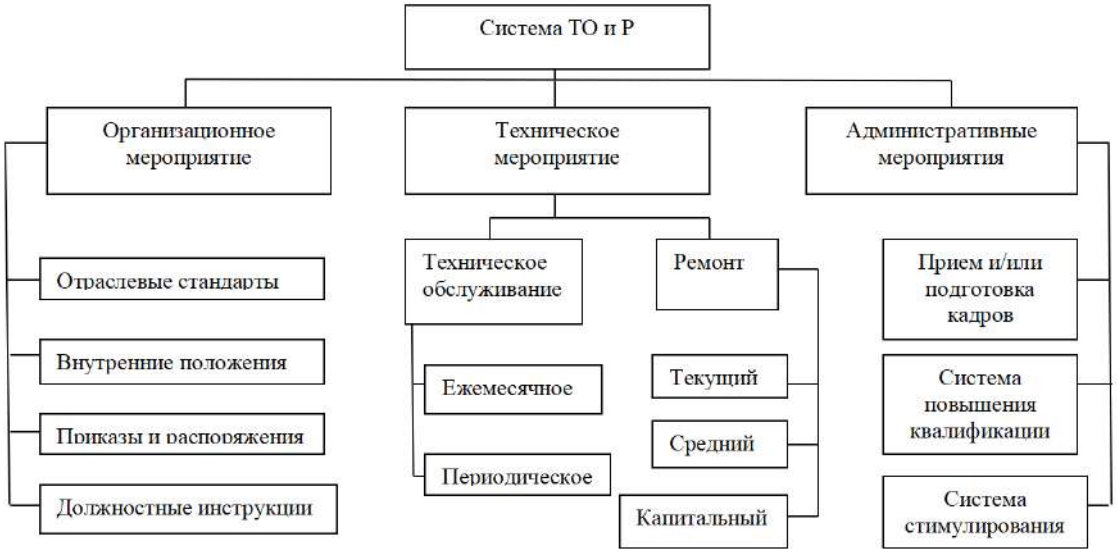


Рисунок 2 – Структурная схема системы ТО и Р

После ремонта производится настройка и регулировка ремонтировавшихся элементов техники и контроль функционирования специального оборудования. Если позволяет возможность, то производится проверка специального оборудования под нагрузкой в течение установленного техническими условиями времени.

При среднем ремонте выполняются все работы, предусмотренные к производству при текущем ремонте.

При капитальном ремонте производится проверка технического состояния всей техники МТП, полная разборка на узлы, агрегаты и механизмы, их дефектация и ремонт путем замены неисправных элементов на имеющиеся в ЗИПах и восстановленные (отремонтированные и изготовленные) на ремонтных предприятиях [1].

После ремонта производится проверка, регулировка и настройка специального оборудования, а также контроль функционирования, комплексные проверки и испытания техники на надежность работы путем проверки ее под нагрузкой в течение установленного техническими условиями времени.

При капитальном ремонте производятся также работы, предусмотренные при среднем ремонте.

Капитальный ремонт производится на объектах ремонтно-обслуживающей базы (РОБ).

Средства для поддержания МТП в работоспособном и исправном состоянии в СХП России многообразны и достаточно мощные.

Исторически сложившаяся система РОБ имеет три уровня.

Первый уровень: РОБ фермерских хозяйств, совхозов, арендных коллективов и других СХП, эксплуатирующих технику. Объекты РОБ 1-го уровня: ЦРМ; автогараж; машинный двор;

нефтесклад; передвижные средства технического обслуживания (ТО) и ремонта в бригадах и отделениях (ПТО).

Второй уровень: РОБ районных (межрайонных) машинно-технологических станций (МТС).

Объекты РОБ 2-го уровня: ремонтная мастерская общего назначения (МОН); СТОТ; СТОА; СТОЖ; СТО СХМ (К); обменный пункт; передвижные средства ТО и ремонта.

Третий уровень: РОБ областных, краевых, республиканских предприятий.

Объекты РОБ 3-го уровня: специализированные заводы и предприятия по ремонту тракторов, автомобилей, комбайнов, двигателей, гидроагрегатов, топливной аппаратуры, электрооборудования.

Материалы и методы. В отдельных случаях капитальный ремонт может производиться в полевых условиях методом перекомплектации ЭС путём сборки наиболее исправной техники из оставшихся исправных элементов, агрегатов, механизмов нескольких образцов техники, ремонт которых проводить нецелесообразно.

Планирование мероприятий по ремонту образцов ЭС на СХП предлагается осуществлять согласно схеме, представленной на рисунке 3.

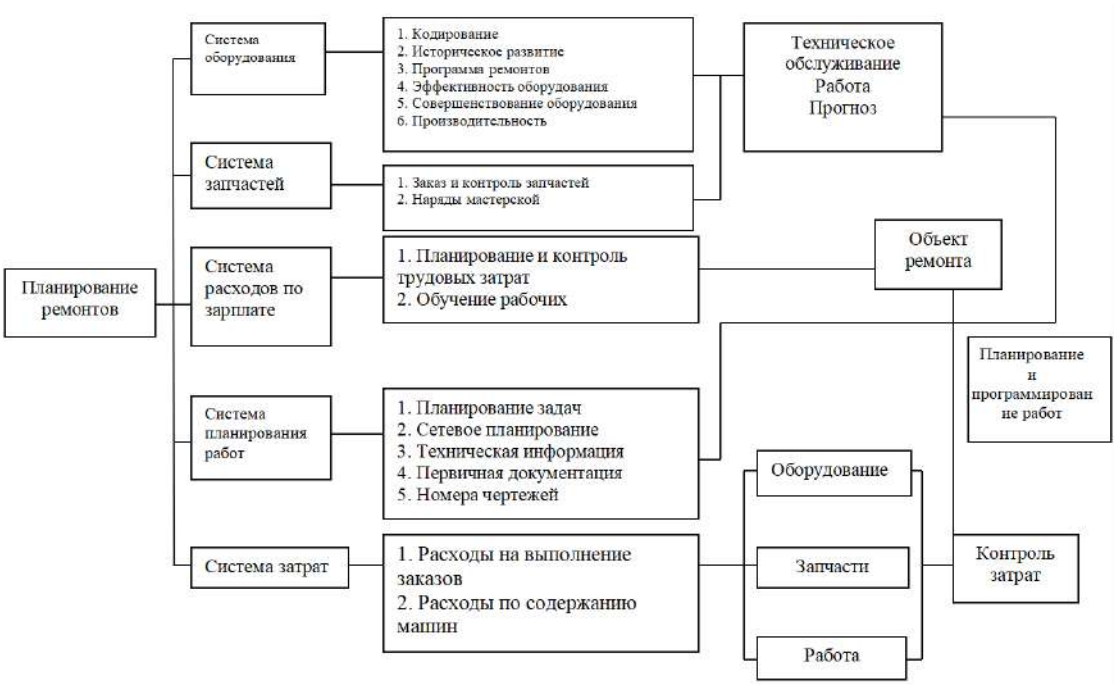


Рисунок 3 – Структурная схема планирование ремонтов на СХП

К выполнению работ при капитальном ремонте методом перекомплектации привлекаются передвижные средства ТО и Р, выездные ремонтные бригады заводов изготовителей, водительский и технический состав предприятия-владельца данной техникой.

В условиях ограниченного времени средний и капитальный ремонты будут производиться методом перекомплектации или агрегатным-участковым методом. Неисправные агрегаты и механизмы будут ремонтироваться, как правило, на ремонтных базах заводов изготовителей и поставляться на пополнение ЗИПами на предприятия.

Также в условиях ограниченного времени предлагается использовать агрегатно-участковый метод ремонта ЭС (рисунок 4).

Перекомплектация и агрегатно-участковые методы ремонта техники в условиях ограниченного времени обеспечивают:

- максимальное сокращение сроков ремонта и простоя ЭС в неисправном состоянии;

- уменьшение трудозатрат и времени на ввод ЭС в строй за счет того, что снятые неисправные агрегаты и механизмы ремонтируются, как правило, на специализированных стационарных и подвижных ремонтных базах заводов изготовителей;
- снижение требований к квалификации ремонтников, непосредственно восстанавливающих работоспособность ЭС, так как квалифицированными должны быть только настройщики, а остальные ремонтники при этих методах ремонта являются вспомогательным персоналом [4–6].

Схема технологического процесса ремонта ремонтными органами СХП представлена на рисунке 5.

Под качеством ремонтных органов понимаются их способности качественно и своевременно выполнять поставленные задачи по восстановлению вышедшей из строя ЭС за установленное руководством время. Основными техническими характеристиками качества ремонтных органов являются следующие показатели:

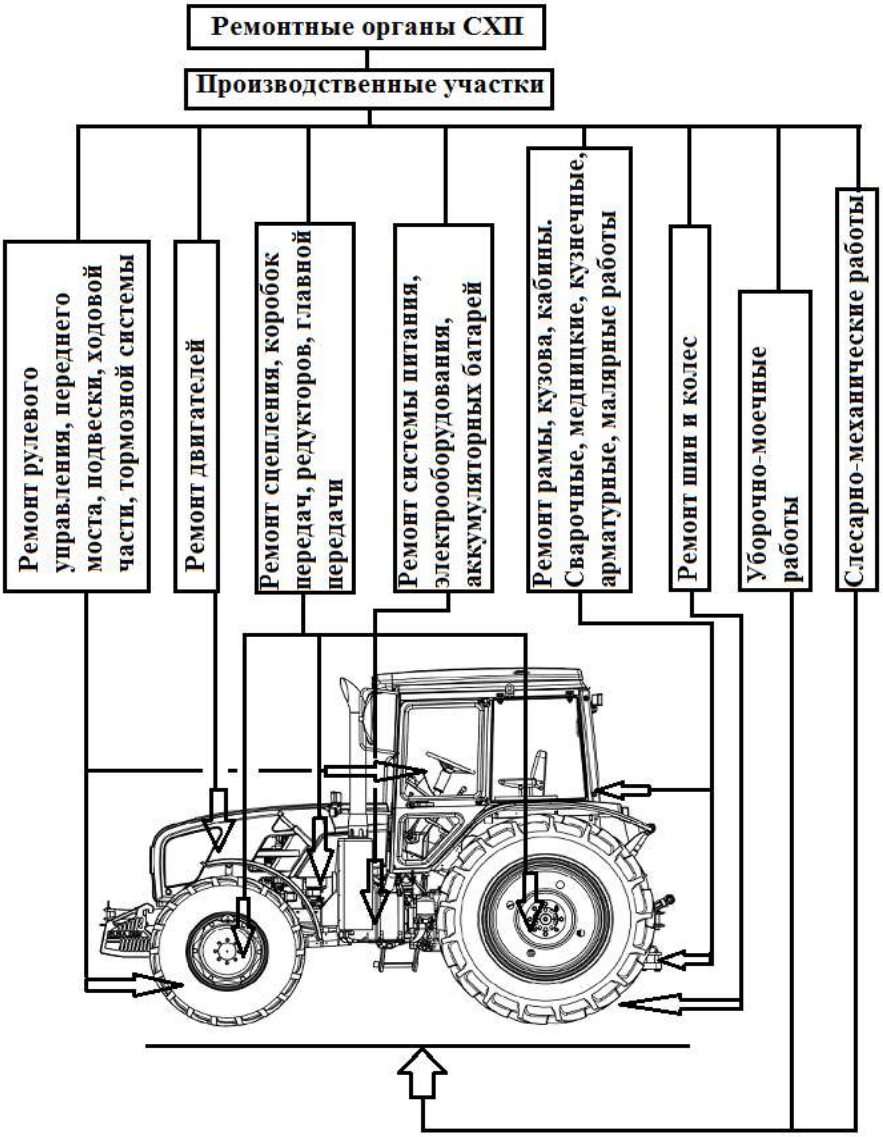


Рисунок 4 – Схема осуществления ремонтов ремонтными органами СХП

1. Трудоемкость выполнения определенного вида ремонта на данном типе ЭС, есть сумма затрат времени на производство всех видов ремонтных работ (операций) на всех рабочих местах и участках технологической линии ремонта. Трудоемкость определяется в человеко-часах на одну единицу техники по формуле:

$$T_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^{l} \cdot \sum_{j=1}^{z_{\text{рм}}} \cdot \sum_{\xi=1}^{z_{\text{ро}}} t_{\text{ро}\,i\,j\,\xi}\,, \qquad (1)$$

где $t_{\text{ро}}$ – время выполнения одной ремонтной операции; $\xi = 1, 2, 3, \ldots, z_{\text{ро}}$ – число ремонтных операций, видов ремонтных работ, выполняемых на одном рабочем месте; $j = 1, 2, 3, \ldots, z_{\text{рм}}$ – число рабочих мест на каждом участке технологической линии ремонта; $i = 1, 2, 3, \ldots, l$ – числоремонтных участков на технологической линии ремонта или в ремонтном органе.

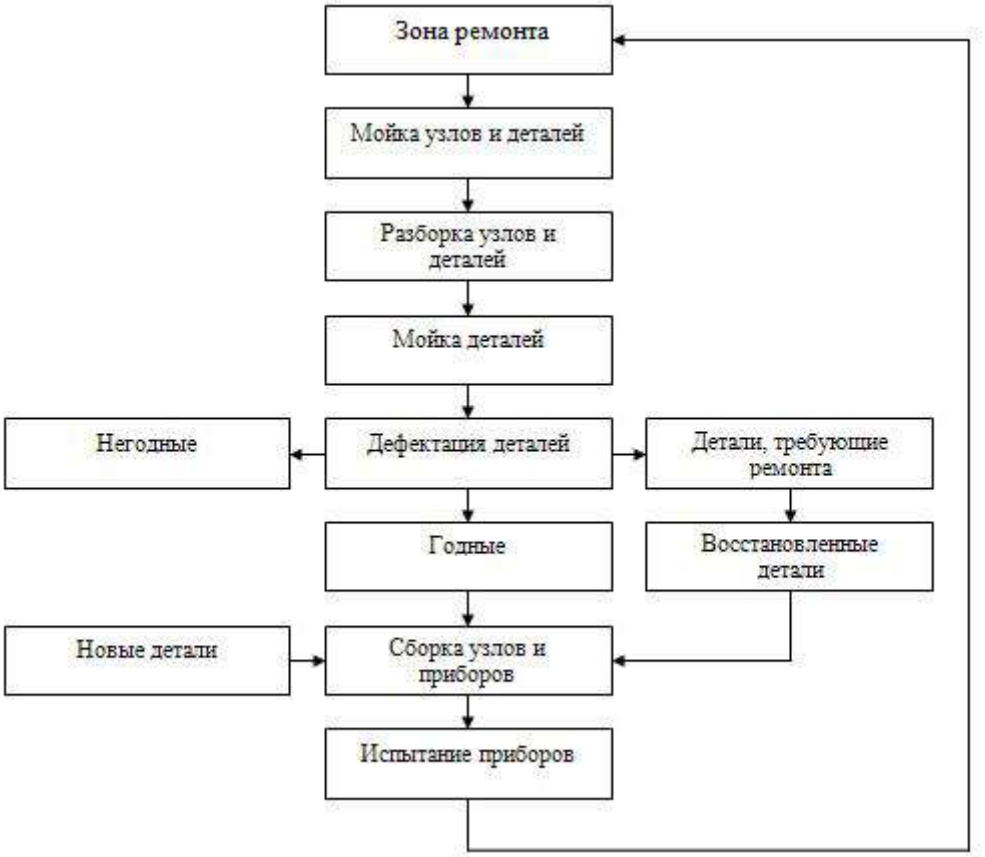


Рисунок 5 – Схема технологического процесса ремонта ремонтными органами СХП

2. Цикл ремонта $T_{\text{ц р}}$ есть сумма затрат времени на выполнение ремонтных работ на рабочих местах и ремонтных участках по кратчайшему пути схемы технологического потока и определяется в часах на одну единицу техники по формуле:

$$T_{\text{ц р}} = \sum_{i=1}^{l_{\text{кп}}} \cdot \sum_{j=1}^{z_{\text{рм}}^{\text{кп}}} t_{\text{ц р}\,i\,j}\,, \qquad (2)$$

где $i, j = 1, 2, 3, \ldots, l_{\text{к п}}$ $z_{\text{р м}}^{\text{к п}}$ – число рабочих мест, ремонтных участков по кратчайшему пути схемы технологического потока от входа ЭС в ремонтный орган до выхода его из ремонта; $t_{\text{ц р}\,ij}$ – продолжительность цикла ремонта на j-м рабочем месте i-го ремонтного участка [2].

Разность между числом всех рабочих мест $z_{\text{р м}}$ (ремонтных участков) в ремонтном органе и их числом $z_{\text{р м}}^{\text{к п}}$ по кратчайшему пути технологического потока есть число рабочих мест $z_{\text{п р}}$ (ремонтных участков), работы на которых выполняются параллельно:

$$z_{\text{п р}} = z_{\text{р м}} - z_{\text{р м}}^{\text{к п}}. \tag{3}$$

Чем больше $z_{\text{п р}}$, тем меньше $T_{\text{ц р}}$ и больше производительность ремонтного органа. Величина $T_{\text{ц р}}$ есть среднее значение времени выполнения ремонта техники в данном ремонтном органе и принимается за величину математического ожидания длительности ремонтного цикла.

3. Интенсивность ремонта μ есть величина, обратная продолжительности среднего значения цикла ремонта $\overline{T}_{\text{ц р}}$, и характеризует среднюю скорость производства ремонта техники в данном ремонтном органе (на рабочем месте, ремонтном участке):

$$\mu = \frac{1}{\overline{T}_{\text{ц р}}}. \tag{4}$$

Величина μ является параметром потока восстановлений ЭС.

4. Фонд рабочего времени есть суммарное рабочее время в человеко-часах, которым располагает ремонтный орган в данных условиях организации труда и при данном количестве непосредственно принимающих участие в выполнении работ специалистов (ремонтников, мастеров, настройщиков и рабочих). Фонд рабочего времени $\Phi_{\text{р в}}$ определяется за сутки, неделю, месяц, год по формуле:

$$\Phi_{\text{р в}} = (t_{\text{р д}} \cdot K_{\text{р с}} \cdot \text{Д} \cdot N_{\text{р ем}} \frac{100 + \Pi_{\text{п р}}}{100} - \text{Т}_{\text{обс}}) \cdot \frac{100 + \Pi_{\text{п в}}}{100}, \tag{5}$$

где $t_{\text{р д}}$ – продолжительность рабочего дня в часах для данной одной смены; $K_{\text{р с}}$ – количество рабочих смен в течение суток; Д – число рабочих дней (суток) в неделю, месяц, год; $N_{\text{р ем}}$ – число мастеров и рабочих в данной смене; $\Pi_{\text{п р}}$ – средний процент потерь рабочего времени за смену, рабочий день, неделю, месяц и т.д.; $\text{Т}_{\text{обс}}$ – время на обслуживание оборудования ремонтного органа и его профилактические ремонты; $\Pi_{\text{п в}}$ – ожидаемый процент перевыполнения норм выработки специалистами-ремонтниками.

Величина фонда рабочего времени характеризует потенциальные возможности ремонтного органа по выполнению работ.

Перечисленные показатели позволяют оценивать качественные характеристики ремонтных органов и определять количество и состав ремонтных бригад на предприятии.

Для определения трудоемкости ремонтных работ, выполняемых силами и техническими средствами предприятий, в первую очередь необходимы перечни ремонтных работ, относящихся к текущему, среднему и капитальному ремонтам, которые должны быть составлены с учетом характера ожидаемых неисправностей ЭС, а также оснащенности ремонтных органов предприятий необходимыми для выполнения работ оборудованием, контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), оснасткой, инструментом, приспособлениями и ЗИПом. На основе перечней ремонтных работ экспериментальным путем (хронометрированием в процессе ремонта техники) определяются нормы затрат времени (трудоемкость) на выполнение каждой отдельной работы (ремонтной операции), которые одновременно являются и нормами выработки ремонтников. При

статистической обработке результатов хронометража времени выполнения ремонтных работ определяются расчетные нормы трудозатрат на отдельные виды работ и суммарные затраты на производство текущего, среднего и капитального ремонтов для каждого образца (типа) ЭС [7].

Результаты и их обсуждение. Перечни ремонтных работ и средние нормы трудозатрат на их выполнение являются исходными данными при определении необходимого количества рабочих мест, участков, специалистов-ремонтников, их специализации и квалификации. В каждом предприятии с учетом местных условий составляются таблицы трудозатрат на производство текущего, среднего и капитального ремонтов всех образцов техники с учетом предельных допустимых сроков пребывания её в ремонте. Для максимального сокращения времени простоя техники в ремонте последовательность выполнения технологических операций должна выбираться с таким расчётом, чтобы обеспечить:

а) примерно одинаковые трудозатраты на выполнение ремонтных работ на каждом месте и ремонтном участке;

б) максимально возможное параллельное выполнение ремонтных работ как на рабочих местах одного ремонтного участка, так и между отдельными участками [5].

Но трудоемкость производства ремонтных работ характеризует только объем работы в человеко-часах и не дает представления о продолжительности времени выполнения ремонта. Продолжительность времени выполнения ремонтных работ характеризуется величиной цикла текущего, среднего и капитального ремонтов техники [8].

Продолжительность цикла ремонта техники определяется последовательностью и трудоемкостью выполнения работ на данном рабочем месте, ремонтном участке мастерской и в целом в ремонтном органе по кратчайшему пути схемы технологического потока ремонта при условии, что работы выполняются одним специалистом-ремонтником на одном рабочем месте. Следовательно, цикл ремонта на j-м месте $t_{\text{ц р}\,j}$ равен:

$$t_{\text{ц р}\,j} = \sum_{\xi=1}^{z_{\text{р о}}^{\text{к п}}} t_{\text{р о}\,\xi}\,, \tag{6}$$

где $z_{\text{р о}}^{\text{к п}}$ – количество ремонтных операций (работ), выполняемых на данном рабочем месте по кратчайшему пути схемы технологического процесса; $t_{\text{р о}\,\xi}$ – продолжительность времени выполнения
ξ-й операции.

Технология ремонта, как правило, должна строиться так, чтобы $z_{\text{р о}}$ – перечень выполняемых работ на данном рабочем месте одним ремонтником был равен количеству работ (операций) по кратчайшему пути технологического потока $z_{\text{р о}}^{\text{к п}}$.

Если на j-м рабочем месте выполняют ремонтные работы $N_{\text{рем}\,j}$ специалистов, то цикл ремонта на этом рабочем месте определяется по формуле:

$$t_{\text{ц р}\,j} = \frac{t_{\text{т р}\,j}}{N_{\text{рем}\,j}}\,, \tag{7}$$

где $t_{\text{ц р}\,j}$ – трудоемкость производства ремонтных работ на j-м рабочем месте.

Тогда продолжительность цикла текущего, среднего и капитального ремонтов данного типа техники определяется по формуле:

$$T_{\text{ц р}}^{\text{т с к}} = \sum_{i=1}^{l} t_{\text{ц р}\,i} = \sum_{i=1}^{l} \cdot \sum_{j=1}^{z_{\text{рм}}} \frac{t_{\text{т р}\,j}}{N_{\text{рем}\,j}}\,, \tag{8}$$

где $z_{\text{р м}}$ – количество рабочих мест на j-м ремонтном участке; *т, с, к* – индексы, обозначающие соответственно продолжительность цикла: $T^{\text{т}}_{\text{ц р}}$ – текущего, $T^{\text{с}}_{\text{ц р}}$ – среднего, $T^{\text{к}}_{\text{ц р}}$ – капитального ремонтов; l – количество участков по ремонту данного типа техники в данной ремонтной бригаде, цехе, ремонтном органе.

Продолжительность цикла ремонта ЭС в данном ремонтном органе характеризует время, в течение которого техника находится в не работоспособном состоянии. Величина $T_{\text{ц р}}$ является основной технической характеристикой ремонтного органа и системы ремонта предприятия в целом.

Продолжительность цикла текущего, среднего и капитального ремонтов определяется экспериментально путем хронометража затрат времени на выполнение каждой из операций при производстве ремонта или на основе статистической обработки данных о затратах времени на выполнение работ по опыту существующих ремонтных мастерских предприятия.

Зная трудоемкость и продолжительность цикла ремонта, необходимое количество рабочей силы (ремонтников) для выполнения работ силами i-й бригады, цеха, ремонтного участка, мастерской можем определить по формуле:

$$N_{\text{рем}\,j} = \sum_{j=1}^{z_{\text{р м}}} N_{\text{рем}\,j} = \sum_{j=1}^{z_{\text{р м}}} \frac{t_{\text{т р}\,j}}{t_{\text{ц р}\,j}}, \tag{9}$$

где $j = 1, 2, 3, \ldots, z_{\text{р м}}$ – число рабочих мест на участке, в цехе, мастерской, ремонтной бригаде и т.д.; $N_{\text{рем}\,j}$ – число рабочих на j-м ремонтном участке, в цехе, мастерской, ремонтной бригаде.

Общее число ремонтников в ремонтном органе определяется по формуле:

$$N_{\text{рем}\,j} = \sum_{i=1}^{l} N_{\text{рем}\,i}, \tag{10}$$

где $i = 1, 2, 3, \ldots, l$ – число ремонтных бригад, цехов, участков, мастерских.

Заключение. На основе перечней ремонтных работ, выполняемых при текущем, среднем и капитальном ремонтах, однозначно определяются:

- трудоемкость ремонтных работ;
- перечни необходимого оборудования, КИА, оснастки, инструмента и ЗИПов;
- технология производства ремонтных работ;
- требующееся количество ремонтных бригад, мастерских, цехов, участков, рабочих участков и специалистов-ремонтников;
- продолжительность цикла ремонта;
- нормы выработки специалистов-ремонтников;
- интенсивности ремонтов: $\mu_{\text{т}}$ – текущего, $\mu_{\text{с}}$ – среднего, $\mu_{\text{к}}$ – капитального;
- перечень специальностей, уровень квалификации и производительность каждого ремонтника.

В связи со всем перечисленным выше можно сделать вывод, что на тщательность и полноту отработки перечней ремонтных работ текущего, среднего и капитального ремонтов на СХП должно быть обращено первостепенное внимание. Эти перечни являются исходными данными для организации и производства ремонтов, а также для определения производительности и производственных возможностей ремонтных органов СХП.

Реализация теоретически обоснованных методов определения количества и состава ремонтных бригад при восстановлении ЭС СХП, позволят расширить возможности ремонтных органов предприятия по восстановлению техники имеющей неисправности различного характера.

Список источников

1. Агеев Е. В. Техническое обслуживание и ремонт машин в АПК: учебное пособие / Е.В. Агеев, С.А. Грашков. Курск: Курская ГСХА, 2019. 185 с.

2. ГОСТ 18322-2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения»: дата введения 2017-09-01 / разработан ФГБУНИ ИСЭМ СО РАН. Москва: Стандартинформ, 2017. 16 с.

3. Ломовских А.Е. Апробированное совершенствование сервиса автотракторных двигателей / А.Е. Ломовских, А.В. Дунаев, Ю.В. Родионов, А.А. Свиридов, А.С. Рябчук // Журнал «Наука в Центральной России» Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». №6 Тамбов, 2020. С. 81–91.

4. Катаев Ю.В., Малыха Е.Ф., Вялых Д.Г. Организация технического сервиса машинно-тракторного парка на региональном уровне // Наука без границ. 2017. №11 (16). С. 60–68.

5. Кравченко И.Н., Корнеев В.М., Захарова М.С., Ахметов Т.А. Методика выбора критериев оптимизации при формировании машиннотракторных парков // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. 2016. №4 (74).

6. Маслов, Г.Г. Техническая эксплуатация средств механизации АПК: учебное пособие / Г.Г Маслов, А.П. Карабаницкий. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 192 с.

7. Ломовских А.Е. Способ повышения технической готовности машин / А.Е. Ломовских, А.А. Томилов, А.А. Баглаев // «Специальные вопросы моделирования систем и процессов». Научно-технический журнал. Воронежский государственный лесотехнический университет. г. Воронеж. 2021. С. 54–63.

8. Соколов, В.Д. Технологические процессы технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин и оборудования: методические указания / В.Д. Соколов, Ю.К. Мелентьев. Самара: СамГАУ, 2019. 35 с.

References

1. Ageev E. V. Maintenance and repair of machines in the agro-industrial complex: a textbook / E.V. Ageev, S.A. Grashkov. Kursk: Kursk State Agricultural Academy, 2019. 185 p.

2. GOST 18322-2016 "System of maintenance and repair of equipment. Terms and definitions": date of introduction 2017-09-01 / developed by FGBUNI ISEM SB RAS. Moscow: Standartinform, 2017. 16 p.

3. Lomovskikh A.E. Proven improvement of the service of automotive engines / A.E. Lomovskikh, A.V. Dunaev, Yu.V. Rodionov, A.A. Sviridov, A.S. Ryabchuk // Journal "Science in Central Russia" Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture". No. 6 31.12.2020. Tambov, pp. 81–91.

4. Kataev Yu.V., Malykha E.F., Vyalykh D.G. Organization of technical service of the machine and tractor park at the regional level // Science without borders. 2017. №11 (16).

5. Kravchenko I.N., Korneev V.M., Zakharova M.S., Akhmetov T.A. Methodology for selecting optimization criteria for formation of machine-tractor parks // Bulletin of FGOU IN MGAU. 2016. №4 (74).

6. Maslov, G.G. Technical operation of agricultural mechanization means: a textbook / G.G. Maslov, A.P. Karabanitsky. St. Petersburg: Lan, 2018. 192 p.

7. Lomovskikh A.E. A way to increase the technical readiness of machines / A.E. Lomovskikh, A.A. Tomilov, A.A. Baglaev // "Special issues of modeling systems and processes". Scientific and technical journal. Voronezh State Forestry Engineering University. the city of Voronezh. 2021. pp. 54-63.

8. Sokolov, V.D. Technological processes of maintenance and repair of transport and technological machines and equipment: methodological guidelines / V.D. Sokolov, Yu.K. Melentyev. Samara: SamGAU, 2019. 35 p.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; А.Е. Ломовских – кандидат технических наук, доцент; А.А. Свиридов – кандидат педагогических наук, доцент; В.С. Январев – адъюнкт; А.В. Север – адъюнкт, Г.В. Рыбин – магистрант.

Information about the authors

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Lomovskikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Sviridov – candidate of pedagogical sciences, associate professor; V. Yanvarev – adjunct; A. Sever – adjunct, G. Rybin – a master's student.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2023

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 27.12.2023. Заказ № 23.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 14,18 усл. печ. л. Тираж 100 экз.