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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в международную базу данных Agris
№ 3 (39), 2019 г.

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА
«НАУКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ»

АКИМОВ Михаил Юрьевич – директор ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», кандидат сельскохозяйственных наук
ГУЛЕВСКИЙ Вячеслав Анатольевич – проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, доцент
ДЕРКАНОСОВА Наталья Митрофановна – проректор по учебной работе, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», доктор технических наук, профессор
ЖАЛНИН Эдуард Викторович – заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор
ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович – главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ
КАЗАКЕВИЧ Пётр Петрович – заместитель председателя президиума Национальной академии наук Республики Беларусь, член-корреспондент национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, иностранный член РАН
КОСТЮЧЕНКОВ Николай Васильевич – профессор кафедры «Аграрная техника и технологии» Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, действительный член Академии сельскохозяйственных наук Республики Казахстан, доктор технических наук, профессор
КРАСНЯНСКИЙ Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ЛАЧУГА Юрий Федорович – академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академик РАН, доктор технических наук, профессор
НИКИТИН Александр Валерьевич – председатель попечительского совета Мичуринского государственного аграрного университета, профессор кафедры управления и делового администрирования ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», доктор экономических наук, профессор.
ОСТРИКОВ Валерий Васильевич – председатель редакционного совета, главный редактор журнала, врио директора ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук
ЦОЙ Юрий Алексеевич – генеральный директор научно-производственного предприятия «Фемакс» (Москва), член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации
BIANCO Vincenzo – Department of mechanical, energy, management end transportation engineering, Univercity of Genoa, Italy, Ph.D., Associate Professor
VIGDOROVITSCH Michael – Geschäftsführer ANGARA GmbH, Düsseldorf, Deutschland, doktor fiziko-matematicheskih nauk (Doktor der physikalischen und mathematischen Wissenschaften) Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry Russian Academy of Sciences

Редакция

Журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia»
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
Главный редактор: Остриков В.В.
№ 3 (39). Дата выхода в свет 28.06.2019. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.
Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская область, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 440-241; e-mail: viitin@mail.ru
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.
Печатное издание журнал «Наука в Центральной России» зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г.

© «Наука в центральной России», 2019

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в международную базу данных Agris
№ 3 (39), 2019 г.
Основанв 2012 г. **It is based in 2012.**
Выходит 6 раз в год **There are 6 times a year**

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

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© «Наука в центральной России», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Завражнов А.И., Коновалов В.В., Зайцев В.Ю., Кравцов А.В., Родионов Ю.В.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ СЕЯЛОК ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ СЕМЯН И УДОБРЕНИЙ…….....5
Зазуля А.Н., Балашов А.В., Стрыгин С.П., Синельников А.А., Хайруллина С.Г.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТА ДЛЯ ГНЕЗДОВОГО ПОСЕВА СЕМЯН СОИ…….15
Ларюшин Н.П., Шуков А.В., Парфенов Д.Ю.
КОНСТРУКЦИЯ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА СЕЯЛКИ……...20
Ларюшин Н.П., Шуков А.В.
ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЯЛКИ С КАТУШЕЧНО-ВИНТОВЫМИ ВЫСЕВАЮЩИМИ АППАРАТАМИ ДЛЯ ПОСЕВА СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР……..24
Ведищев С.М., Хольшев Н.В., Прохоров А.В., Кажияхметова А.А., Бралиев М.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛОПАТКИ……30
Ли Р.И., Малюгин В.А.
РАСЧЕТ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В УЗЛАХ АВТОМОБИЛЕЙ АДГЕЗИВАМИ……..36
Басова Н.В., Новиков Э.В., Безбабченко А.В.
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИНИЙ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНОТРЕСТЫ……...43
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.
МЕТОД ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА……48
Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСКАДНОГО ДЕЛИТЕЛЯ…….56
Тетерин В.С., Новиков Н.Н., Гайбарян М.А., Костенко М.Ю.
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ БУРОГО УГЛЯ…….60
Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.
ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ СОИ НА СНИЖЕНИЕ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРЫ……67
Доровских Д.В., Глазков Ю.Е.
УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АМОРТИЗАТОРА АВТОМОБИЛЯ……..…73
Зубарев А.Г., Ларюшин Н.П., Шуков А.В.
РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ ОРГАНОВ К ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКЕ ДЛЯ ПОСЕВА ПО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМ ТЕХНОЛОГИЯМ……78
Аюгин Н.П.,* Халимов Р.Ш., Молочников Д.Е., Богданов И.И. *Зазуля А.Н.
К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР……..83
Князева Л.Г., Прохоренков В.Д., Цыганкова Л.Е., Бернацкий П.Н., Алехина О.В.
МАСЛЯНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ В РЕГИОНАХ С МОРСКИМ, СУБТРОПИЧЕСКИМ И ТРОПИЧЕСКИМ КЛИМАТОМ……...…..91
Зазуля А.Н., Халимов Р.Ш., Молочников Д.Е., Аюгин Н.П., Гаязиев И.Н.
РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНО – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ ПО СХЕМЕ ТРЕНИЯ «ВАЛ – НЕПОЛНЫЙ ВКЛАДЫШ» ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ……...101
Корнев А.Ю., Бусин И.В., Ликсутина А.П.
КОМПЛЕКСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНООБРАБОТКИ, ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ И ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ НА ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО…….....108

CONTENTS

Zavrazhnov A., Konovalov V., Zaitsev V., Kravtsov A., Rodionov Y.
THEORETICAL ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION SYSTEM OF PNEUMATIC TRANSPORT ON THE EXAMPLE OF SEEDERS FOR APPLICATION OF SEEDS AND FERTILIZERS……...5
Zazulya A., Balashov A., Sinelnikov A., Strygin S., Khairullina S.
THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS SEEDER FOR THE NEST METHOD OF SOWING SOYBEAN SEEDS……15
Laryushin N., Shukov A., Parfenov D.
THE DESIGN OF THE SOWING UNIT OF THE SEEDERS……20
Laryushin N., Shukov A.
A FIELD STUDY OF THE SEWING MACHINE WITH THE BOBBIN SCREW SOWING APPARATUS FOR SOWING SEEDS OF GRAIN CROPS……..25
Vedishchev S., Halshaw N., Prokhorov A., Kazhiyakhmetova A., Braliev M.
STUDY OF THE DRAG COEFFICIENT OF THE BLADE…….….31
Li R., Malyugin V.
CALCULATION OF PRECISION CHARACTERISTICS OF THE INDUSTRIAL EQUIPMENT AT RESTORATION OF LANDINGS OF ROLLING BEARINGS IN KNOTS OF CARS ADHESIVES……...37
Basova N., Novikov E., Bezbabchenko A.
TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF LINES FOR THE PROCESSING OF THE STALK OF THE FLAX…….…….44
Tishaninov N., Anashkin A.
THE METHOD FOR DETERMINING QUALITY CRITERIA OF TECHNOLOGICAL PROCESS……49
Tishaninov N., Anashkin A., Tishaninov K.
THEORETICAL SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CASCADED DIVIDER…….56
Teterin V., Novikov N., Gaybaryan M., Kostenko M.
THEORETICAL JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND OPERATING MODES OF CHARCOAL CRUSHER……...…….61
Shuvalov A., Mashkov A., Chernov D.
INFLUENCE OF TIME OF COOLING OF SOY ON DECREASE IN ITS TEMPERATURE…..…68
Dorovskikh D., Glazkov Y.
THE REFINED MATHEMATICAL MODEL OF THE ELECTROMAGNETIC SHOCK ABSORBER OF THE CAR……73
Zubarev A., Laryushin N., Shukov A.
DEVELOPMENT OF WORKING AUTHORITIES FOR GRAIN SEEDER FOR CROPS ON RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES…….…79
Ayugin N., Khalimov R., Molochnikov D, Bogdanov I., Zazulya A.
FOR INVESTIGATING THE COMBUSTION OF DIESEL FUEL AT LOW TEMPERATURES……..…84
Knyazeva L., Prohorenkov V., Tsygankova L., Bernatsky P., Alekhina O.
OIL COMPOSITIONS FOR PROTECTION AGAINST ATMOSPHERIC CORROSION IN THE REGIONS WITH MARINE, SUBTROPICAL AND TROPICAL CLIMATE…….....92
Zazulya A., Khalimov R., Molochnikov D., Ayugin N., Gayaziev I.
RESULTS LABORATORY - EXPERIMENTAL RESEARCHES OF SAMPLES OF MATERIALS UNDER THE PLAN OF FRICTION «A SHAFT - THE INCOMPLETE LOOSE LEAF» AFTER ELECTROMECHANICAL PROCESSING…….…101
Kornev A., Busin I., Liksutina A.
COMPLEX IMPACT OF MECHANICAL PROCESSING, VORTEX FLOWS AND CHEMICAL REAGENTS ON DIESEL FUEL……..109

УДК 631.331

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ СЕЯЛОК ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ СЕМЯН И УДОБРЕНИЙ

Завражнов Анатолий Иванович,
главный научный сотрудник, академик Российской академии наук,
д-р техн. наук, профессор, e-mail: info@mgau.ru
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ.
Коновалов Владимир Викторович,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»,
e-mail: konovalov-penza@rambler.ru
Зайцев Владимир Юрьевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»,
e-mail: vluzai@gmail.com
Кравцов Артем Витальевич,
аспирант кафедры «Технология машиностроения»,
e-mail: artem-kravtsov-penzgtu@yandex.ru
ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.
Родионов Юрий Викторович,
Доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика и детали машин»,
e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Реферат. *Известно, что добиться равномерного распределения семян и гранул по сошникам у сеялки затруднительно без учета движения воздушного потока. Изучали влияние конструктивных параметров распределительной пневмоситемы сеялки с пневматическим высевом на местный расход воздуха и потери давления по сечениям ветви трубопровода. Анализировали влияние основных факторов, влияющих на показатели движения и массовой подачи воздуха и материала в параллельных отводах трубопровода. За основу взяли пневмосистему сеялки ОАО Радиозавод, г. Пенза. Описали теоретически конструктивно-технологическую схему пневмосистемы сеялок с пневматическим высевом. Теоретический анализ распределительной системы пневмотранспорта на примере сеялок для внесения семян и удобрений позволил установить перечень выражений для расчета параметров воздушно-продуктового слоя пневматической сеялки. Определен ход расчета системы отводов для распределения воздуха между сошниками с их параллельным расположением. Представлены графические результаты замеров длин соединительных шлангов сеялки и расчетных значений давления в сопле сошников, расхода и скорости истекающего воздуха. При неравномерности длины шлангов 1,5% неравномерность давления воздуха на соплах сошников, скорость истечения и расход воздуха менее 0,01%. Неравномерность давления по сошникам составит* $3.5 \cdot 10^{-3}$*%, при неравномерности длины шлангов – 1.492%. Неравномерность расхода воздуха и неравномерность скорости воздуха – до 0,039%. Неравномерность длин элементов отводов сглаживается при работе потока аэросмеси. Среднее квадратическое отклонение рассчитанных величин среднего значения по сечению и ядра потока в сечении, найденного методом конечных элементов, для скорости воздушного потока составляет не более 14%.*

Ключевые слова: *пневмосистема, параллельные пневмопроводы, распределитель, пневматическая сеялка, аэросмесь.*

THEORETICAL ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION SYSTEM OF PNEUMATIC TRANSPORT ON THE EXAMPLE OF SEEDERS FOR APPLICATION OF SEEDS AND FERTILIZERS

Zavrazhnov Anatoliy,
Doctor of technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences,

e-mail: president@mgau.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Michurinsk

Konovalov Vladimir,
Doctor of engineering. Professor of the Department "Engineering technology",
e-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Zaitsev Vladimir ,
Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of mechanical engineering", doctor of Penza state technical University,
e-mail:vluzai@gmail.com

Kravtsov Artem,
Post-graduate student of the Department "Engineering technology",
e-mail: artem-kravtsov-penzgtu@yandex.ru
Penza state technical University.

Rodionov Yuriy,
Doctor of engineeringSciences, Professor of the Department "Technical mechanics and machine parts",
e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru
Tambov state technical University, Tambov.

Abstract. *It is known that to achieve a uniform distribution of seeds and granules on the coulters of the planter is difficult without taking into account the air flow. The influence of the design parameters of the distribution pneumatic system of the seeder with pneumatic seeding on the local air flow and pressure loss across the sections of the pipeline branch was studied. The influence of the main factors influencing the movement and mass flow rates of air and material in parallel pipe bends was analyzed. The pneumatic system of the seeder of Radiozavod OJSC, Penza, was taken as a basis. The constructive-technological scheme of the pneumatic system of seeders with pneumatic seeding was described theoretically. Theoretical analysis of the distribution system of the pneumatic transport using the example of seed drills and fertilizers allowed to establish a list of expressions for calculating the parameters of the air-product layer of the pneumatic seed drill. The calculation flow of the outlet system for air distribution between the openers with their parallel arrangement is determined. The graphical results of measuring the lengths of the connecting hoses of the planter and the calculated values of the pressure in the opener nozzle, the flow rate and the velocity of the exhausting air are presented. With uneven hose lengths of 1.5%, the air pressure on the coulters' nozzles is uneven, the flow rate and air consumption are less than 0.01%. Irregularity of pressure on the coulters is 3.510^{-3}%, with uneven hose length - 1.492%. Irregularity of air flow and uneven air velocity - up to 0.039%. Irregularity of the lengths of the elements of the taps is smoothed by the operation of the flow of the air mixture. The standard deviation of the calculated values of the average value over the cross section and the flow core in the cross section, found by the finite element method, for the air flow rate is not more than 14%.*

Key words*: pneumosystem parallel to the pneumatic line valve, pneumatic drill, hole.*

Введение. Урожайность сельскохозяйственных культур во многом определяется соблюдением требований технологии выращивания данных культур, в том числе по обеспечению надлежащей равномерности распределения семян по дну борозды или поверхности поля для обеспечения необходимой площади их питания. При этом добиться посевным агрегатам высокой неравномерности при высеве семян растений не удается [1]. Известно, что при поперечной неравномерности распределения семян выше 10 % наблюдается устойчивое снижение урожайности зерновых в среднем на 1,0 – 1,5 ц/га [2]. Поэтому решение вопросов, напрямую связанных с устойчивостью и точностью значений подачи семян через сошники и с повышением равномерности распределения посевного материала пневматическими высевающими системами, можно считать актуальным [1].

Учитывая, что длина шлангов к сошникам у сеялки различна, а в процессе движения семян и гранул по трубопроводу пневмотранспорта имеются условия, смещающие частицы указанных материалов от центрального расположения в трубопроводе к стенкам, то добиться равномерного распределения семян и гранул по сошникам затруднительно без учета движения воздушного

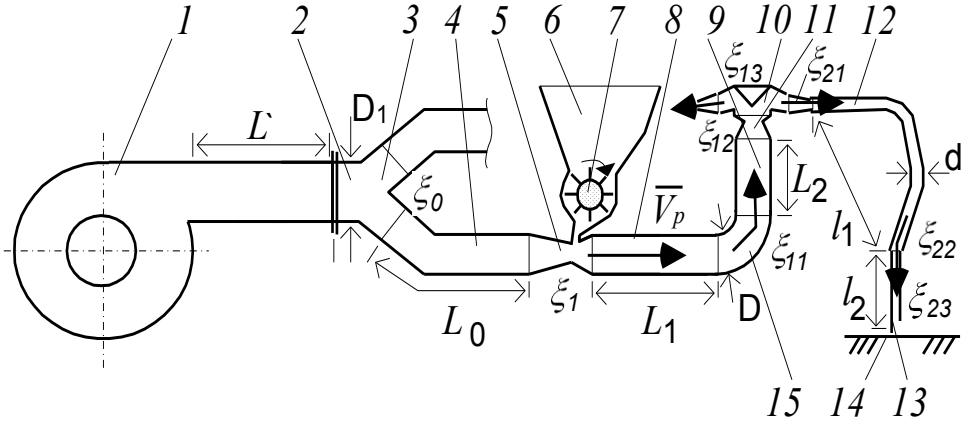
потока. Это требует теоретического анализа распределительной системы пневмотранспорта на примере конкретных сеялок по расходу воздуха и потерям его давления в пневмосистеме.

Цель исследования – аналитическое описание распределительной системы пневмотранспорта семян и гранул сеялки с пневматическим высевом для определения равномерного распределения расхода аэросмеси из воздуха и посевного материала по сошникам.

Задачи исследований: описать влияние конструктивных параметров распределительной пневмоситемы сеялки с пневматическим высевом на местный расход воздуха и потери давления по сечениям ветви трубопровода; определить и проанализировать влияние основных факторов, влияющих на показатели движения и массовой подачи воздуха и материала в параллельных отводах трубопровода.

Материалы и методы. На основании обзора литературных источников и анализа технологического процесса пневматической сеялки (за основу взята пневмосистемасеялка ОАО Радиозавод, г. Пенза) осуществляется анализ технологического процесса, устанавливаются места возникновения и причины различий величины подачи материала и воздуха через разные по расположению выгрузные устройства (сошники) сеялки при работе пневмосистемыпосевного агрегата [1, 3].

Основой конструктивно-технологической схемы является посевной агрегат на основе трактора и прицепной сеялки с пневматическим высевом материала. На раме сеялки установлены все ее основные узлы и агрегаты, включая пневмотранспортную систему (рисунок 1) распределения воздуха и материала по сошникам. Семенной материал и гранулы минеральных удобрений загружаются в соответствующие им бункера 6. Под бункерами расположены дозаторы 7 высевающего аппарата.



1 – вентилятор; 2 – центральный воздуховод; 3–тройник; 4 –воздуховод ветви; 5 –эжектор; 6 – двухсекционный бункер для материала (семена и гранулы минеральных удобрений); 7 – двухсекционный высевающий аппарат (дозатор) материала; 8 – горизонтальный участок трубопровода; 9 – вертикальный участок трубопровода; 10 –распределитель; 11 – диффузор; 12 – гибкие шланги; 13 – сошник; 14 – борозда; 15 – колено трубопровода; $\overrightarrow{V_p}$– скорость аэросмеси; D_1– диаметр центрального воздуховода, м; D– диаметр трубопровода,м; d – диаметр шланга, м; L` – длина центрального воздуховода, м; L_0– длина воздуховода ветви, м; L_1 – длина горизонтального трубопровода, м;L_2 – длина вертикального трубопровода, м; l_1– длина гибкого шланга, м; l_2 – длина воздушного канала сошника, м;ξ_0, ξ_1, ξ_{11}, ξ_{12}, ξ_{13}, ξ_{21}, ξ_{22}, ξ_{23}– коэффициенты местных сопротивлений, соответственно: тройника воздуховода, эжектора воздуховода, поворотного колена трубопровода, диффузора, распределителя, патрубка распределителя, соединения шланга и сошника, сопла сошника.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема пневмотранспортной системы модернизируемой сеялки с пневматическим высевом

Привод дозаторов производится от опорного колеса сеялки. Отдозированные частицы материала поступают на эжекторы 5 пневматической системы высева. В состав пневматической системы высева входят: вентилятор 1 с приводом от ВОМ трактора, воздуховоды центральный 2 и ветви 4, эжекторы 5 для зерна и гранул, трубопровод (в составе горизонтального 8 и вертикального 9 участка и колена 15 между ними), распределитель 10 потока материала с эжектором 11, и отводов, каждый из которых в составе: патрубка распределителя, гибкого шланга 12 и сошника 13. Положение сошников 13 относительно борозды 14 обеспечивается специальными параллелограммными механизмами. В состав данной пневмостистемы входит две аналогичных параллельных ветви, одна из которых на рисунке 1 не показана.

Методика исследований предусматривает аналитическое определение взаимосвязей конструктивных и режимных параметров распределительной пневмотранспортной системы сеялки с пневматическим высевом.

Результаты и их обсуждение. Массовая производительность Q_m(кг/с) сеялки (или ее секции, работающей от одного вентилятора) по вносимому материалу (по семенам и гранулам) определяется по аналогии с [3] по расходу семенного материала за единицу времени:

$$Q_m = \frac{B_p \cdot V_c \cdot H_m}{10000}, \quad (1)$$

где B_p– ширина захвата сеялки (или ее секции, работающей от одного вентилятора), м; V_c– рабочая скорость сеялки (м/с); $H_m = H_з + H_Г$ – норма высева материала (семян и гранул минеральных удобрений), кг/га.

Объемный расход(подача) W_m (м^3/с) сеялки (или ее секции, работающей от одного вентилятора) по вносимому материалу (по семенам и гранулам) определяется:

$$W_m = 0.0001 \cdot B_p \cdot V_c \cdot \left(\frac{H_з}{\rho_з} + \frac{H_Г}{\rho_Г}\right) \quad (2)$$

где $\rho_з, \rho_Г$ – плотность материала зерновки и гранул минеральных удобрений, кг/м^3.

В начале расчета принимается расчетная массовая концентрация смеси μ (кг материала на кг воздуха) [4].

Массовая концентрация аэросмеси, кг материала на кг воздуха выразится:

$$\mu = \frac{Q_B}{Q_m}, \quad (3)$$

Потребный расход воздуха на входе в вентилятор, Q_B (кг/с) или W_B (м^3/с):

$$Q_B = {}^{Q_m}/_{\mu} \text{ или } \quad W_B = Z \cdot W_{Bz} = {}^{Q_m}/_{(\mu \cdot \rho_B)}., \quad (4)$$

где Z – количество рабочих патрубков распределителя (или сошников), соответствующих отводу всей пневмосистемы одного вентилятора, шт.;W_{Bz}– объемный расход воздуха отводом трубопровода, м^3/с;ρ_B=1,2 кг/м^3 – плотность воздуха при нормальном атмосферном давлении p_a (Па) и температуре 15°С, соответствующей внешним условиям работы сеялки [3].

Потребный расход воздуха на выходе из сошника, Q_{Bs} (кг/с) или W_{Bs} (м^3/с):

$$Q_{Bs} = Q_B/Z \text{ ,} W_{Bs} = {}^{Q_m}/_{(Z \cdot \mu \cdot \rho_B)}. \quad (5)$$

Массовый расход аэросмеси можем найти, кг/с:

$$Q_C = Q_m + Q_B. \quad (6)$$

Расчетная плотность аэросмеси по *i*-м сечениям трубопровода, кг/м^3:

$$\rho_{Ci} = \rho_{Bi} \cdot (1 + \mu). \quad (7)$$

Расчетная плотность воздуха по *i*-м сечениям трубопровода с давлением p_i (Па), кг/м^3[5]:

$$\rho_{Bi} = \rho_B \cdot (p_i/p_a). \quad (8)$$

Рабочая скорость воздуха в материалопроводе [4], м/с:

$$V_P = 0.5 \cdot (V_{BNT} + V_{BNX}), \quad (9)$$

где V_{BNT} – скорость витания частиц материала. Для смеси выбираем большее значение для компонента, для гороха – 15,5-17,5; кукурузы – 12,5-14; пшеницы – 8,9-11,5; ячменя - 8,4-10,8; овса – 8,1-9,1; проса – 6,7-8,8; гречихи 4,4-8,0; минеральных удобрений – 3,7-11 м/с [3]; принимаем скорость для смеси семян и удобрений V_{BNT}, м/с; V_{BNX} – рекомендуемая скорость воздуха на выходе из сошника трубопровода, м/с.

Для трубопроводов с наличием вертикальных участков скорость воздушного потока должна обеспечивать устойчивое движение груза на вертикальных участках и в отводах [6], то есть из условия рабочей скорости воздуха в начале трубопровода:

$$V_P \geq (1{,}5 \ldots 2{,}0) \cdot V_{BNT}. \quad (10)$$

Истечение аэросмеси из отвода (сопла сошника) трубопровода происходит за счет разности давлений внутри отвода и окружающей атмосферы.

Расчетная скорость свободного истечения газа через отверстие, м/с [7]:

$$V`_k = \sqrt{\frac{2k}{k-1} R \cdot T \cdot \left[1 - \left[\frac{p_a}{p_k}\right]^{\frac{k-1}{k}}\right]} \quad (11)$$

где R – газовая постоянная воздуха,Дж/(кг·К), T – температура воздуха, К; p_k– давление в сошнике на выходе из трубопровода, Па.

Скорость свободного истечения воздуха через отверстие сошника составит, м/с:

$$V_k = k_i \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot R \cdot T \cdot \left[1 - \left[\frac{p_a}{p_k}\right]^{\frac{k-1}{k}}\right]} \quad (12)$$

где k_i– эмпирический коэффициент снижения скорости истечения воздуха на выходе из сопла сошника, 0,82–1,00 [8].

Эмпирический коэффициент снижения скорости истечения воздуха на выходе из сопла сошника

$$k_i = K_p \cdot \alpha. \quad (13)$$

На основании табличных данных [8], получены уравнения регрессии коэффициентов K_p и α.

Коэффициент, учитывающий радиус кромок выходного отверстия,м:

$$K_p = 1 - 0.305 \cdot \exp(-13.16 \cdot r - 0.426),$$

где r – радиус кромок входного отверстия диффузора сопла, м.

Коэффициент расхода:

$$\alpha = \frac{1}{(1+\xi_{23})^2}.$$

Коэффициент сопротивления сопла:

$$\xi_{23} = 0{,}777 - 0{,}472 \cdot \left(\frac{l_s}{d_s}\right)^2 + 0.002822 \cdot \beta + 0.542 \cdot \left(\frac{l_s}{d_s}\right) + 0.002143 \left(\frac{l_s}{d_s}\right) \cdot \beta,$$

где β– угол размещения диффузора стенок, град.; l_s – длина канала, м; d_s – условный диаметр сопла, м.

Исходя из указанного выражения, задаваясь скоростью свободного истечения воздуха через отверстие сошника, определим расход воздуха, как в сошнике, так и объемный расход воздуха при атмосферном давлении. Хотя массовый расход воздуха будет одинаков, в силу различия давлений в сошнике и атмосфере, объемный расход различен.

Объемный расход воздуха при атмосферном давлении можно определить из соотношения параметров в адиабатном процессе [8]:

$$W_{Bz} = W_k \cdot \left(\frac{p_k}{p_a}\right)^{\frac{1}{k}}. \quad (13)$$

Объемный расход воздуха на выходе из отвода (сошника), м^3/с:

$$W_k = V_k \cdot F_s \cdot \left(\frac{\mu}{1+\mu}\right), \quad (14)$$

где F_s – площадь сечения сопла сошника, м^2.

Объемный расход воздуха через *n*-ое сечение участка (*0≤n≤N, N*– количество участков) по длине отвода (в составе патрубка распределителя, шланга, сошника) трубопровода на выходе из отвода (из сошника), м^3/с:

$$W_n = W_{Bz} \Big/ \left(\frac{p_n}{p_a}\right)^{\frac{1}{k}}. \quad (15)$$

Объемный расход воздуха через *N*–ое сечение участка по длине отвода (соединение корпуса и патрубка распределителя), м^3/с:

$$W_{Nz} = {W_{Bz}}\Big/{\left(\frac{p_0}{p_a}\right)^{\frac{1}{k}}}. \quad (16)$$

Объемный расход выходящего воздуха через корпус распределителя с установленными*z* (шт.) патрубкамиданного распределителя, м^3/с:

$$W_z = z \cdot W_{Nz}. \quad (17)$$

Объемный расход воздуха через *j*-ое сечениеучастка($0 \leq j \leq v$, *v*–количество участков) по длине трубопровода диаметром D, от входа распределителя до выхода эжектора, м^3/с:

$$W_j = {z \cdot W_{Bz}}\Big/{\left(\frac{p_j}{p_a}\right)^{\frac{1}{k}}}. \quad (18)$$

Объемный расход воздуха после эжектора, то есть в начале трубопровода диаметром D, м^3/с:

$$W_V = {z \cdot W_{Bz}}\Big/{\left(\frac{p_V}{p_a}\right)^{\frac{1}{k}}}. \quad (19)$$

Расчетный диаметр отвода (гибкого шланга) и поперечного сечения отверстия сошника, м

$$d` = \sqrt{\frac{4(W_k + W_m/Z)}{\pi \cdot V_p}}, \quad (20)$$

Принимаем диаметр шланга d (м) по ближайшему меньшему стандартному значению. Принимаем диаметр отверстия стойки сошникаd_1 (м) по ближайшему меньшему стандартному значению.

Уточняем значение скорости воздуха в отверстии сошника$V`_k$ и шланга $V``_k$.

Расчетный диаметр трубопровода от эжектора до распределителя составит, м

$$D` = \sqrt{\frac{4(W_0 + W_m(z/Z))}{\pi \cdot V_p}} \geq D_{min}. \quad (21)$$

При этом, учитывая наличие у сеялки параллельного расположения гибких шлангов и наличия минимальной скорости движения воздуха на выходе из трубопровода, минимальный диаметр трубопровода составит, м:

$$D_{min} = \sqrt{z \cdot d^2 \frac{V``_k}{V_P}}. \quad (22)$$

В работе [7] рекомендовано выражение для определения потери давления воздухопровода:

$$\Delta P = \Delta P_3 + \Delta P_D + \left(\lambda \frac{\Sigma L}{D} + \sum \xi_i\right) \cdot \frac{\rho_B \cdot V_P^2}{2g}(k_o \cdot \mu) + \rho_B \cdot (1 + \mu) \cdot g \cdot \Sigma H + \Delta P_v, \quad (23)$$

где λ=0,02 – коэффициент трения воздуха о стенки; ΣL – сумма для всех горизонтальных, вертикальных и эквивалентных участков трубопровода; ξ_i – сумма коэффициентов местных сопротивлений трубопровода; g – ускорение свободного падения, м/с^2, k_o – коэффициент, учитывающий прямолинейность трубопровода, 1 - 1,3; ΣH – сумма длин вертикальных участков, м; ΔP_v – потеря давления в устройствах разгрузки, Па.

Сопротивление материалопровода P_s при движении аэросмеси можно выразить [9] через сопротивление воздуховода P_B, Па:

$$P_s = (1 + 0.4 \cdot \mu) P_B = K_\mu \cdot P_B. \quad (24)$$

На основе указанных выражений потери давления в трубопроводе диаметром D можно определить:

$$\Delta P = K_\mu \cdot \left(\Delta P_3 + K_p \cdot 0.5 \rho_B \cdot V_P^2 + \left(\lambda \frac{\Sigma L}{D} + \sum \xi_i\right) \cdot \frac{\rho_B \cdot V_P^2}{2g}(k` \cdot \mu)\right) + K_\mu \cdot (\rho_B \cdot (1 + \mu) \cdot g \cdot \Sigma H + \Delta P_v), \quad (25)$$

где K_p=1–2,1 – коэффициент сопротивления разгонного участка.

Для представленной схемы (рисунок 1) потери давления в трубопроводе:

$$\Delta P = K_\mu \cdot \left(\Delta P_3 + K_p \cdot 0.5 \cdot \rho_c \cdot V_P^2 + \rho_B \cdot (1 + \mu) \cdot g \cdot \Sigma H + \Delta P_v\right) +$$
$$+ K_\mu \cdot \left(\lambda \frac{L_1 + L_2}{D} + \xi_1 + \xi_{11} + \xi_{12} + \xi_{13}\right) \cdot \frac{\rho_B \cdot V_P^2}{2g}(k` \cdot \mu), \quad (26)$$

где L_1,L_2 – длина горизонтального и вертикального участка трубопровода, м; ξ_1, ξ_{11}, ξ_{12}, ξ_{13} – коэффициенты местных сопротивлений эжектора(ов), колен(а), диффузора, распределителя.

Расчетная плотность аэросмеси по *i*-м сечениям трубопровода, кг/м^3:

$$\rho_{Ci} = \rho_{Bi} \cdot (1 + \mu). \quad (27)$$

По аналогии потери давления для каждого *i*-го отвода определятся, Па:

$$\Delta P_{OTi} = K_\mu \cdot \left(\rho_B \cdot 0.5 \cdot K_p \cdot \left(1{,}274 \frac{W_k}{d^2}\right)^2 + (1+\mu) \cdot g \cdot H_{Ot} \right) +$$

$$+K_\mu \cdot \left(\rho_B \cdot \left(\frac{\lambda_{21} \cdot l_1}{d} + \frac{\lambda_{22} \cdot l_2}{d_1} + \xi_{21} + \xi_{22} + \xi_{23} \right) \cdot \frac{\left(1{,}274 \frac{W_k}{d^2}\right)^2}{2g} (k` \cdot \mu) \right), \quad (28)$$

где λ_{21}, λ_{22} – коэффициент трения воздуха о стенки шланга и сошника;l_1,l_2 – длина шланга и сошника, м; ξ_{21}, ξ_{22}, ξ_{23} – коэффициентов местных сопротивлений патрубка, перехода с шланга на сошник, зоны контакта сошника с бороздой; H_{Ot} – перепад высот отвода, м.

При параллельном соединении труб подаваемый расход разделяется по параллельным ветвям трубопровода, а потери напора одинаковы во всех отводах (начало отводов в распределителе, конец – в атмосфере) и не зависят от диаметра и сопротивления отвода. Однако, в случае различных пневматических потерь по отводам, скорость истечения воздуха может различаться. Это приведет к различиям расхода воздуха и материала по отводам.

Поскольку требуется предотвращения забивания отводов, то давление в распределителе ΔP_vдолжно соответствовать максимальному значению из всех *i*-х отводов – $(\Delta P_{OTi})_{max}$.

Давление на выходе из *i*-х отводов составит, Па:

$$p`_{k_i} = \Delta P_v + p_k - \Delta P_{OTi}. \quad (29)$$

Скорость свободного истечения воздуха через отвестие*i*-х сошников составит, м/с:

$$V_{ki} = k_i \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1} R \cdot T \cdot \left[1 - \left[\frac{p_a}{p`_{k_i}} \right]^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (30)$$

Из данного выражения уточняется значение объемного расхода W_{ki} для *i*-х сошников. Объемный расход воздуха при атмосферном давлении через отвестие *i*-х сошников [10]:

$$W_{Bzi} = W_{ki} \cdot \left(\frac{p`_{k_i}}{p_a} \right)^{\frac{1}{k}}. \quad (31)$$

Объемный расход воздуха на входе в *i*-ый отвод через выходной патрубок распределителя, м^3/с:

$$W_{Nzi} = {W_{Bzi}} \Big/ {\left(\frac{\Delta P_v + p_k}{p_a} \right)^{\frac{1}{k}}}. \quad (32)$$

Объемный расход воздуха через распределитель уточнится, м^3/с:

$$W_v = \sum_{i=1}^{z} \left(W_{Nz_i} \right). \quad (33)$$

Соответственно уточнится значение рабочей скорости воздуха в трубопроводе, м/с:

$$V_p = \frac{4(W_v + W_m/(z/Z))}{\pi D^2}. \quad (34)$$

При наличии нескольких ветвей трубопроводов, обслуживаемых одним вентилятором, сопоставляется расчетное значение потери давления ветвей трубопроводов, определяется наибольшее значение потерь давления по ветвям и пересчитывается объемный расход воздуха, скорость воздуха по ветвям и отводам, и потери давления.

С учетом потерь давления общего воздуховода уточняется давление по потерям давления всей цепи пневмосистемы ΔP_{OB} и подбирается вентилятор по расчетному напору, и с учетом его уточняется суммарный расход воздуха W_B, скорость воздуха по центральному воздуховоду, ветвям и отводам, и потери давления.

На основании расчетных значений скорости движения воздуха требуется дополнительная проверка на оседание частиц. В результате действия сил тяжести, Архимеда и аэродинамического напора воздушного потока [13] возникает равнодействующая этих сил:

$$F_R = \frac{c \cdot \rho_B \cdot V_p^2}{2S} + \rho_B \cdot V g - \rho_3 \cdot V \cdot g \quad (35)$$

где с – коэффициент сопротивления частицы потоку; S – площадь наибольшего сечения частицы, перпендикулярная потоку, м^2; V – объем транспортируемой частицы, м^3.

При транспортировании частицы равнодействующая будет иметь положительное значения, в противном случае будет происходить оседание. При ламинарном движении потока [12] скорость осаждения частиц определяется:

$$\vartheta_o = \sqrt{\frac{4}{3} g \frac{d_o}{0.47} \frac{\rho_3}{\rho_B}}, \quad (36)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2; d_o – диаметр частицы, м.

Тем самым, в процессе пневмотранспортирования будет происходить осаждение частиц, однако по мере турбулизации потока, в силу имеющихся завихрений потока, частица будет поддерживаться в поднятом состоянии. Тем не менее, увеличение действующих на частицу сил будет способствовать рассмаиванию воздушно-продуктового потока (аэросмеси) с выделением слоев с повышенным содержанием высеваемого материала. Так, наличиев трубопроводе поворотного колена приводит к появлению центростремительного ускорения, увеличивающего исходную величину существующего ускорения и действующих сил на частицу. В результате, у наружной стенки колена образуется воздушно-продуктовый слой с повышенным содержанием высеваемого материала, сохраняющийся и позже – в вертикальном потоке. В силу турбулизации, поток в процессе движения выравнится по концентрпации высеваемого материала, но выравнивание произойдет постепенно, после прохождения некоторой длины трубопровода [14]. Ускорение выравнивания местной концентрации высеваемого материала по потоку так же возможно за счет установки дополнительных элементов конструкции [15].

В связи с сказанным, скорость воздуха в вертикальных трубах должна обеспечиваться [3]:

$$V_p \geq V_B = k_3 \cdot (10.5 + 0.57 \cdot V_{BNT}), \quad (36)$$

где V_{BNT} – средняя скорость витания частиц материала, м/с; kз – коэффициент запаса, величину которого в расчётах принимают равным 1,2.

Проведенная реализация теоретических выражений в виде компьютерной программы на основе математического пакета MathCAD позволила установить следующее.

Неравномерность давления по сошникам составит $3.5 \cdot 10^{-3}$%, при неравномерности длины шлангов – 1.492%. Неравномерность расхода воздуха и неравномерность скорости воздуха – до 0,039%, то есть, неравномерность длин элементов отводов сглаживается при работе потока аэросмеси.

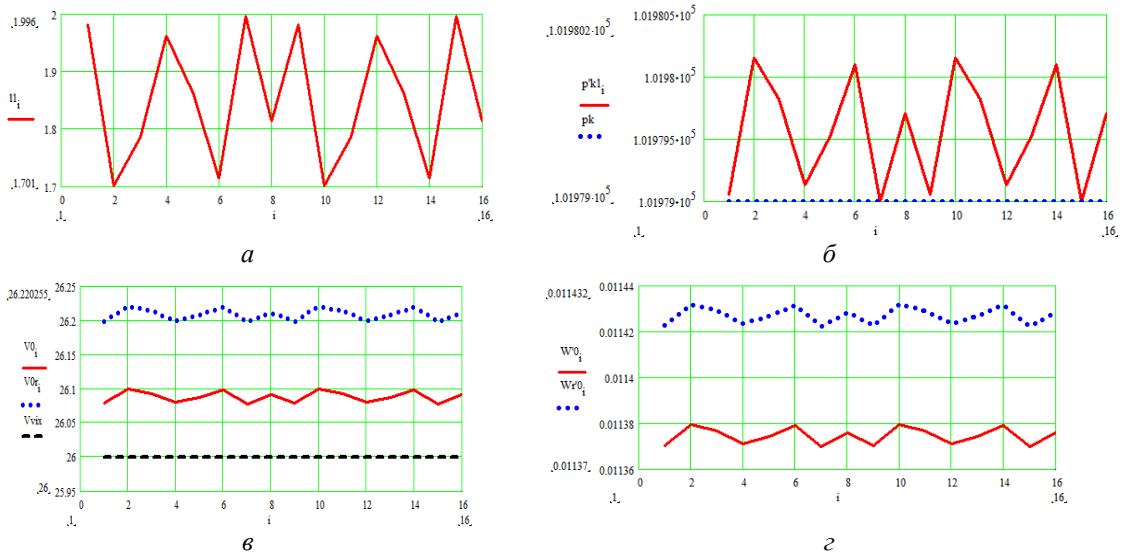


Рисунок 2 – График изменения параметров по i–м сошникам сеялки:
а – длины шлангов l_{1_i} по i–м отводам к сошникам, м; *б* – давления в сопле сошника расчетного p_{ki} и по i–м сошникам p_{ki}, Па; *в* – скорости истечения воздухачерез сопло V_o и в пересчете на атмосферное давление V_{or},заданная скорость истечениявоздуха через сопло V_{vix}, м/с; *г* – расхода воздуха через сопло W_o и в пересчете на атмосферное давление W_r, м^3/с

Сопоставляя результаты расчета пневмосистемы сеялки с моделированием методом конечных элементов (рисунок 3), получили величину среднего квадратического отклонения величин среднего значения по сечению и ядра потока в сечении (определенные методом конечных элементов) для скорости воздушного потока не более 14 %. Погрешность расчета давления не более 6 %.

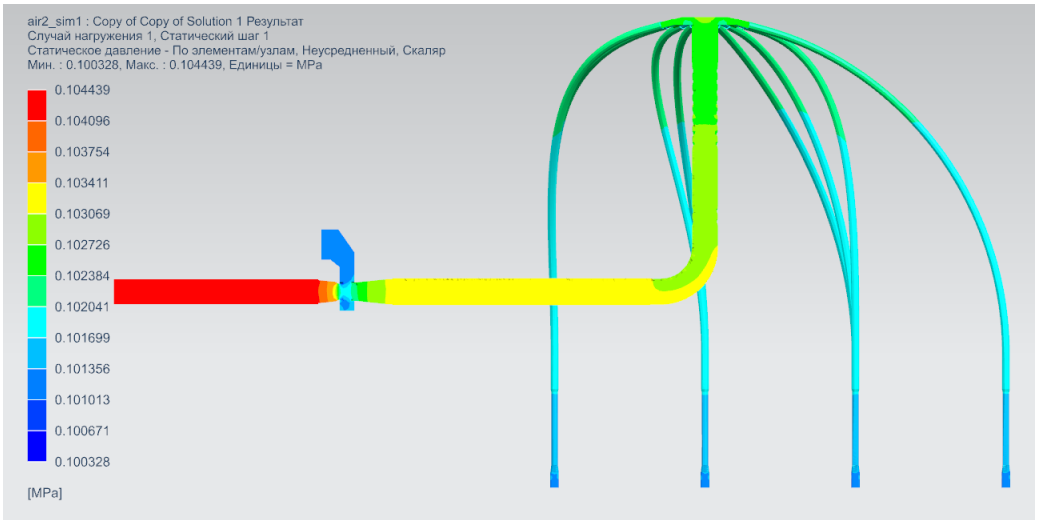


Рисунок 3 – График изменения статического давления в 3D модели пневмостистемы сеялки

Выводы. Теоретический анализ распределительной системы пневмотранспорта на примере сеялок для внесения семян и удобрений позволил установить перечень выражений для расчета параметров воздушно-продуктового слоя пневматической сеялки. Среднее квадратическое отклонение величин среднего значения по сечению и ядра потока в сечении (методом конечных элементов) для скорости воздушного потока не более 14 %. При неравномерности длины шлангов 1,5% неравномерность давления воздуха на соплах сошников, скорость истечения и расход воздуха менее 0,01%. Неравномерность давления по сошникам составит $3.5 \cdot 10^{-3}$%, при неравномерности длины шлангов – 1.492%. Неравномерность расхода воздуха и неравномерность скорости воздуха – до 0,039%. То есть, неравномерность длин элементов отводов сглаживается при работе потока аэросмеси.

Список литературы

1. Пятаев М.В.Моделирование параметров турбулизатора пневматического распределителя семян // Вестник ЧГАА. – 2013. – Т. 65. – С. 50-55.
2. Змиевский В.Т., Домина Н.Н., Казаков Л.Б.Влияние различий в высеве отдельными аппаратами на урожайность // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 5. – С. 40–41.
3. Мударисов С.Г., Рахимов З.С. Обоснование параметров двухфазного течения «воздух – семена» при математическом описании работы пневматической системы зерновой сеялки // Вестник БГАУ. – 2014. – № 4. – С. 85-91.
4. Чмиль В.П. Перспективы снижения энергозатрат нагнетательной пневмотранспортной установки // Механизация строительства. – 2014. – № 3 (837) – С. 8-13.
5. Зависимость между плотностью газа и его давлением URL:http://scibio.ru/fizika/molekulyarnaya_fizika/svojstva_veshchestv/plotnost_i_davlenie.html
6. Цифровой образовательный ресурс для школ «ЯКЛАСС» – "Молекулярная физика. Основные положения молекулярно-кинетической теории".Режим доступа:https://www.yaklass.ru/materiali?mode=lsntheme&themeid=127
7. ДавыдовС.Я. Расчет пневмотранспорта штучных грузов // Теория и практика мировой науки . – 2016. – №2 – С. 54-59.
8. Богатырева Е.В. Техническая термодинамика: Керчь: КГМТУ, 2010. Режим доступа: https://studfiles.net/preview/5125939/page:28/ .

9. Кантаев А.С.,Брус И.Д., Тураев Н.С. Расчет установок пневмотранспорта – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2015. 28 с.

10. Афанасьев А.И.,Потапов В.Я., Костюк П.А. Основы расчета пневматических устройств (ПУ) для транспортирования сыпучих смесей // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10. – С. 9-11.

11. Донской А.С. Моделирование и расчет пневматических приводов. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – 87 с.

12. Афанасьев А.И.,Потапов В.Я., Костюк П.А., Макаров В.А.Краткий обзор пневматических устройств для транспортирования сыпучих смесей и процессов внутри них // Известия Уральского государственного горного университета. – 2015. – № 3(39). – С 28-38.

13. Пахлян И.А., Проселков Ю.М. Определение рабочего диапазона основных характеристик вакуумного пневмотранспорта порошковых материалов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – №6. – С.43-46

14. Крючин Н.П. Повышение эффективности распределительно-транспортирующих систем пневматических посевных машин: монография. Самара: РИЦ СГСХА. 2008. 176 с.

15. Рахимов З.С. Обоснование параметров пневматической системы транспортирования семян и удобрений почвообрабатывающего посевного агрегата / З.С. Рахимов, Н.Т. Хлызов, И.Р. Рахимов, Д.В. Сидорченко, А.Н. Галимов // АПК России. – 2017. – Т. 24. – № 1. – С. 91-104.

References

1. Pyataev M.V. Modelirovanie parametrov turbulizatora pnevmaticheskogo raspredelitelya semyan // Vestnik CHGAA. – 2013. – T. 65. – S. 50-55.

2. Zmievskij V.T., Domina N.N., Kazakov L.B. Vliyanie razlichij v vyseve otdel'nymi apparatami na urozhajnost' // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 1985. – № 5. – S. 40–41.

3. Mudarisov S.G., Rahimov Z.S. Obosnovanie parametrov dvuhfaznogo techeniya «vozduh – semena» pri matematicheskom opisanii raboty pnevmaticheskoj sistemy zernovoj seyalki // Vestnik BGAU. – 2014. – № 4. – S. 85-91.

4. CHmil' V.P. Perspektivy snizheniya energozatrat nagnetatel'noj pnevmotransportnoj ustanovki // Mekhanizaciya stroitel'stva. – 2014. – № 3 (837) – S. 8-13.

5. Zavisimost' mezhdu plotnost'yu gaza i ego davleniem URL: http://scibio.ru/fizika/molekulyarnaya_fizika/svojstva_veshchestv/plotnost_i_davlenie.html

6. Cifrovoj obrazovatel'nyj resurs dlya shkol «YAKLASS» – "Molekulyarnaya fizika. Osnovnye polozheniya molekulyarno-kineticheskoj teorii". Rezhim dostupa: https://www.yaklass.ru/materiali?mode=lsntheme&themeid=127

7. Davydov S.YA. Raschet pnevmotransporta shtuchnyh gruzov // Teoriya i praktika mirovoj nauki . – 2016. – №2 – S. 54-59.

8. Bogatyreva E.V. Tekhnicheskaya termodinamika: Kerch': KGMTU, 2010. Rezhim dostupa: https://studfiles.net/preview/5125939/page:28/ .

9. Kantaev A.S., Brus I.D., Turaev N.S. Raschet ustanovok pnevmotransporta – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2015. 28 s.

10. Afanas'ev A.I., Potapov V.YA., Kostyuk P.A. Osnovy rascheta pnevmaticheskih ustrojstv (PU) dlya transportirovaniya sypuchih smesej // Fundamental'nye issledovaniya. – 2015. – № 10. – S. 9-11.

11. Donskoj A.S. Modelirovanie i raschet pnevmaticheskih privodov. – SPb.: Sankt- Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo, 2017. – 87 s.

12. Afanas'ev A.I., Potapov V.YA., Kostyuk P.A., Makarov V.A. Kratkij obzor pnevmaticheskih ustrojstv dlya transportirovaniya sypuchih smesej i processov vnutri nih // Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. – 2015. – № 3(39). – S 28-38.

13. Pahlyan I.A., Proselkov YU.M. Opredelenie rabochego diapazona osnovnyh harakteristik vakuumnogo pnevmotransporta poroshkovyh materialov // Stroitel'stvo neftyanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more. – 2010. – №6. – S.43-46

14. Kryuchin N.P. Povyshenie effektivnosti raspredelitel'no-transportiruyushchih sistem pnevmaticheskih posevnyh mashin: monografiya. Samara: RIC SGSKHA. 2008. 176 s.

15. Rahimov Z.S. Obosnovanie parametrov pnevmaticheskoj sistemy transportirovaniya semyan i udobrenij pochvoobrabatyvayushchego posevnogo agregata / Z.S. Rahimov, N.T. Hlyzov, I.R. Rahimov, D.V. Sidorchenko, A.N. Galimov // APK Rossii. – 2017. – T. 24. – № 1. – S. 91-104.

Поступила в редакцию: 17.05.2019
Принята к публикации: 17.06.2019

УДК 631.331.56

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТА ДЛЯ ГНЕЗДОВОГО ПОСЕВА СЕМЯН СОИ

Зазуля Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Балашов Александр Владимирович,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Стрыгин Сергей Петрович,
кандидат технических наук, e-mail: sew1982@gmail.com
Синельников Александр Алексеевич,
кандидат технических наук, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйств» г. Тамбов
Хайруллина Сабина Гумаровна,
аспирант, e-mail: hsg1988@mail.ru
ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

Реферат. *Представлена методика определения конструктивно-режимных параметров высевающего аппарата для обеспечения качественного посева семян сои гнездовым способом. По методике определены частота вращения высевающего диска, глубина ячеек и форма канавки на боковой поверхности диска. Конструктивно-режимные параметры и качественные показатели работы разработанного высевающего аппарата были изучены на специально изготовленном стенде. Использовали метод планирования многофакторного эксперимента. Использовали план Бокса для трех факторов. За критерий оптимизации был принят коэффициент вариации временных интервалов выпадения семян из ячеек высевающего диска. Установлены управляющие факторы: частота вращения высевающего диска, глубина ячейки, форма канавки на боковой поверхности высевающего диска.* Частота вращения высевающего диска была принята с учетом скорости посевного агрегата (5 - 7 км/ч) и нормы высева семян (q=400 тыс. шт/га). *Получено уравнение регрессии, адекватно описывающее исследуемый процесс с 95%-ной вероятностью. Адекватность полученной модели проверена по критерию Фишера. Определены пределы варьирования значений конструктивно - режимных параметров высевающего аппарата: частота вращения высевающего диска 9-16 мин$^{-1}$; глубина ячейки 7-8 мм, форма канавки на боковой поверхности высевающего диска - трапецеидальная. Критерий оптимизации варьировался в пределах 0,11 - 0,2. Установлено, что высевающий аппарат обеспечивает заполняемость ячеек на 97- 99% при частоте вращения высевающего диска 18 мин$^{-1}$, дробление семян менее 1%.*

Ключевые слова: *семена сои, гнездовой посев, высевающий диск, многофакторный эксперимент, план Бокса.*

THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS SEEDER FOR THE NEST METHOD OF SOWING SOYBEAN SEEDS

Zazulya Alexander,
Full Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Balashov Alexander,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Sinelnikov Alexander,
Candidate of Technical Sciences, e-mail: ntc.agro@yandex.ru
Strygin Sergei,
Candidate of Technical Sciences, e-mail: sew1982@gmail.com
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov

Khairullina Sabina,
Graduate student, e-mail: hsg1988@mail.ru
Tambov State Technical University, Tambov

Abstract. *A method for determining the design-mode parameters of the sowing apparatus to ensure high-quality sowing of soybean seeds by the breeding method is presented. The frequency of rotation of the sowing disk, the depth of the cells and the shape of the groove on the side surface of the disk are determined by the method. Constructive-mode parameters and quality indicators of the developed sowing apparatus were studied on a specially manufactured stand. Multi-factor experiment planning method were used. Boxing plan for three factors were used. The coefficient of variation of the time intervals of seed fallout from the cells of the sowing disc was taken as the optimization criterion. Control factors were established: rotational speed of the sowing disc, cell depth, shape of the groove on the side surface of the sowing disc. The rotational speed of the sowing disc was adopted taking into account the speed of the sowing unit (5–7 km / h) and the seeding rate (q = 400 thousand pcs / ha). A regression equation that adequately describes the process being studied with a 95% probability is obtained. The adequacy of the model obtained was tested by the Fisher criterion. The limits of variation of the values of the design-mode parameters of the sowing apparatus are determined: the rotation speed of the sowing disc is 9-16 min-1; the depth of the cell is 7-8 mm, the shape of the groove on the lateral surface of the sowing disc is trapezoidal. The optimization criterion varied from 0.11 to 0.2. It has been established that the sowing apparatus provides for the filling of the cells by 97-99% at a frequency of rotation of the sowing disc 18 min-1, the crushing of seeds is less than 1%.*

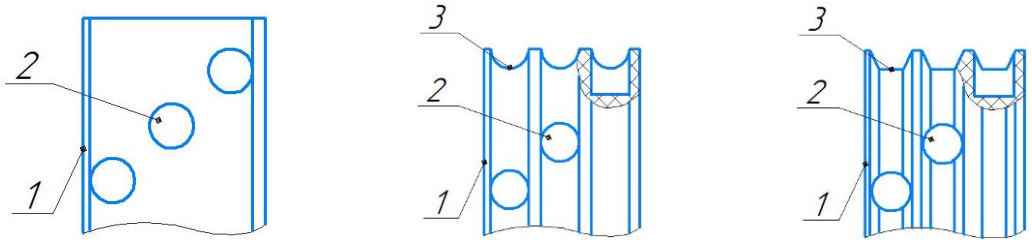
Keywords: *soybean seeds, nest method, sowing disk, multifactorial experiment, Box plan.*

Введение. Соя - важнейшая белковая культура мирового значения. Ее семена содержат в среднем 37 - 42 % белка, 19 - 22 % масла и до 30 % углеводов; вегетативная масса, убранная в фазу налива бобов, богата белками (16 - 18 %), углеводами и витаминами [1]. В последние годы посевные площади сои постоянно расширяются: в хозяйствах Центрально-Черноземного региона до 700 тыс. га, в Тамбовской области до 113 тыс. га [2]. Одной из важной технологической операцией при возделывании сои является посев. Способ посева сои зависит от сорта, влагообеспеченности, засоренности поля, технической оснащенности хозяйства, наличия средств защиты, ее можно высевать широкорядным, гнездовым, пунктирным и обычным рядовым способами [1]. При гнездовом посеве семена сои высевают по несколько штук через равные расстояния между гнездами. При этом количество растений в гнезде зависит от климатической зоны возделывания сои, а расстояние между гнездами от количества семян в гнезде [3]. Данная работа посвящена определению конструктивно-режимных параметров аппарата для гнездового посева семян сои.

Материалы и методы. Исследования проводились в лаборатории «Использование машинно-тракторных агрегатов» ФГБНУ ВНИИТиН на специально изготовленном стенде [4]. Конструктивно-режимные параметры экспериментального высевающего аппарата определены с применением теории планирования многофакторного эксперимента. В работе использовали план Бокса для трех факторов. В качестве параметра оптимизации был выбран коэффициент вариации интервалов времени (v) между выбросами семян сои из ячеек высевающего диска. На основе априорного ранжирования были отобраны три фактора в большей степени, влияющие на равномерность интервалов времени между выбросами семян из ячеек: частота вращения высевающего диска (X_1, мин$^{-1}$), глубина ячейки (X_2, мм), форма канавки на боковой поверхности высевающего диска (X_3).

Частота вращения высевающего диска была принята с учетом скорости посевного агрегата (5 - 7 км/ч) и нормы высева семян (q=400 тыс. шт/га).

С учетом физико-механических свойств семян сои и теоретических исследований [5-7], были изготовлены три вида высевающих дисков с возможностью регулирования глубины ячейки, рисунок 1.



а) без канавки б) радиальная канавка в) трапецеидальная канавка

1 - высевающий диск; 2 – ячейка; 3 – канавка.

Рисунок 1 – Схема высевающего диска для гнездового посева сои

С учетом требований, предъявляемых к факторам при планировании многофакторного эксперимента [8], были определены уровни и интервалы варьирования этих факторов, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы и уровни варьирования факторов

Факторы	Обозначение и размерность фактора	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
Частота вращения высевающего диска, ω	X_1, мин$^{-1}$	9	13,5	18
Глубина ячейки, h	X_2, мм	7	8	9
Форма канавки, k	X_3	без канавки	радиальная	трапецеидальная

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований были обработаны с помощью пакетов программ Microsoft Excel и MathCad [9]. По результатам реализации плана Бокса получено уравнение регрессии второго порядка, описывающее зависимость $v=f(\omega, h, k)$ в закодированном виде, с учетом значимости коэффициентов:

$$Y=0{,}158+0{,}033X_1+0{,}049X_2-0{,}043X_3-0{,}055X_1X_2-0{,}035X_1X_3+0{,}048X_1^2+0{,}078X_2^2-0{,}013X_3^2.$$

Адекватность полученной модели проверена по F-критерию Фишера. Полученная модель адекватно описывает исследуемый процесс. Влияние управляющих факторов на изменение критерия оптимизации изучено с помощью двумерных сечений (рисунок 2).

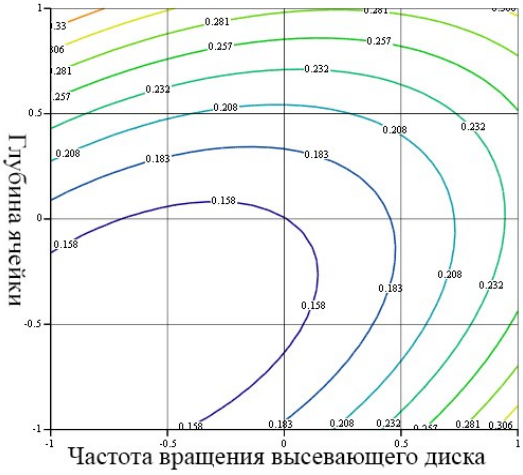


Рисунок 2 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента вариации интервалов времени (v) между выбросами семян из ячеек высевающего диска от частоты вращения высевающего диска(ω) и глубины ячейки (h)

Анализируя рисунок 2, можно отметить, что коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян из ячеек высевающего диска варьировался в пределах 0,16-0,2 при значениях рассматриваемых факторов: частоты вращения высевающего диска ω=9-16 мин$^{-1}$, глубины ячейки h=7 – 8 мм.

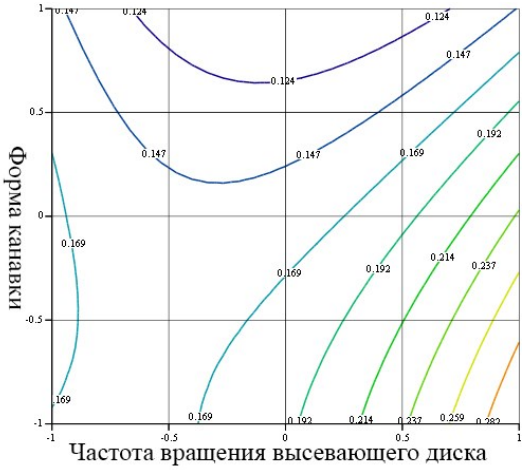


Рисунок 3 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента вариации интервалов времени (v) между выбросами семян из ячеек высевающего диска от частоты вращения высевающего диска(ω) и формы канавки (k)

Анализируя рисунок 3, можно отметить, что коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян из ячеек высевающего диска варьировался в пределах 0,12-0,15 при частоте вращения высевающего диска ω=9-18 мин$^{-1}$ и трапецеидальной канавке на боковой поверхности высевающего диска.

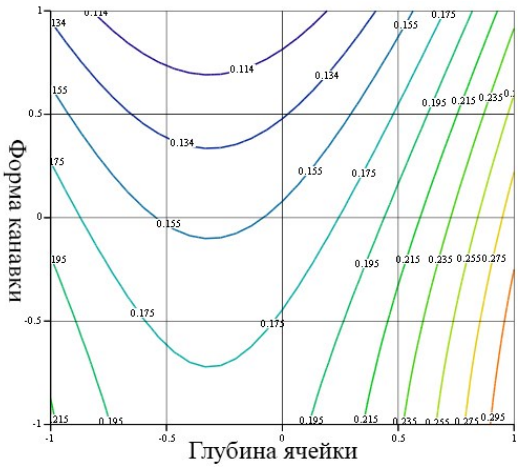


Рисунок 4 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость коэффициента вариации интервалов времени (v) между выбросами семян из ячеек высевающего диска от глубины ячейки (h) и формы канавки (k)

Из анализа рисунка 4 следует, что коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян из ячеек высевающего диска варьировался в пределах 0,11-0,13 при глубине ячеек 7 – 8 мм и трапецеидальной канавке на боковой поверхности высевающего диска.

Заключение. Лабораторно-стендовые исследования позволили определить, с учетом необходимой нормы высева, конструктивно-режимные параметры высевающего аппарата для гнездового посева сои, обеспечивающие максимально возможную равномерность интервалов времени между выбросами семян из ячеек высевающего диска.

Качественные показатели процесса высева семян были получены у высевающего диска с трапецеидальной канавкой, глубиной ячейки 8 мм, при частоте вращения 16 мин$^{-1}$. Высевающий аппарат обеспечивал заполняемость ячеек на 97-99% при частоте вращения диска 18 мин$^{-1}$, дробление семян менее 1%. Коэффициент вариации интервалов времени между выбросами семян из ячеек высевающего диска изменялся в пределах 0,11 - 0,2.

Список литературы

1. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сои: Метод. рекомендации. – М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 56 с.
2. Оперативная информация: [Электронный ресурс] / Управление сельского хозяйства Тамбовской области. URL: http://www.agro.tmbreg.ru/ (Дата обращения: 11.09.2018).
3. Пат. 2127032 Российская Федерация, МПК A01C7/04. Способ высева семян и устройство для его осуществления / В.Д. Липин, С.А. Шишлов; заявитель и патентообладатель Приморская государственная сельскохозяйственная академия. – № 97100615/13; заявл. 16.01.1997, опубл. 10.03.1999, Бюл. №5. – 7 с. : ил.
4. Балашов, А.В. Результаты лабораторно - стендовых исследований высевающего аппарата для капсулированных семян пропашных культур / А.В. Балашов, С.П. Стрыгин // Наука в центральной России, 2015. - №6. – С. 78 – 84.
5. Балашов, А.В. Определение физико-механических свойств семян сои / А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, В.П. Капустин, С.Г. Хайруллина // Наука в центральной России. – 2017. – №2. – С. 5 – 12.
6. Капустин, В.П. Определение размерных характеристик семян сои / В.П. Капустин, С.Г. Хайруллина // Материалы 69-й научно-практической конференции студентов и аспирантов: сборник научных статей, в 2-х частях, часть II. – Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ. – 2017. – С. 298-302.
7. Балашов, А.В. Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров сеялки для гнездового посева семян сои /А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, С.Г. Хайруллина// Наука в центральной России. - 2018. - №4. - С. 4-12.
8. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
9. Коновалов, В.В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ: Учебное пособие / В.В. Коновалов. – Пенза: ПГСХА, 2003. – 176 с.

References

1. Perspektivnaya resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva soi: Metod. rekomenda-cii. – M.:FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. – 56 s.
2. Operativnaya informaciya: [EHlektronnyj resurs] / Upravlenie sel'skogo hozyajstva Tambovskoj oblasti. URL: http://www.agro.tmbreg.ru/ (Data obrashcheniya: 11.09.2018).
3. Pat. 2127032 Rossijskaya Federaciya, MPK A01S7/04. Sposob vyseva semyan i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / V.D. Lipin, S.A. SHishlov; zayavitel' i patentoobladatel' Pri-morskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. – № 97100615/13; zayavl. 16.01.1997, opubl. 10.03.1999, Byul. №5. – 7 s. : il.
4. Balashov, A.V. Rezul'taty laboratorno - stendovyh issledovanij vysevayushchego apparata dlya kapsulirovannyh semyan propashnyh kul'tur / A.V. Balashov, S.P. Strygin // Nauka v central'noj Rossii, 2015. - №6. – S. 78 – 84.
5. Balashov, A.V. Opredelenie fiziko-mekhanicheskih svojstv semyan soi / A.V. Balashov, S.P. Strygin, A.A. Sinel'nikov, V.P. Kapustin, S.G. Hajrullina // Nauka v central'-noj Rossii. – 2017. – №2. – S. 5 – 12.
6. Kapustin, V.P. Opredelenie razmernyh harakteristik semyan soi / V.P. Kapustin, S.G. Hajrullina // Materialy 69-j nauchno-prakticheskoj konferencii studentov i aspiran-tov: sbornik nauchnyh statej, v 2-h chastyah, chast' II. – Michurinsk: Izd-vo Michurinskogo GAU. – 2017. – S. 298-302.
7. Balashov, A.V. Teoreticheskoe obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov seyalki dlya gnezdovogo poseva semyan soi /A.V. Balashov, S.P. Strygin, A.A. Sinel'nikov, S.G. Hajrullina// Nauka v central'noj Rossii. - 2018. - №4. - S. 4-12.
8. Mel'nikov, S.V. Planirovanie ehksperimenta v issledovaniyah sel'skohozyajstvennyh processov / S.V. Mel'nikov, V.R. Aleshkin, P.M. Roshchin. – L.: Kolos, 1980. – 168 s.
9. Konovalov, V.V. Praktikum po obrabotke rezul'tatov nauchnyh issledovanij s pomoshch'yu PEHVM: Uchebnoe posobie / V.V. Konovalov. – Penza: PGSKHA, 2003. – 176 s.

Поступила в редакцию: 08.04.2019
Принята к публикации: 27.05.2019

УДК 631.33.022.6

КОНСТРУКЦИЯ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА СЕЯЛКИ

Ларюшин Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор, e-mail: larushinnp@mail.ru
Шуков Александр Васильевич,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: Sashka-shukov@yandex.ru
Парфенов Дмитрий Юрьевич,
аспирант
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет» г. Пенза

Реферат. *Анализ современных технических средств механизации посева семян зерновых культур показал, что в основном, применяются высевающие аппараты катушечного типа с клапанами, имеющими гладкую рабочую поверхность. Установлено, что на высев семян влияет форма рабочей поверхности клапана, которая определяет формирования активного слоя семян заданной толщины. Для решения проблемы качественного посева семян зерновых культур в Пензенском ГАУ разработан, изготовлен и испытан экспериментальный катушечный высевающий аппарат с клапаном, имеющим сплошное покрытие из резины, с коническими шипами на рабочей поверхности. Установлено, что формированию устойчивого активного слоя семян заданной толщины по всей площади рабочей поверхности резинового покрытия способствует расположение шипов в шахматном порядке, угол обхвата сплошного покрытия из резины с шипами от кромки сброса клапана, равный 105 градусам, с центром радиуса кривизны в центре вращения катушки. Определены оптимальные размеры шипов для уменьшения времени на формирование устойчивого неподвижного слоя семян. Установлено, что величина высоты шипов больше толщины высеваемых семян, величина ширины прохода между рядами шипов по нижним основаниям превышает ширину высеваемых семян при диаметре нижнего основания шипов 3,0-4,0 мм и верхнего 2,0-3,0 мм. Разработанный катушечный высевающий аппарат со сплошным покрытием из резины с шипами и покрытием передней части клапана из антифрикционного материала, позволит получить устойчивый активный слой семян с заданным их количеством, что обеспечит равномерный высев семян, устойчивость общего высева и уменьшить травмирование семян, при этом увеличивается урожайность культуры.*

Ключевые слова: *сеялка, высевающий аппарат, клапан, семена*

THE DESIGN OF THE SOWING UNIT OF THE SEEDERS

Laryushin Nikolay,
doctor of technical Sciences, Professor, e-mail: larushinnp@mail.ru
Shukov Alexander,
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: Sashka-shukov@yandex.ru
Parfenov Dmitry,
postgraduate
FSBEI HE «Penza state agrarian University», Penza

Abstract. *The analysis of modern technical means of mechanizing the sowing of seeds of grain crops showed that, in general, bobbin-type metering machines with valves with a smooth working surface are used. It was established that the seeding of the seeds is influenced by the shape of the working surface of the valve, which determines the formation of the active layer of seeds of a given thickness. An experimental coil-type metering unit with a valve having a continuous rubber coating with conical spikes on the working surface was developed at the Penza State Agrarian University, manufactured and tested to solve the problem of high-quality sowing of grain crops. It was established that the formation of a stable active seed layer of a given thickness across the entire working surface of the rubber coating contributes to the location of the spikes in a checkerboard pattern, the wrap angle of a continuous rubber coating with spikes from the valve relief edge equal to 105 degrees, with a center of curvature radius in the center*

of rotation of the coil. The optimal size of thorns was determined to reduce the time for the formation of a stable fixed seed layer. It was established that the height of thorns is greater than the thickness of the sown seeds, the width of the passage between the rows of thorns on the lower bases exceeds the width of the seeds being sown with a diameter of the lower base of thorns 3.0-4.0 mm and the upper 2.0-3.0 mm. The developed coil sowing machine with a continuous rubber coating with spikes and a coating of the front part of the valve of antifriction material will allow you to get a stable active seed layer with a given amount, which will ensure even sowing of seeds, general seed resistance and reduce seed injury, while increasing crop yield .

Keywords: *seeder, sowing machine, valve, seeds*

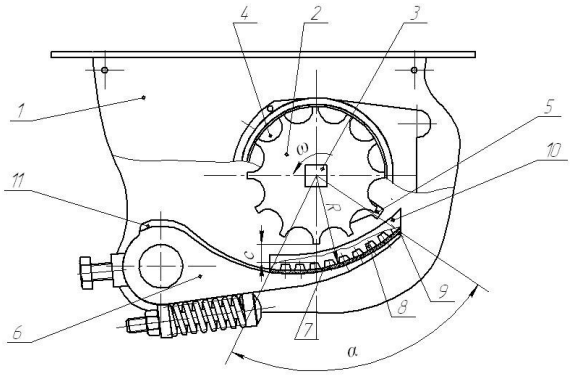
Введение. Решением проблем качественного посева семян зерновых культур и вопросами создания эффективных рабочих органов сеялок занимаются многие отечественные и зарубежные ученые. В настоящее время наибольшее распространение в посевных машинах нашли катушечные высевающие аппараты, при исследовании которых, не учитывалась конструкция рабочей поверхности клапана, в связи с этим, при работе, они не в полной мере отвечают агротехническим требованиям к посеву.

Для решения проблемы качественного посева семян зерновых культур в Пензенском ГАУ разработан, изготовлен и испытан катушечный высевающий аппарат с клапаном, имеющим сплошное покрытие из резины, с коническими шипами на рабочей поверхности. На данную конструкцию высевающего аппарата подана заявка на патент РФ № 2019111270 от 15.04.2019 г.

Материалы и методы. Методика конструирования катушечного высевающего аппарата разрабатывалась на основе анализа существующих технологических способов и технических средств механизации посева семян зерновых культур с учетом общепринятых методик оценки качества выполнения технологического процесса посевными машинами: ГОСТ 31345–2007 «Сеялки тракторные. Методы испытаний»; СТО АИСТ 5.6–2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения. Общие требования».

Результаты и их обсуждение. При использовании катушечного высевающего аппарата получен следующий результат: формируется устойчивый активный слой семян необходимой толщины, получен равномерный высев семян с заданной нормой, при этом уменьшается время на формирование устойчивого неподвижного слоя семян, что способствует также формированию устойчивого активного слоя семян необходимой толщины и равномерного высева семян заданной нормой, снижается дробление семян. Все это приводит к улучшению качества высева семян, повышению урожайности культуры и снижению себестоимости продукции.

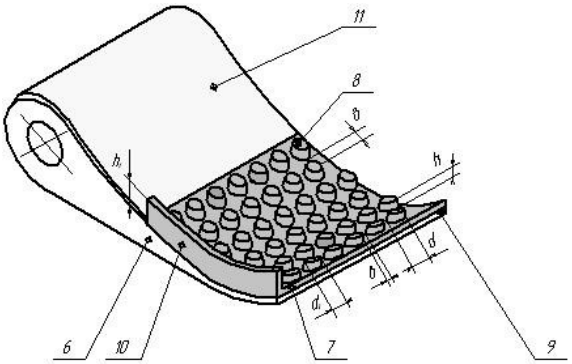
Катушечный высевающий аппарат включает корпус 1 (рисунок 1), катушку 2 на валу 3 привода, розетку 4, муфту 5, клапан 6, установленный под катушкой 2, при этом рабочая поверхность клапана 6 выполнена гладкой. Она имеет переднюю и заднюю части, при этом на задней части клапана 6, способом гуммирования нанесено сплошное покрытие 7 из резины с шипами 8 (рисунок 1, рисунок 2). Шипы 8 выполнены в форме усеченных конусов, расположены в шахматном порядке, при этом угол обхвата α (рисунок 1), сплошного покрытия 7 из резины с шипами 8, замеренный от кромки сброса 9 клапана 6, равен α=105 градусов, с центром радиуса кривизны *R*в центре вращения катушки 2, при этом диаметр нижнего основания шипов 8 равен *d*= 3,0…4,0 мм (рисунок 2), при этом диаметр верхнего основания шипов 8 равен d_1 = 2,0…3,0 мм, при этом величина высоты *h* шипов 8 более толщины высеваемых семян, при этом величина ширины прохода *в* между рядами шипов 8, замеренная по нижним основаниям шипов 8, более ширины высеваемых семян, при этом величина свободного промежутка *с* между верхними основаниями шипов 8 и ребрами катушки 2, замеренного по вертикальной оси симметрии катушки 2, находится в пределах толщины активного слоя семян. Покрытие 7 из резины с шипами 8 имеет отбортовку 10, расположенную вдоль кромки клапана 6, направленной в сторону розетки 4 (рисунок 3), при этом отбортовка 10 направлена вертикально вверх, при этом величина высоты h_1 отбортовки 10 более высоты *h* шипов 8 (рисунок 2), при этом толщина отбортовки 10 равна толщине сплошного покрытия 7 из резины с шипами 8, при этом на передней части клапана 6 нанесено покрытие 11 из антифрикционного материала (рисунок 1 рисунок 2).



1 – корпус; 2 – катушка; 3 – вал; 4 – розетка; 5 – муфта; 6 – клапан; 7 – покрытие из резины; 8 – шипы; 9 – кромка сброса, 10 –отбортовка;11 – покрытие из антифрикционного материала

Рисунок 1 – Схема высевающего аппарата.

Катушечный высевающий аппарат работает следующим образом. При вращении катушки 2 (рисунок 1) с валом 3 желобки заполняются семенами из верхней части корпуса 1 семенной коробки и направляются к клапану 6 высевающего аппарата, заполняя переднюю часть рабочей поверхности клапана 6 с покрытием 11 из антифрикционного материала, а также заднюю поверхность сплошного покрытия 7 из резины с шипами 8 (рисунок1, рисунок 2) и все свободное пространство между катушкой 2 и клапаном 6. С клапана 6 семена выбрасываются в семяпровод (не показано).



6 – клапан; 7 – покрытие из резины; 8 – шипы; 9 – кромка сброса, 10 – отбортовка; 11 – покрытие из антифрикционного материала.

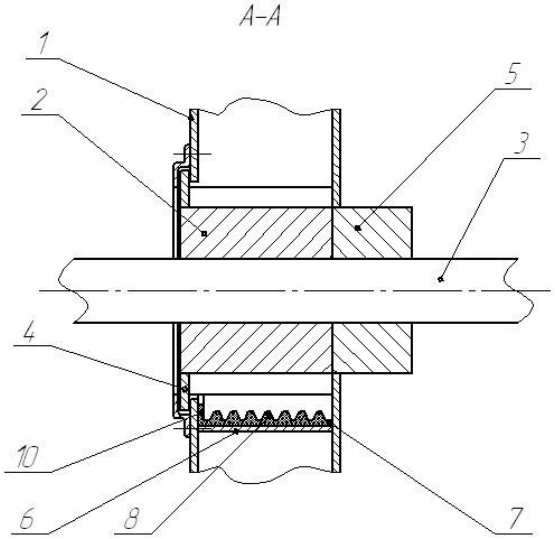
Рисунок 2 – Схема клапана высевающего аппарата.

Для формирования устойчивого активного слоя семян необходимой толщины, получения равномерного высева семян с заданной нормой, рабочая поверхность клапана 6 выполнена гладкой. Рабочая поверхность клапана 6 имеет переднюю и заднюю части, при этом на задней части клапана 6, способом гуммирования нанесено сплошное покрытие 7 из резины с шипами 8, как упоминалось ранее (рисунок 1, рисунок 2). Шипы 8 выполнены в форме усеченных конусов и расположены в шахматном порядке, что приводит к увеличению свободного пространства между шипами 8 верхней их части, благодаря этому семена быстро заходят между шипами 8 и быстро опускаются на резиновое покрытие 7 с шипами 8, образуя устойчивый неподвижный слой семян, что способствует образованию устойчивого активного слоя семян заданной толщины, при этом

повышается равномерность высева семян с заданной нормой. Кроме того, формированию устойчивого активного слоя семян, заданной толщины по всей площади рабочей поверхности резинового покрытия 7 с шипами 8 способствует то, что угол обхвата α (рисунок 1), сплошного покрытия 7 из резины с шипами 8, замеренный от кромки сброса 9 клапана 6, равен α=105 градусов, с центром радиуса кривизны *R*в центре вращения катушки 2. Величина свободного промежутка *c* между верхними основаниями шипов 8 и ребрами катушки 2, замеренного по вертикальной оси симметрии катушки 2, находится в пределах толщины активного слоя семян, при этом на передней части клапана 6 нанесено покрытие 11 из антифрикционного материала.

Для уменьшения времени на формирование устойчивого неподвижного слоя семян, что способствует также формированию устойчивого активного слоя семян необходимой толщины и равномерного высева семян с заданной нормой, диаметр нижнего основания шипов 8 равен *d*= 3,0…4,0 мм (рисунок 2), при этом диаметр верхнего основания шипов 8 равен d_1 = 2,0…3,0 мм, при этом величина высоты *h* шипов 8 более толщины высеваемых семян, при этом величина ширины прохода *в* между рядами шипов 8, замеренная по нижним основаниям шипов 8, более ширины высеваемых семян.

Для снижения дробления семян, за счёт исключения их схода в сторону розетки 4 (рисунок 3) высевающего аппарата, покрытие 7 (рисунок 2) из резины с шипами 8 имеет отбортовку 10 расположенную вдоль кромки клапана 6, направленой в сторону розетки 4, при этом отбортовка 10 направлена вертикально вверх, при этом величина высоты h_1 отбортовки 10 более высоты *h* шипов 8, при этом толщина отбортовки 10 равна толщине сплошного покрытия 7 из резины с шипами 8.



1 – корпус; 2 – катушка; 3 – вал; 4 – розетка; 5 – муфта; 6 – клапан; 7 – покрытие из резины; 8 – шипы; 10 – отбортовка.

Рисунок 3 – Схема высевающего аппарата в разрезе.

Таким образом, работа высевающего аппарата, при установке на задней части рабочей поверхности клапана 6 сплошного покрытия 7 из резины с шипами 8 в форме усеченных конусов и отбортовки 10 на сплошном покрытии 7 из резины с шипами 8, обеспечивается равномерный высев семян с заданной нормой, с меньшим дроблением семян. Все это улучшает качество посева, что приводит к повышению урожайности и снижению себестоимости продукции.

Заключение. Разработанный катушечный высевающий аппарат со сплошным покрытием из резины с шипами и покрытием передней части клапана из антифрикционного материала, позволит получить устойчивый активный слой семян с заданным их количеством, что обеспечит равномерный высев семян, устойчивость общего высева и уменьшить травмирование семян, при этом увеличивается урожайность культуры.

Список литературы

1. Ларюшин Н.П., Мачнев А.В., Шумаев В.В. Посевные машины. Теория, конструкция, расчёт. Москва: Росинформагротех. 2010. 292 с.
2. Петухов Д.А., Сердюк В.В. Современные посевные машины // Техника и оборудования для села. – 2012. – № 1. – С. 18–21.
3. Ларюшин Н.П., Шуков А.В., Абакумов А.В. Основные факторы, влияющие на качественные показатели работы высевающих аппаратов сеялок // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Институт механики и энергетики. – 2016. – С. 484-488.
4. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Москва: Изд-во стандартов, 2007. – 28 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат. 1985. 351 с
6. Ларин М.А, Мачнев А.В., Шуков А.В., Мачнева В.В.. Экспериментальные исследования сошника с направителем-распределителем семян пневматической сеялки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. Ульяновск. 2012. С. 118-122.

References

1. Laryushin N.P., Machnev A.V., SHumaev V.V. Posevnye mashiny. Teoriya, konstrukciya, raschyot. Moskva: Rosinformagrotekh. 2010. 292 s.
2. Petuhov D.A., Serdyuk V.V. Sovremennye posevnye mashiny // Tekhnika i oborudovaniya dlya sela. – 2012. – № 1. – S. 18–21.
3. Laryushin N.P., SHukov A.V., Abakumov A.V. Osnovnye faktory, vliyayushchie na kachestvennye pokazateli raboty vysevayushchih apparatov seyalok // Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy: cbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati doktora tekhnicheskih nauk, professora F. H. Burumkulova. Institut mekhaniki i energetiki. – 2016. – S. 484-488.
4. GOST R 52778-2007. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody ekspluatacionno-tekhnologicheskoj ocenki. – Moskva: Izd-vo standartov, 2007. – 28 s.
5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). – 5-e izd., dop. i pererab. Moskva: Agropromizdat. 1985. 351 s
6. Larin M.A, Machnev A.V., SHukov A.V., Machneva V.V.. Eksperimental'nye issledovaniya soshnika s napravitelem-raspredelitelem semyan pnevmaticheskoj seyalki // Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. Ul'yanovsk. 2012. S. 118-122.

Поступила в редакцию: 21.05.2019
Принята к публикации: 21.06.2019

УДК 631.33.022.6

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЯЛКИ С КАТУШЕЧНО-ВИНТОВЫМИ ВЫСЕВАЮЩИМИ АППАРАТАМИ ДЛЯ ПОСЕВА СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

***Ларюшин Николай Петрович*,**
доктор технических наук, профессор, e-mail: larushinnp@mail.ru
***Шуков Александр Васильевич*,**
кандидат технических наук, доцент, e-mail: Sashka-shukov@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», г. Пенза

Реферат. *Серийно выпускаемые сеялки с высевающими аппаратами в виде катушек с прямыми желобками не в полной мере отвечают агротехническим требованиям, при работе дают пульсирующий, не равномерный поток высеваемых семян, отчего увеличивается неустойчивость общего высева. Проведены полевые исследования сеялки, оснащенной*

экспериментальными катушечно-винтовыми высевающим аппаратом, разработанным в Пензенском ГАУ. Определяли неустойчивость общего высева семян зерновых культур экспериментальным катушечно-винтовым высевающий аппаратомсогласно ГОСТ 31345-2007.Как показали результаты испытаний, экспериментальная сеялка с катушечно-винтовыми высевающими аппаратами, устойчиво выполняет процесс посева семян озимой пшеницы сорта «Безенчукская 380» при соблюдении агротехнических требований. Оптимальные значениях конструктивных параметров катушечно-винтового высевающего аппарата: угол наклона желобков катушки – 20^0, высота расположения обреза торцевой части клапана 14 мм и угол наклона торцевой части клапана - 90^0 оставались постоянными и соответствовали полученным при лабораторных испытаниях. Снижение неустойчивости общего высева и повреждения семян, а также повышение урожайности возделываемой культуры обеспечивалось при этих параметрах высевающего аппарата. Применение экспериментальной сеялки с разработанными катушечно-винтовыми высевающими аппаратами для посева семян зерновых культур, позволит получить прибавку урожайности на 13 %.

Ключевые слова: *зерновые культуры, высев семян, катушечно-винтовой высевающий аппарат*

A FIELD STUDY OF THE SEWING MACHINE WITH THE BOBBIN SCREW SOWING APPARATUS FOR SOWING SEEDS OF GRAIN CROPS

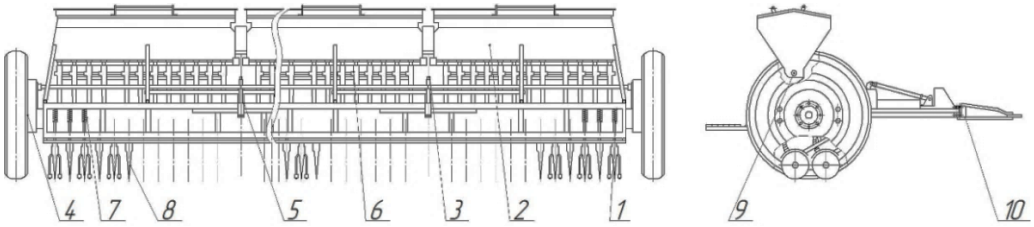
Laryushin Nikolay,
doctor of technical sciences, professor, e-mail: larushinnp@mail.ru
Shukov Alexander,
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: Sashka-shukov@yandex.ru
FSBEI HE "Penza state agrarian University", Penza

Abstract.*Commercially available seed drills with sowing machines in the form of coils with straight grooves do not fully meet the agrotechnical requirements, and during operation they give a pulsating, not uniform flow of sown seeds, which increases the instability of the total seeding.Field studies of the seeder equipped with experimental coil-screw sowing apparatus developed at the Penza State Agrarian University were carried out.The instability of the total seeding of grain seeds by an experimental coil-screw sowing machine according to GOST 31345-2007 was determined.As shown by the test results, an experimental seed drill with bobbin-screw sowing machines consistently performs the sowing process of winter wheat seeds of the Bezenchukskaya 380 variety, while respecting agrotechnical requirements.The optimum values of the design parameters of the bobbin-screw metering unit: the angle of inclination of the grooves of the coil is 200, the height of the edge of the edge of the valve 14 mm and the angle of the end of the valve 90 degrees remained constant and corresponded to those obtained during laboratory tests.Reducing the instability of the total seeding and damage to seeds, as well as increasing the yield of the cultivated crop was provided with these parameters of the sowing apparatus.The use of an experimental planter with developed spool-screw sowing devices for sowing seeds of grain crops, will allow to obtain an increase in utilization rate by 13%.*

Key words: *grain crops, seeding, coil-screw seeding machine*

Введение. В настоящее время актуальной задачей для сельхозпроизводителей по-прежнему остается повышение урожайности и снижение себестоимости возделывания зерновых культур за счет совершенствования технологического процесса высева семян, путем разработки высевающего аппарата[1-2].

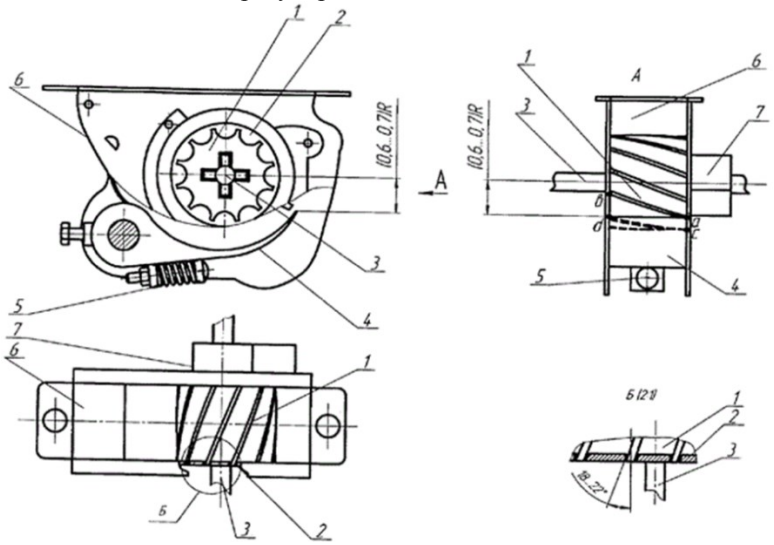
Для решения этой проблемы в Пензенском ГАУ был разработан, изготовлен и испытан катушечно-винтовой высевающий аппарат (патент № 2384040 от 20.03.2010) который был установлен на экспериментальную сеялку СЗ-5,4. Сеялка имеет сварную раму (рисунок 1), состоящую из переднего и заднего брусьев. Передача вращения на высевающие аппараты осуществляется от опорно-приводных колес. Высевающие аппараты приводятся во вращение цепной передачей. Норма высева регулируется изменением передаточного отношения привода высевающих аппаратов. Для обеспечения прямолинейности движения посевного агрегата и выдерживания одинаковых размеров стыковых междурядий сеялка оснащена двумя маркерами (не показано).



1 – диски; 2 – бункер; 3 – привод высевающих аппаратов; 4 – колесо опорно-приводное; 5 – вал привода высевающих аппаратов; 6 – семяпроводы; 7 – пружина; 8 – загортачи; 9 – катушечно-винтовой высевающий аппарат; 10 – прицепное устройство

Рисунок 1 – Схема экспериментальной сеялки СЗ-5,4М с катушечно-винтовыми высевающими аппаратами

Высевающий аппарат (рисунок 2) содержит семенную коробку 6, катушку с желобками 1, установленную на валу высевающего аппарата. Снизу семенная коробка 6 перекрыта подпружиненным клапаном 4. Катушка 1 вставлена в розетку 2. На вал высевающего аппарата 3 надета муфта 7. В муфту 7 вставлен цилиндрический хвостовик 8. Муфта 7 не может вращаться, но при этом свободно перемещается поперек семенной коробки вместе с катушкой 1. Подпружиненный клапан 4 снабжен регулировочным болтом 5.



1 – катушка с желобками; 2 – розетка; 3 – вал высевающих аппаратов; 4 – подпружиненный клапан; 5 – регулировочный болт; 6 – семенная коробка; 7 – муфта

Рисунок 2 – Схема катушечно-винтового высевающего аппарата

Высевающий аппарат работает следующим образом: семена из сменного ящика самотеком поступают в семенную коробку 6 высевающего аппарата и заполняют пространство вокруг катушки с желобками 1. Вращаясь, катушка с желобками 1 перемещает семена, запавшие в желобки, и часть семян активного слоя, не попавших в желобки, но расположенных вблизи ребер катушки 1, в нижнюю часть семенной коробки 6 и сбрасывает их в конце клапана 4 в воронку семяпровода, причем не пульсирующе-порционно, а плавно и непрерывно за счет того, что ребра желобков катушки с желобками 1 выполнены по винтовой линии.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования по определению неустойчивости общего высева семян зерновых культур экспериментальным катушечно-винтовой высевающий аппарат проводились согласно ГОСТ 31345-2007 Сеялки тракторные. Методы испытаний.

Перед тем как провести сравнительный опыт на экспериментальном участке, определяли норму высева семян озимой пшеницы сорта «Безенчукская 380». Для её определения сеялка с экспериментальными катушечно-винтовыми высевающими аппаратами проходила участок длиной 100 м, при этом семена от каждого высевающего аппарата собирали в отдельные мешочки. Массу семян, которую высеял каждый аппарат, суммировали и взвешивали с погрешностью ±0,1 г. Повторность опыта была трёхкратная [3-7]. Изменение нормы высева проводилось путём изменения частоты вращения высевающих аппаратов при помощи привода высевающих аппаратов сеялки.

В соответствии с представленной методикой проведено уточнение оптимальных параметров экспериментального катушечно-винтового высевающего аппарата. После обработки опытных данных построены графики (рисунки 3, 4, 5) и определены корреляционные связи между неустойчивостью общего высева, и исследуемыми параметрами. Для изучения влияния скорости посевного агрегата на неустойчивость общего высева зерновых культур при посеве скорость агрегата изменяли в интервале 6,4-14,4 км/ч.

Результаты и их обсуждение. По результатам обработки полученных данных, строили графики зависимостей неустойчивостью общего высева от угла наклона торцевой части клапана β, град., угла наклона желобков катушки α, град. и высоты расположения обреза торцевой части клапана h, мм.

Корреляционная связь между неустойчивостью общего высева и от угла наклона желобков катушки выражается уравнением параболической функции:

$$y = 0{,}0058x^2 - 0{,}2284x + 3{,}1971, \quad (1)$$

при этом индекс корреляции $R^2 = 0{,}9648$.

По полученным данным и уравнению (1) построен график зависимости между величиной показателя неустойчивости общего высева от угла наклона желобков катушки катушечно-винтового высевающего аппарата для посева семян зерновых культур (рисунок 3).

На основании графической зависимости (рисунок3) можно сделать вывод, что при угле наклона желобков катушки 20 градусов неустойчивостью общего высева составила 0,9 %.

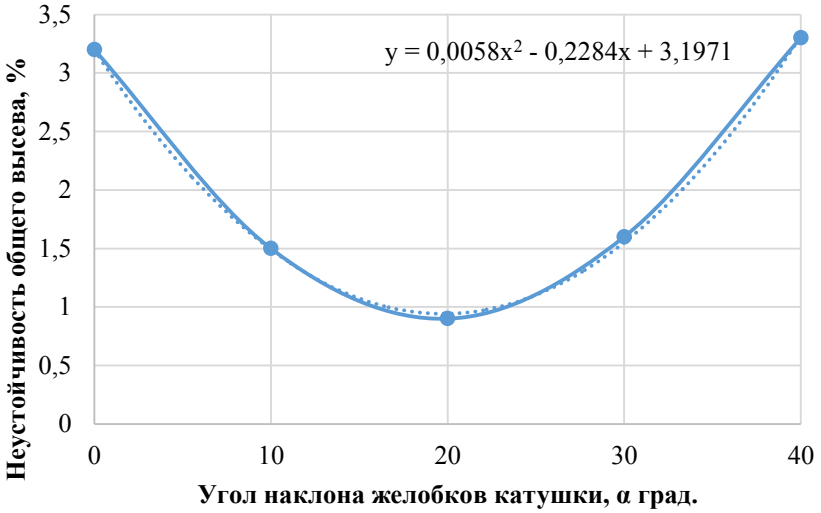


Рисунок 3 – Зависимость между величиной показателя неустойчивости общего высева от угла наклона желобков катушки (α) катушечно-винтового высевающего аппарата для посева семян зерновых культур

Корреляционная связь между неустойчивостью общего высева и высотой расположения обреза торцевой части клапана выражается уравнением параболической функции:

$$y = 0{,}1518x^2 - 4{,}235x + 30{,}486, \quad (2)$$

при этом индекс корреляции $R^2 = 0{,}9699$.

По полученным данным и уравнению (2) построен график зависимости между величиной показателя неустойчивости общего высева и высоты расположения обреза торцевой части клапана (рисунок 4).

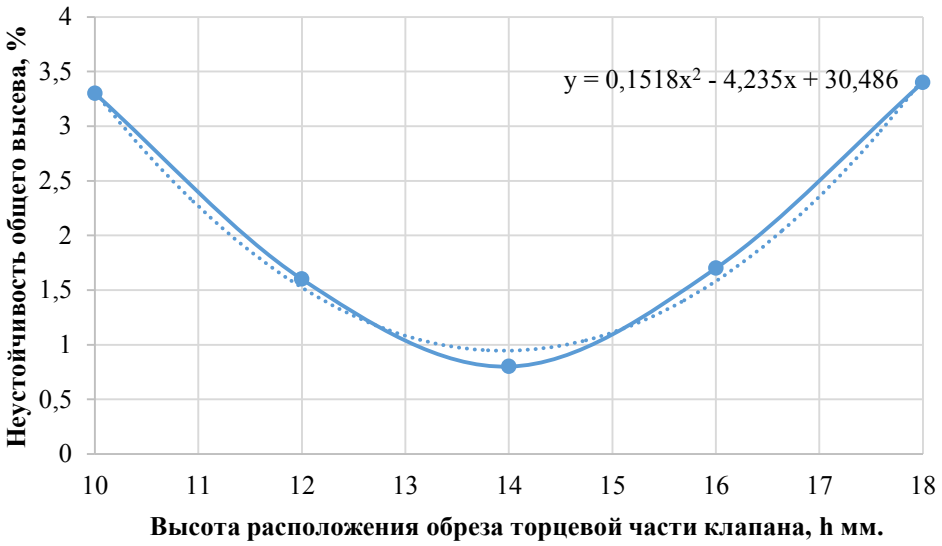


Рисунок 4 – Зависимость между величиной показателя неустойчивости общего высева и высоты расположения обреза торцевой части клапана(h)катушечно-винтового высевающего аппарата для посева семян зерновых культур

На основании графической зависимости (рисунок 4) между величиной показателя неустойчивости общего высева и высоты расположения обреза торцевой части клапана, можно сделать вывод, что при высоте расположения обреза торцевой части клапана 14 мм неустойчивость общего высева составит 0,8 %.

Корреляционная связь между неустойчивостью общего высева от угла наклона торцевой части клапана выражается уравнением параболической функции:

$$y = 0{,}0007x^2 - 0{,}1232x + 6{,}6917, \quad (3)$$

при этом индекс корреляции $R^2 = 0{,}9789$

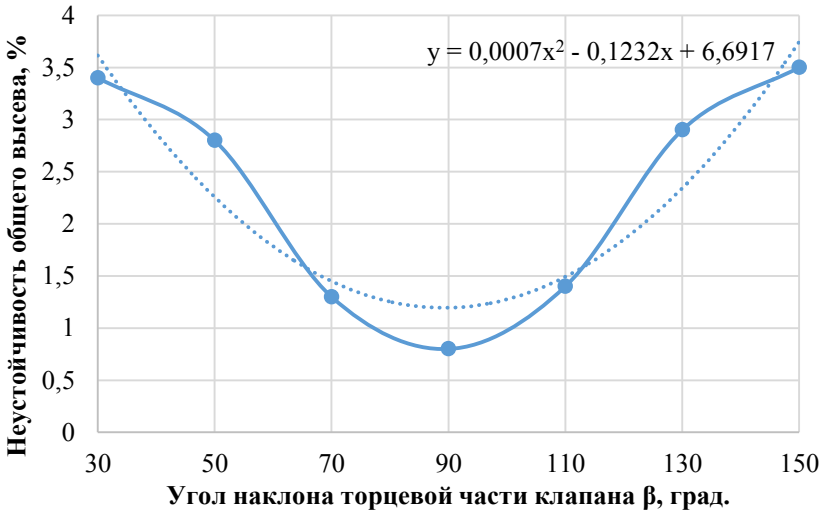


Рисунок 5 – Зависимость между величиной показателя неустойчивости общего высева от угла наклона торцевой части клапана (β) катушечно-винтового высевающего аппарата для посева семян зерновых культур.

По полученным данным и уравнению (3) построен график зависимости между неустойчивостью общего высева от угла наклона торцевой части клапана (рисунок 5)

На основание графической зависимости (рисунок5) между величиной показателя неустойчивостью общего высева от угла наклона торцевой части клапана, можно сделать вывод, что при угле наклона торцевой части клапана 90 град. неустойчивость общего высева составит 0,5 %.

При исследовании влияния скорости движения агрегата на неустойчивость общего высева от угла наклона желобков катушки катушечно-винтового высевающего аппарата α, высоты расположения обреза торцевой части клапана h и угла наклона торцевой части клапана β оставались постоянными, равными оптимальным значениям: 20 град., 14 мм и 90 град. соответственно.

Рисунок 6 - Графики зависимости неустойчивости общего высева (ν) зерновых культур от скорости движения агрегата (u)

Корреляционная связь между показателем неустойчивости общего высева (ν, %) и скоростью движения агрегата u (км/ч) выражается зависимостью:

$$\nu = 0{,}1357\, u^2 - 2{,}7032\, u + 14{,}763, \quad (4)$$

при индексе корреляции R=0,99.

Анализируя полученные результаты, изображенные в виде зависимости ν(u) (рисунок 6), можно сделать вывод о целесообразности применения зерновой сеялки с исследуемыми катушечно-винтовыми высевающими аппаратами для посева семян зерновых культур в диапазоне 7,4 – 12,4 км/ч, так как скорость в этом интервале существенного влияния не оказывает на неустойчивость общего высева.

Заключение. Таким образом, в ходе проведения полевых исследований нами были подвержены результаты лабораторных исследований и определены основные качественные показатели работы сеялки с экспериментальными катушечно-винтовыми высевающими аппаратами.

Применение экспериментальной сеялки с разработанными катушечно-винтовыми высевающими аппаратами для посева семян зерновых культур, позволит получить прибавку урожайности на 13 %.

Список литературы

1. Ларюшин, Н.П. Посевные машины. Теория, конструкция, расчёт / Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, В.В. Шумаев [и др.] – Москва: Росинформагротех, 2010.- 292 с.

2. Петухов, Д.А. Современные посевные машины / Д.А. Петухов, В.В. Сер-дюк // Техника и оборудования для села. – 2012. – № 1. – С. 18–21.

3. Ларюшин, Н.П. Основные факторы, влияющие на качественные показатели работы высевающих аппаратов сеялок/ Н.П. Ларюшин, А.В. Шуков, А.В. Абакумов// Энергоэффективные

и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Институт механики и энергетики, 2016. – С. 484-488.

4. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Москва: Изд-во стандартов, 2007. – 28 с.

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

6. Халафян, А.А. STATISTIC A 6: статистический анализ данных: учебник / А.А. Халафян. – Москва: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.: ил.

7. Ларин, М.А. Экспериментальные исследования сошника с направителем-распределителем семян пневматической сеялки /Мачнев А.В., Шуков А.В., Мачнева В.В. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной

References

1. Laryushin, N.P. Posevnyemashiny. Teoriya, konstrukciya, raschyot / N.P. Laryushin, A.V. Machnev, V.V. SHumaev [i dr.] – Moskva: Rosinformagrotekh, 2010.- 292 s.

2. Petuhov, D.A. Sovremennyeposevnyemashiny / D.A. Petuhov, V.V. Ser-dyuk // Tekh-nikaioborudovaniyadlyasela. – 2012. – № 1. – S. 18–21.

3. Laryushin, N.P. Osnovnyefaktory, vliyayushchienakachestvennyepokazatelirabotyvysevayushchihapparatovseyalok/ N.P. Laryushin, A.V. SHukov, A.V. Abakumov // EHnergoehffek-tivnyeiresursosberegayushchietekhnologiiisistemy: cborniknauchnyhtrudovmezhduna-rodnojnauchno-prakticheskojkonferencii, posvyashchennojpamyatidoktoratekhnicheskihnauk, professora F. H. Burumkulova. Institutmekhanikiiehnergetiki, 2016. – S. 484-488.

4. GOST R 52778-2007. Ispytaniyasel'skohozyajstvennojtekhniki. Metodyehkspluata-cionno-tekhnologicheskojocenki. – Moskva: Izd-vostandartov, 2007. – 28 s.

5. Dospekhov, B.A. Metodikapolevogoopyta (s osnovamistatisticheskojob-rabotki re-zul'tatovissledovanij). – 5-e izd., dop. ipererab. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 351 s

6. Halafyan, A.A. STATISTIC A 6: statisticheskijanalizdannyh: uchebnik / A.A. Hala-fyan. – Moskva: OOO «Binom-Press», 2007. – 512 s.: il.

7. Larin, M.A. EHksperimental'nyeissledovaniyasoshnika s napravitelem-raspredelitelemsemyanpnevmaticheskojseyalki / Machnev A.V., SHukov A.V., Machneva V.V. // VestnikUl'yanovskojgosudarstvennojsel'skohozyajstvennoj.

Поступила в редакцию: 13.03.2019
Принята к публикации: 31.05.2019

УДК 631.363

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛОПАТКИ

Ведищев Сергей Михайлович,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия»,
e-mail: serg666_65@mail.ru
Хольшев Николай Васильевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис», e-mail: xhb@live.ru
Прохоров Алексей Владимирович,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия», e-mail: pav1981@bk.ru
Кажияхметова АинурАроновна,
аспирант,e-mail: aiioka@mail.ru
ФГБОУ ВО “Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов
Бралиев Майдан Кабатаевич,
кандидат технических наук, доцент ВАК кафедры «Аграрная техника и технологии»,
e-mail: aisheva.laura@mail.ru
Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск

Реферат. *Производство комбикормов непосредственно в самих хозяйствах позволяет снизить затраты на транспортные операции и шире использовать местные кормовые ресурсы. Анализ характеристик современных кормоприготовительных агрегатов показал, что минимальная однородность смеси составляет в среднем 90% и не более 98%, производительность комбикормовых агрегатов изменяется от 0,2 до 5 т/час при объеме бункера смесителя от 0,7 до 8,8 м^3. Установлено, что энергоемкость применяемых смесителей может определять энергоемкость малогабаритных комбикормовых агрегатов в целом. Мощность на привод у некоторых моделей составляет до 54 % от суммарной установленной мощности. Определено, что большое влияние на энергозатраты смесителя с комбинированными рабочими органами оказывают затраты мощности на участке с лопатками. В результате теоретических исследований были получены выражения для определения значения коэффициента лобового сопротивления для лопастного участка. Установлено, что величина затрат мощности на лопастном участке зависит от коэффициентов трения корма о лопасть, корма о корм, конструктивных параметров и режимов работы лопатки. Разработана методика экспериментальных исследований и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая исследовать влияние на лобовое сопротивление угла установки лопатки и коэффициента наполнения бункера на величину сопротивления лопатки. Получены зависимости, показывающие изменение удельного сопротивления перемещению лопасти при различных значениях коэффициента наполнения и углах установки лопатки, а также при вращении лопатки на стенку и от стенки бункера. Обоснованы параметры оптимизации конструкции и режимов работы шнеколопастного смесителя.*

Ключевые слова: *коэффициент заполнения бункера, лобовое сопротивление, лопатка, смеситель, энергозатраты.*

STUDY OF THE DRAG COEFFICIENT OF THE BLADE

Vedishchev Sergei,
candidate of technical Sciences, associate Professor of «Agroengineering», e-mail: serg666_65@mail.ru
Halshaw Nikolai,
candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department «Operation of road transport and auto repair», e-mail: xhb@live.ru
Prokhorov Alexey,
candidate of technical Sciences, associate Professor of «Agroengineering», e-mail: pav1981@bk.ru
Kazhiyakhmetova Ainur,
postgraduate, e-mail: aiioka@mail.ru
Tambov state technical University, Tambov
Braliev Maidan,
candidate of technical Sciences, associate Professor of VAK «Agricultural machinery and technology», e-mail: aisheva.laura@mail.ru
West-Kazakhstan Agrarian Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk

Abstract. *The production of mixed feeds directly on the farms themselves makes it possible to reduce the costs of transport operations and to increase the use of local feed resources. Analysis of the characteristics of modern feed preparation units showed that the minimum mixture homogeneity averages 90% and not more than 98%, the performance of compound feed units varies from 0.2 to 5 tons / hour with the mixer hopper volume from 0.7 to 8.8 m^3.It has been established that the energy intensity of the mixers used can determine the energy intensity of small-sized compound-feed aggregates as a whole. Power on the drive for some models up to 54% of the total installed capacity .It was determined that a large impact on the energy consumption of the mixer with combined working bodies has the cost of power in the area with blades. As a result of theoretical studies, expressions were obtained for determining the value of the drag coefficient for the blade section. It has been established that the amount of power consumption on a blade section depends on the coefficients of friction of the feed on the blade, feed on the feed, design parameters and modes of operation of the blade. The experimental research methodology has been developed and an experimental setup that allows investigating the effect on the frontal resistance of the blade installation angle and the filling ratio of the bunker on the value of the blade resistance was made. Dependencies showing the change in the specific resistance to the movement of the blade at different values of the filling ratio and the blade installation angles, as well as during the rotation of the blade on the wall and from the wall of the bunker, are obtained. The optimization parameters of the design and operating modes of the screw - blade mixer are justified.*

Keywords: *the fill factor of the bunker, drag, blade, the mixer power consumption.*

Введение. В последнее время определилась устойчивая тенденция в агропромышленном комплексе нашей страны на приближение производства комбикормов непосредственно к потребителям комбикормовой продукции и местным сырьевым ресурсам. Приготовление комбикормов непосредственно в хозяйствах позволяет значительно снизить затраты на транспортные операции, шире использовать дешевые местные сырьевые ресурсы и др. Все это позволяет существенно сократить себестоимость производимых комбикормов [1-3].

Существует целый ряд машин для приготовления комбикормов, работающих по упрощенной технологической схеме: АК-1000, АК-2000, АК-3000, УЗ-ДКА-1, АМК-1, МКА-1, АКА-3.322, АП-100, «AWAP», комбикормовых заводов Р1-БКЗ-2-6, Р1-БК-5-6, «Прок», «Клад», УПК-0,7, Awila, УМК-Ф-2, ОПК-2, «SKIOLD», установки комбикормовые «KOMBINAT», «RIELA», «MILL-MIXER», «SKIOLD PICCOLO», комбикормовые мини-заводы DOZA, комбикормовые заводы контейнерного типа производимые фирмами «OTTEVANGER MILLING ENGINEERS», «WYNVEEN INTER-NATIONAL B. V.», полуприцепные комбикормовые установки PM 35 и «Mixall», самоходные установки для приготовления комбикормов фирм «Полымя» и фирма «Awila», филиалом ОАО «ВНИИКП» разработан недорогой блочно-модульный комбикормовый агрегат марки УЗ-ДКА-1[4-13].

Материалы и методы. В целом следует отметить, что российским сельскохозяйственным товаропроизводителям предлагается разнообразное малогабаритное оборудование для приготовления комбикормов, рассчитанное на животноводческие предприятия различной мощности. При этом отечественное оборудование выполнено по самой простой схеме, сам технологический процесс сопряжен со значительными эксплуатационными затратами. Импортное оборудование, за счет использования весового дозирования, наличия возможности ввода жидких добавок или грубых кормов, использования пневмотранспортирования в той или иной мере позволяет приготавливать более сложные и качественные комбикорма и сократить эксплуатационные затраты [1, 3]. Приведем характеристики смесителей, применяемых в наиболее распространенных в настоящее время малогабаритных комбикормовых агрегатах (таблица 1) [4, 5, 7-13].

Таблица 1 - Технологические характеристики агрегатов для приготовления комбикормов

Марка	Показатели				
	Производи-тельность, т/ч	Вместимость бункера смесителя, м³	Однородность смешивания, %	Мощность на привод смесителя, кВт	Общая потребляемая мощность, кВт
АК - 3000	3 - 5	2,0	До 97	8,1	45,1
Прок - 150	0,3	2,3	92	-	4,1
Прок – 500М	1,5	2,7	92	3,0	15,4
У10 - ПМК	1	1,5	98	-	38,2
КУ – 2 - 1	1	4,4	90	3,0	18,5
КУ – 2 - 2	2	8,8	90	3+3	22,0
«Dozamech –1»	1	2,1	92	2,2	9,0
«Dozamech –2»	2	3,7	92	4,0	18,0
АКМ – 1,0	1	1	до 90	-	16,2
«Клад - 0,25»	0,3	0,7	90	-	4,5
«Клад – 0,65»	0,65 – 0,8	1,63	90	3,0	10,5
«Клад – 1,0»	1,3 – 1,5	1,63+1,63	90	3+3	17,0
«Клад – 2,0»	2 – 2,2	2,3+2,3	90	4+4	26,5
«Клад – 3,0»	2,8 - 3	6	90	5,5+5,5	20,2
МКА-1	0,5 -1,0	-	до 90	-	13,2
Р1-БКЗ-2-6	2-4,5	-	93	7,5	35,0
АП-100	До 0,2	0,03+0,1	97	1,1+3,0	10,7
АКА-3.322	3,0...5,0	2	93	8,1	25,0

Из таблицы 1 видно, что минимальная однородность смеси у современных кормоприготовительных агрегатов составляет в среднем 90% и не более 98%. Производительность комбикормовых агрегатов изменяется от 0,2 до 5 т/час, при объеме бункера смесителя от 0,7 до 8,8 м^3. Мощность на привод смесителей, применяемых в комбикормовых агрегатах, составляет у некоторых моделей до 54% от суммарной установленной мощности и не меньше 16%. Таким образом, энергоемкость применяемых смесителей оказывает большое влияние на энергоемкость малогабаритных комбикормовых агрегатов в целом.

На процесс смесеобразования шнекового смесителя оказывает влияние работа с участка с лопатками.

Как было установлено в результате изучения существующих исследований по приготовлению смесей, величина коэффициента *k,* учитывающее действие лобовой нагрузки на лопасть, погруженную в смесь, может быть определена по формуле [14]:

$$k = (100...150)\frac{\rho}{1350}, \tag{1}$$

где ρ – насыпная плотность смеси, кг/м^3.

Существующее выражение [15] для определения нормальной силы действующей на лопасть, погруженную в смесь, дает заниженное значение силы, что связано предположительно с отсутствие учета сил трения перемещаемого объема смеси о корм по бокам, а в случае превышения уровня смеси выше меньшего края лопатки, еще и сверху проталкиваемой смеси (лопатка проталкивает некоторую порцию смеси через окружающий объем смеси). Для учета этих сил введем в формулу коэффициент лобового сопротивления. В результате теоретических исследований было получено выражение для определения теоретического значения коэффициента лобового сопротивления для лопастного участка:

$$k_c^k = \frac{\dfrac{F_{сеч} b_л f \varphi_н^i}{F_л^n} + k_d h_i \left(f_{вн} + f\right)}{V_0\, k_d h_i}, \tag{2}$$

где $F_{сеч}$ – площадь половины поперечного сечения корпуса смесителя, м^2; $b_л$– ширина лопатки, м;$\varphi_н$– коэффициент наполнения на рассматриваемом участке;$f_{вн.}$ – коэффициент внутреннего трения материала; f – коэффициент внешнего трения; $F_л^n$ – площадь лопасти, м^2;h_i – высота смеси на рассматриваемом участке, м; k_d – коэффициент бокового давления смеси.

Значение коэффициента k_d можно определить по формуле строительной механики для сыпучих тел [17]:

$$k_d = tg^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right), \tag{3}$$

где φ – угол внутреннего трения смеси, град.

Величина коэффициента лобового сопротивления по предложенной формуле соответствует началу перемещения смеси лопаткой, в процессе движения величина коэффициента не будет постоянной. Это связано с рядом причин. В режиме уплотнения подвижность сыпучей массы, следовательно, и расход энергии зависят от сил трения между частицами и рабочими органами. Эти силы при прочих равных условиях зависят от твердости материала частичек, от состояния поверхности. В режиме псевдоожижения эти факторы переходят на второй план, так как между частицами сыпучего материала образуется в это время газовая прослойка [14].

С целью определения коэффициентов лобового сопротивления лопатки была изготовлена установка для определения коэффициентов лобового сопротивления лопатки смесителя с комбинированными рабочими органами (рисунок 1), состоящая из бункера 1, расположенного внутри него на подшипниках вала 2, на валу может крепиться лопатка 3. Так же внутри расположены направляющие для установки перегородки.

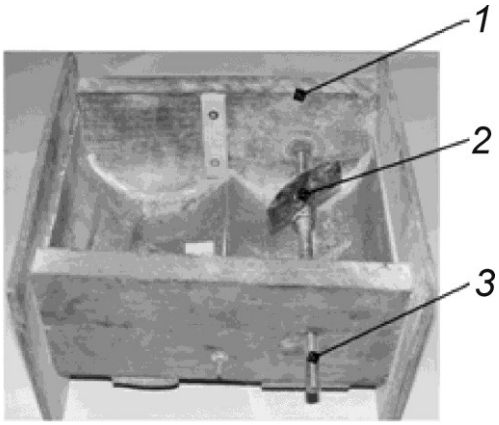


Рисунок 1 -Установка для определения коэффициентов лобового сопротивления лопатки

Методика определения коэффициента лобового сопротивления лопатки. Лобовое сопротивление лопатки определялось при углах установки от 30º до 70º и при значениях коэффициента наполнения от 0,2 до 1. К выходному концу вала установки присоединялась пластина с отверстиями. За отверстия в пластине цеплялся электронный динамометр, с ростом коэффициента наполнения увеличивался рычаг воздействия. За динамометр производилось вращение лопатки и записывалось максимальное значение [17]. Так как вращение частей рабочего органа различно, то вращение лопатки при выполнении экспериментов производилось сначала на стенку, а затем от стенки. Экспериментальное значение коэффициента лобового сопротивления определялось по формуле:

$$k_{сэ} = \frac{P_э}{P_m}, \quad (4)$$

где $P_э = k_y \cdot F_a$- экспериментальное значение усилия на лопатке, Н; k_y– удельное давление смеси, Па/м^2;P_m- теоретическое значение усилия на лопатке, Н; F_a- площадь лопатки непосредственно воздействующая на смесь, м^2.

Результаты и обсуждение. После обработки экспериментальных данных были построены графики, иллюстрирующие изменение удельного сопротивления перемещению лопасти (рисунок 2) при различных значениях коэффициента наполнения и углах установки лопатки, а также при вращении лопатки на стенку и от стенки бункера.

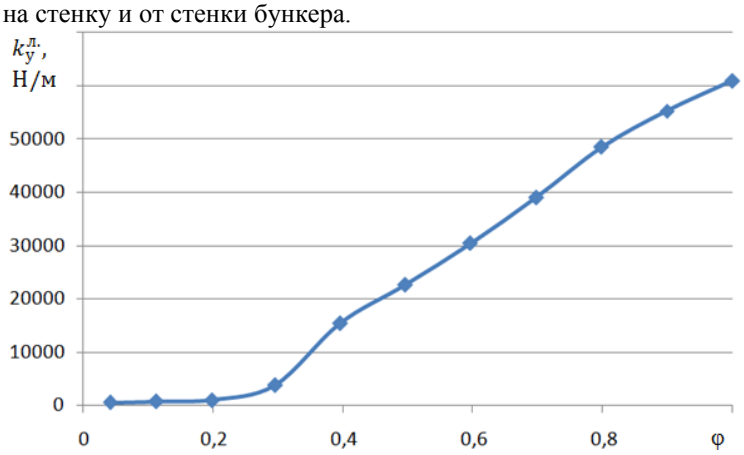


Рисунок 2 – Экспериментальная зависимость удельного давления на лопатку от коэффициента заполнения бункера

Выводы. Как видно из рисунка 2 при коэффициенте наполнения больше 0,3 начинается

интенсивный рост удельного давления, а, следовательно, и мощности, что отрицательно сказывается на экономичности смесителя и его надежности.

В результате исследований были обоснованы параметры оптимизация конструкции и режимов работы шнеколопастного смесителя.

Список литературы

1. Ведищев, С.М. Методика оценки эффективности технологических линий приготовления и раздачи кормов / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, В.П. Капустин, А.В. Прохоров // Наука в центральной России. - №6(36). – 2018. –С. 33-42.

2. Ведищев, С. М. Обоснование конструкции смесителя кормов / С.М.Ведищев, М.М.Свиридов, А.В.Прохоров, Н.В. Хольшев // Наука на рубеже тысячелетий: Сборник материалов 5-й международной научно-практической конференции: 26-27 октября 2008. – Тамбов, 2008. - С. 181 - 183.

3. Технологии и технические средства для свиноводческих комплексов / Информационно-справочный материал к Российской агропромышленной выставке «Золотая осень – 2008». - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 343 с.

4. Блочно-модульный комбикормовый агрегат. [Малые предприятия] / Е. Орлов, К. Сурков // Комбикорма. - 2001. - N 3. - С. 29.

5. Зарубежные машины и оборудование для животноводства / Кат. Ч. 2. – М.: ФГНУ «Росиформагротех», 2007. - 176 с.

6. Коновалов, В.В. Обоснование технических средств приготовления и выдачи кормов в свиноводстве / В.В. Коновалов – Пенза: РИО ГТГСХА, 2005. - 304 с.

7. Официальный сайт ВНИПТИМЭСХ. [Электронный ресурс] / Режим доступа: vniptimz.by.ru/022-3.shtml, свободный.

8. Официальный сайт фирмы ЗАО "Инженерный центр "Грант" [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.agrogrant.ru/prod.php, свободный.

9. Официальный сайт Компании ЗАО «Легас». [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.legas.by/news/69.html, свободный.

10. Официальный сайт Компании ЗАО "ЖАСКО". [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.jasko.ru, свободный.

11. Официальный сайт Компании «Мельинвест». [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.melinvest.ru, свободный.

12. Официальный сайт Компании ООО «ДОЗА - Агро». Комбикормовые заводы серии «Доза» [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.dozaagro.ru/catalogue/1/9, свободный.

13. Ревякин, Е.Л. Опыт освоения современных технологий и оборудования для внутрихозяйственных комбикормовых предприятий / Е.Л.Ревякин, В.И.Пахомов.-ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.

14. Бойко, Л.В. Исследование процесса смешивания белково-витаминных добавок (БВД): Автореф. дис... канд. техн. наук / Л.В. Бойко. - М., 1976. - 25 с.

15. Клейн, Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн – изд. 2-е перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.

16. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. - М.: Колос, 1999. - 528 с.

17. Навныко, М.В. Оценка физико-механических свойств влажных смесей на основе полнорационных кормов / М.В. Навныко, А.И. Пунько – Сборник научных трудов ИМТ НААНУ. Выпуск №1 (5,6). – 2010. – С. 171-178.

References

1. Vedishchev, S. M. Metodika ocenki effektivnosti tekhnologicheskih linij prigotov-leniya i razdachi kormov / S.M. Vedishchev, A.I. Zavrazhnov, V.P. Kapustin, A.V. Prohorov // Nauka v central'noj Rossii. - №6(36). – 2018. –S. 33-42.

2. Vedishchev, S. M. Obosnovanie konstrukcii smesitelya kormov / S.M. Vedishchev, M.M. Sviridov, A.V. Prohorov, N.V. Hol'shev // Nauka na rubezhe tysyacheletij: Sbornikmaterialov 5-j mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoj konferencii: 26-27 oktyabrya 2008. – Tambov, 2008. - S. 181 - 183.

3. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya svinovodcheskih kompleksov / Informacionno-spravochnyj material k Rossijskoj agropromyshlennoj vystavke «Zolotaya osen' – 2008». - M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. – 343 s.

4. Blochno-modul'nyj kombikormovyj agregat. [Malye predpriyatiya] / E. Orlov, K. Surkov // Kombikorma. - 2001. - N 3. - S. 29.
5. Zarubezhnye mashinyi oborudovanie dlya zhivotnovodstva / Kat. CH. 2. – M.: FGNU «Rosiformagrotekh», 2007. - 176 s.
6. Konovalov, V.V. Obosnovaniet ekhnicheskih sredstv prigotovleniyai vydachi kormov v svinovodstve / V.V. Konovalov – Penza: RIO GTGSKHA, 2005. - 304 s.
7. Oficial'nyj sajt VNIPTIMEHSKH. [Ehlektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: vniptimz.by.ru/022-3.shtml, svobodnyj.
8. Oficial'nyj sajt firmy ZAO "Inzhenernyjcentr "Grant" [EHlektronny jresurs] / Rezhim dostupa: www.agrogrant.ru/prod.php, svobodnyj.
9. Oficial'nyj sajt Kompanii ZAO «Legas». [EHlektronnyjresurs] / Rezhim dostupa: www.legas.by/news/69.html, svobodnyj.
10. Oficial'nyj sajt Kompanii ZAO "ZHASKO". [EHlektronnyj resurs] / Rezhim do-stupa: www.jasko.ru, svobodnyj.
11. Oficial'nyjsajt Kompanii «Mel'invest». [Ehlektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: www.melinvest.ru, svobodnyj.
12. Oficial'nyj sajt Kompanii OOO «DOZA - Agro». Kombikormovye zavody serii «Doza» [Ehlektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: www.dozaagro.ru/catalogue/1/9, svobodnyj.
13. Revyakin, E.L. Opyt osvoeniya sovremennyh tekhnologiji oborudovaniya dlya vnutrihozyajstvennyh kombikormovyh predpriyatij / E.L. Revyakin, V.I. Pahomov. - FGNU «Rosinformagrotekh», 2009. – 80 s.
14. Bojko, L. V. Issledovanie processa smeshivaniya belkovo-vitaminnyh dobavok (BVD): Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk / L.V. Bojko. - M., 1976. - 25 s.
15. Klejn, G.K. Stroitel'naya mekhanika sypuchih tel / G.K. Klejn – izd. 2-e pererab. idop. - M.: Strojizdat, 1977. - 25 6 s.
16. Koba, V.G. Mekhanizaciya I tekhnologiya proizvodstva produkcii zhivotnovodstva / V.G. Koba, N.V. Braginec, D.N. Murusidze, V.F. Nekrashevich. - M.: Kolos, 1999. - 528 s.
17. Navnyko, M.V. Ocenka fiziko-mekhanicheskih svojstv vlazhnyh smesej na osnove polnoracionnyh kormov / M.V. Navnyko, A.I. Pun'ko – Sbornik nauchnyh trudov IMT NAANU. Vypusk №1 (5,6). – 2010. – S. 171-178.

Поступила в редакцию: 28.03.2019
Принята к публикации: 30.04.2019

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02

РАСЧЕТ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В УЗЛАХ АВТОМОБИЛЕЙ АДГЕЗИВАМИ

Ли Роман Иннакентьевич,
доктор технических наук, профессор, e-mail: romanlee@list.ru
Малюгин Владимир Андреевич,
аспирант, e-mail: vavankos@mail.ru
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

Реферат. *Технологии восстановления посадок подшипников качения полимерами выгодно отличаются простотой, не требуют сложного оборудования, имеют низкие затраты. Перспективным направлением является разработка и применение полимерных нанокомпозитов. Для обеспечения необходимой соосности деталей, склеиваемых при восстановлении посадок, используют различные центрирующие приспособления. Разработана конструкция центрирующего приспособления для сборки деталей клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-3307. Центрирующее приспособление представляет собой четырехступенчатую втулку и изготавливается из стали 10 ГОСТ 1050-88. Составлена сборочная размерная цепь, проведены расчеты и определены точностные*

характеристики центрирующего приспособления. В качестве замыкающего звена приняли значение смещения оси подшипника относительно оси ведущего вала. Анализ расчетов показал, что расчет размерной цепи методом максимума-минимума требует повышенной точности составляющих звеньев размерной цепи. Вероятностный метод расчета способом одного квалитета обеспечивает точность составляющих звеньев размерной цепи достаточной для обеспечения необходимой величины соосности ведущего вала и подшипника. В этом случае значительно сокращаются затраты на изготовление центрирующего приспособления, по сравнению с методом максимума-минимума. Поэтому окончательно выбрали эту методику расчета. Использование центрирующего приспособления обеспечит необходимую точность сборки сопрягаемых деталей при восстановлении посадки «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-3307 полимерными материалами.

Ключевые слова: *подшипник, полимер, посадка, соосность, точность.*

CALCULATION OF PRECISION CHARACTERISTICS OF THE INDUSTRIAL EQUIPMENT AT RESTORATION OF LANDINGS OF ROLLING BEARINGS IN KNOTS OF CARS ADHESIVES

Li Roman,
Full doctor of technical sciences, professor e-mail: romanlee@list.ru
Malyugin Vladimir,
graduate student, e-mail: vavankos@mail.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Lipetsk State Technical University», Lipetsk

Abstract. *Restoration technology for rolling bearings landings with polymers favorably differs by simplicity, does not require sophisticated equipment, and has low costs. A promising direction is the development and use of polymer nanocomposites. Various centering devices are used to provide the necessary alignment of the parts glued together during the restoration of the landings. The design of the centering device for the assembly of parts for the adhesive joint "drive shaft-bearing" of the GAZ-3307 gearbox has been developed. The centering device is a four-stage sleeve and is made of steel 10 GOST 1050-88. An assembly dimension chain was compiled, calculations were made, and the accuracy characteristics of the centering device were determined. The offset value of the bearing axis relative to the axis of the drive shaft was adopted as the closing link. Analysis of the calculations showed that the calculation of the dimensional chain by the method of maximum-minimum requires an increased accuracy of the constituent links of the dimensional chain. The probabilistic method of calculation by the method of one quality ensures the accuracy of the component parts of a dimensional chain sufficient to provide the required magnitude of the alignment of the drive shaft and bearing. The cost of manufacturing a centering device, compared with the method of maximum-minimum, in this case, significantly reduced. Therefore, finally chose this method of calculation. The use of a centering device will provide the necessary accuracy of assembling the mating parts when restoring the landing of the "drive shaft bearing" gearbox of a GAZ-3307 polymer materials.*

Key words: *bearing, polymer, fit, alignment, accuracy.*

Введение. Восстановление изношенных деталей позволяет сократить затраты при проведении ремонта машин [1…3]. Значительное влияние на надёжность машины оказывает долговечность подшипников, ввиду их многочисленности. Одной из основных причин отказа подшипников является износ посадок подшипников, что приводит к перекосу колец, повышению напряжений в зоне контакта нагруженных тел с дорожками качения подшипника и их интенсивному изнашиванию. Повышение долговечности подшипниковых узлов, снижение себестоимости ремонта, путём восстановления посадок подшипников качения, является важной задачей, позволяющей повысить надёжность машин и снизить расходы на ремонт [4, 5].

Традиционные способы восстановления неподвижных соединений подшипников путем сварки, наплавки и т.д. неизменно вызывает нагрев деталей, в результате чего возникает изменение структуры металла, деформация и образование коррозии при работе восстановленного соединения. Применение полимерных материалов при формировании прессовых соединений дает

возможность увеличить допуск на изготовление деталей, что положительно с экономической точки зрения. Помимо этого исключается возможность появления деформаций при посадке деталей с большим натягом и образование фреттинг-коррозии, что в свою очередь положительно сказывается на ресурсе восстановленных соединений [6, 7].

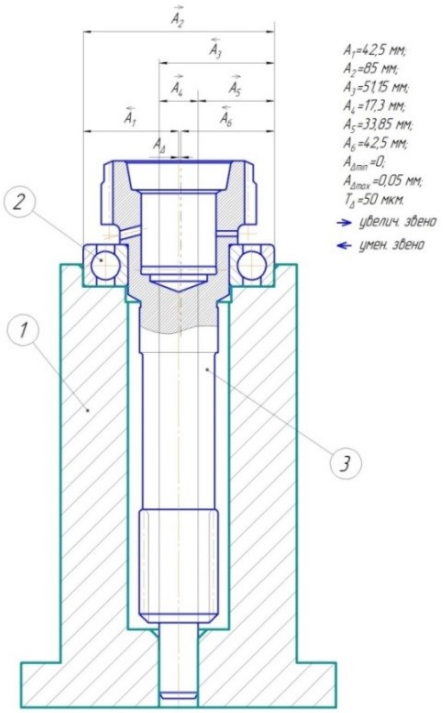
Все вышеперечисленные достоинства применения полимеров для ремонта деталей машин определяют эффективность их использования.

При восстановлении посадок подшипников качения коробок переключения передач, раздаточных коробок необходимо обеспечить неподвижность посадок и требуемую кинематику зацепления зубчатых передач. От точности размеров и взаимного расположения восстановленных деталей определяется точность взаимного расположения валов.

При большом значении несоосности валов возникают повышенные нагрузки в зубчатом зацеплении, что может вызвать интенсивное изнашивание зубьев шестерен, появляется перекос колец подшипников, что приводит к нагреву и снижению ресурса подшипниковых узлов. В итоге снижается надежность узла и машины в целом. Для обеспечения необходимой соосности деталей, склеиваемых при восстановлении посадок, используют различные центрирующие приспособления, предназначенные для обеспечения соосности деталей собираемого соединения в заданных пределах [8…11].

Цель исследований – разработать центрирующее приспособление для сборки клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-3307, которое обеспечит отклонение от соосности деталей клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» не более 50 мкм (исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Липецкой области в рамках научного проекта № 19-48-480008/19).

Результаты и их обсуждение. Для обеспечения отклонения от соосности деталей клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» в пределах 50 мкм, необходимо определить точностные характеристики центрирующего приспособления. Сборочная размерная цепь центрирующего приспособления представлена на рисунке 1.



1 – центрирующее приспособление; 2 – подшипник; 3 – ведущий вал

Рисунок 1 – Сборочная размерная цепь центрирующего приспособления

Центрирующее приспособление 1 изготавливается из стали 10 ГОСТ 1050-88. Адгезив наносится на внутреннее кольцо подшипника 2, после чего подшипник устанавливается в центрирующее приспособление. Вал 3 устанавливается в центрирующее приспособление после нанесения на его посадочную поверхность адгезива. После установки ведущего вала в приспособление, вал проворачивают на один оборот относительно внутреннего кольца подшипника для равномерного распределения адгезива в клеевом шве.

В качестве замыкающего звена приняли значение смещения оси подшипника относительно оси ведущего вала, так как именно этот размер определяет такие показатели работы вала в коробке передач как долговечность, плавность хода, бесшумность и т.п. После этого провели расчеты размерной цепи согласно различным методикам [12…14].

Проверили правильность определений размеров по уравнению

$$\sum A_{iув} - \sum A_{iум} - \sum A_{\Delta} = 0 \quad (1)$$

$$85 + 17{,}3 + 33{,}85 - 42{,}5 - 51{,}15 - 42{,}5 = 0.$$

Отклонение от соосности ведущего вала и подшипника определяется размерами звеньев цепи. Приняли: $A_{\Delta min} = 0$; $A_{\Delta max} = 0{,}05$ мм. Тогда допуск замыкающего звена составит $T_{\Sigma} = 0{,}05 - 0 = 0{,}05$ мм $= 50$мкм.

Методом максимума-минимума. Способ равных допусков.

Предположили, что у всех звеньев одинаковые допуски и определили их средние допуски по формуле

$$T_{ср} = \frac{T_{\Sigma}}{m+n}, \quad (2)$$

где $T_{ср}$ – средний допуск звеньев; T_{Σ} – допуск замыкающего звена; m – количество увеличивающих звеньев; n – количество уменьшающих звеньев.

$$T_{ср} = \frac{50}{6} = 8{,}33 \text{ мкм}.$$

Стандартные допуски звеньев:

$$T_1 = 7 \text{ мкм (4 кв.)};\ T_2 = 10 \text{ мкм (4 кв.)};\ T_3 = 8 \text{ мкм (4 кв.)};$$

$$T_4 = 8 \text{ мкм (5 кв.)};\ T_5 = 7 \text{ мкм (4 кв.)};\ T_6 = 7 \text{ мкм (4 кв.)}$$

Сумма выбранных стандартных допусков $\Sigma T_i = 7 + 10 + 8 + 8 + 7 + 7 = 47$ мкм.

По выбранным допускам определили основные отклонения звеньев.

$$A_1 = 42{,}5_{-0{,}007};\ A_2 = 85^{+0{,}01};\ A_3 = 51{,}15_{-0{,}008};$$

$$A_4 = 17{,}3^{+0{,}008};\ A_5 = 33{,}85^{+0{,}007};\ A_6 = 42{,}5_{-0{,}007}$$

Способ одного квалитета.

Допуски звеньев определяются по одному квалитету, который зависит от среднего числа единиц допуска

$$a_{cp} = \frac{T_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^{m+n} j_i}, \quad (3)$$

где j_i – единица допуска на размер.

Определили значения единиц допуска для звеньев: $j_1 = 1{,}56; j_2 = 2{,}17;\ j_3 = 1{,}86; j_4 = 1{,}08; j_5 = 1{,}56; j_6 = 1{,}56.$

$$a_{ср} = \frac{50}{1{,}56+2{,}17+1{,}86+1{,}08+1{,}56+1{,}56} = 6{,}128.$$

Ближайшим является пятый квалитет, со стандартным числом единиц допуска a = 7. По этому квалитету допуски звеньев имеют значения: $T_1 = 11$ мкм (5 кв.); $T_2 = 15$ мкм (5 кв.); $T_3 = 13$ мкм (5 кв.); $T_4 = 8$ мкм (5 кв.); $T_5 = 11$ мкм (5 кв.); $T_6 = 11$ мкм (5 кв.).

Сумма допусков составляет 69 мкм, поэтому необходима корректировка. После корректировки допуски имеют значения: $T_1 = 7$ мкм (4 кв.); $T_2 = 10$ мкм (4 кв.); $T_3 = 8$ мкм (4 кв.); $T_4 = 8$ мкм (5 кв.); $T_5 = 7$ мкм (4 кв.); $T_6 = 7$ мкм (4 кв.).

По этим допускам звеньев определили средние отклонения звеньев E_{ci}.: $E_{c1} = -3{,}5$; $E_{c2} = +5$; $E_{c3} = -4$; $E_{c4} = +4$; $E_{c5} = +3{,}5$; $E_{c6} = -3{,}5$.

Проверку провели по основному уравнению размерной цепи для средних отклонений

$$E_{c\Delta} = \sum_{i=1}^{m} E_{ciув} - \sum_{j=1}^{n} E_{ciум}, \quad (4)$$

где $E_{ciув}$, $E_{ciум}$ – средние отклонения увеличивающих и уменьшающих звеньев; $E_{c\Sigma}$ – среднее отклонение замыкающего звена.

$$E_{c\Delta} = (5 + 4 + 3{,}5) - (-3{,}5 - 4 - 3{,}5) = 23{,}5$$

Тогда основные отклонения звеньев составляют: $A_1 = 42{,}5_{-0{,}007}$; $A_2 = 85^{+0{,}01}$; $A_3 = 51{,}15_{-0{,}008}$; $A_4 = 17{,}3^{+0{,}008}$; $A_5 = 33{,}85^{+0{,}007}$; $A_6 = 42{,}5_{-0{,}007}$.

Вероятностный метод. Способ равных допусков.

Средний допуск звеньев определяли по формуле

$$T_{cp} = \frac{T_{\Sigma}}{t_{\Sigma}\lambda_i\sqrt{m+n}}, \quad (5)$$

где t_{Σ} – коэффициент, зависящий от процента брака; λ_i – коэффициент относительного рассеяния размеров.

Приняли нормальный закон распределения размеров с $\lambda_i = 1/\sqrt{3}$ и процентом брака P = 5%. Соответственно $t_{\Sigma} = 1{,}96$.

$$T_{ср} = \frac{50}{1{,}96 \cdot 1/\sqrt{3} \cdot \sqrt{3+3}} = 18{,}03$$

Приняли ближайшие стандартные допуски: $T_1 = 16$ мкм (6 кв.); $T_2 = 15$ мкм (5 кв.); $T_3 = 19$ мкм (6 кв.); $T_4 = 18$ мкм (7 кв.); $T_5 = 16$ мкм (6 кв.); $T_6 = 16$ мкм (6 кв.).

При таких допусках звеньев значение коэффициента t_{Σ} определили по формуле

$$t_{\Sigma} = \frac{T_{\Sigma}}{\lambda_i\sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} T_i^2}}, \quad (6)$$

$$t_{\Sigma} = \frac{50}{\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{16^2 + 15^2 + 19^2 + 18^2 + 16^2 + 16^2}} = 2{,}11$$

Расчетное значение $t_{\Sigma} = 2{,}11$, следовательно, риск получения брака менее 5%. Тогда $A_1 = 42{,}5_{-0{,}016}$; $A_2 = 85^{+0{,}015}$; $A_3 = 51{,}15_{-0{,}019}$; $A_4 = 17{,}3^{+0{,}018}$; $A_5 = 33{,}85^{+0{,}016}$; $A_6 = 42{,}5_{-0{,}016}$

Способ одного квалитета.

Рассчитали среднее число единиц допуска по формуле

$$a_{cp} = \frac{T_{\Sigma}}{t_{\Sigma}\lambda_i\sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} j_i^2}} \quad (7)$$

Приняли нормальный закон распределения размеров $\lambda_i = 1/\sqrt{3}$, P=5%, соответственно табличное значение коэффициента $t_{\Sigma} = 1{,}96$.

$$a_{ср} = \frac{50}{1{,}96 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{1{,}56^2 + 2{,}17^2 + 1{,}86^2 + 1{,}08^2 + 1{,}56^2 + 1{,}56^2}} = 10{,}83$$

Ближайшим является шестой квалитет ($a_{ср}$=10). $T_1 = 16$ мкм (6 кв.); $T_2 = 22$ мкм (6 кв.); $T_3 = 19$ мкм (6 кв.); $T_4 = 11$ мкм (6 кв.); $T_5 = 16$ мкм (6 кв.); $T_6 = 16$ мкм (6 кв.)

По этим допускам определили расчетное значение коэффициента t_{Σ}

$$t_{\Sigma} = \frac{50}{\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{16^2 + 22^2 + 19^2 + 11^2 + 16^2 + 16^2}} = 1{,}98$$

Поскольку t_{Σ} = 1,98, риск получения брака меньше 5%. Тогда $A_1 = 42{,}5_{-0{,}016}$; $A_2 = 85^{+0{,}022}$; $A_3 = 51{,}15_{-0{,}019}$; $A_4 = 17{,}3^{+0{,}011}$; $A_5 = 33{,}85^{+0{,}016}$; $A_6 = 42{,}5_{-0{,}016}$

При анализе выполненных расчетов выявлено, что метод максимума-минимума при расчете размерной цепи требует высокой точности составляющих звеньев. Требуемая точность может существенно повышать среднюю экономическую, а иногда достижимую точность, соответствующую существующим технологическим методам обработки.

Вероятностный метод расчета способом одного квалитета обеспечивает точность составляющих звеньев размерной цепи достаточной для обеспечения необходимой величины соосности ведущего вала и подшипника. При этом значительно сокращается затраты на изготовление центрирующего приспособления по сравнению с методом максимума-минимума. Поэтому окончательно выбрали эту методику расчета.

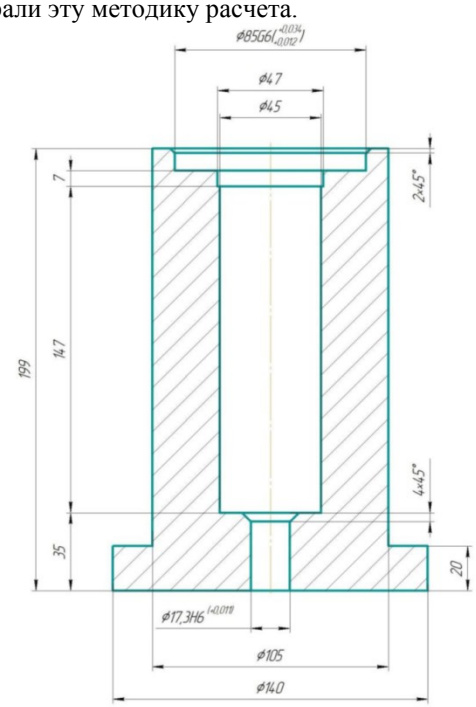


Рисунок 2 – Центрирующее приспособление для сборки клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-3307

На рисунке 2 изображено центрирующее приспособление для сборки клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-3307.

В ступень максимального диаметра (85 мм) устанавливается подшипник качения 50209, после нанесения на его внутреннее кольцо нанокомпозита. Для удобства монтажа подшипника в центрирующем приспособлении выполнена фаска. Подшипник устанавливается в центрирующее приспособление с зазором. Минимальный зазор составляет 0,012 мм, а максимальный 0,047 мм (посадка G6/l6).

Ступень диаметром 17,3 мм необходима для базирования вала по неизношенной поверхности хвостовика. Здесь так же предусмотрена фаска для удобства монтажа вала. Хвостовик вала устанавливается в центрирующее приспособление с зазором. Минимальный зазор составляет 0,016 мм, а максимальный 0,038 мм (посадка H6/f6).

Выводы:

1. Разработана методология расчета точностных характеристик технологической оснастки при восстановлении посадок подшипников качения в узлах автомобилей адгезивами.

2. Проведен расчет и определены точностные характеристики центрирующего приспособления для сборки деталей клеевого соединения «ведущий вал-подшипник» коробки передач автомобиля ГАЗ-3307.

Список литературы

1. Кононенко, А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис ... докт. техн. наук. / Кононенко А. С. – М., 2012, – 405 с.

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

3. Башкирцев, В. Н. Восстановление деталей машин и оборудования адгезивами: дис ... докт. техн. наук. / Башкирцев В. Н. – М., 2004, – 397 с.

4. Курчаткин, В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис ... док. техн. наук. / Курчаткин В.В. – М., 1989, – 407 с.

5. Ли, Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. − 224 с.

6. Бочаров, А. В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками: дис. ... канд. техн. наук / Бочаров А. В. – Мичуринск, 2009. – 150 с.

7. Мироненко, А. В. Восстановление корпусных деталей автомобильной техники полимер-полимерной композицией / Р.И. Ли, А.В. Мироненко // Мир транспорта и технологических машин – 2016. - №4(55). С. 9 – 15.

8. Котин, А. В. Восстановление точности размерных цепей сборочных единиц применение не жестких компенсаторов износа / Дис. ...докт. техн. наук. - Саранск, 1998. - 358 с.

9. Кирсанов, Ф. А. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях трансмиссии сельскохозяйственной техники эластомером Ф-40С: дис ... канд. техн. наук. / Кирсанов Ф. А. – Мичуринск, 2015, – 181 с.

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

11. Ли, Р.И. Технология производства металлополимерных подшипников качения / Р. И. Ли, М. Р. Киба // Клеи. Герметики. Технологии – 2016. – №1. – С. 29-33.

12. Аристов, А. И. Метрология, стандартизация и сертификация / Аристов А. И., Карпов Л. И., Приходько В. М., Раковщик Т. М.; - М.: Академия, 2006. – 384 с.

13. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / Якушев А. И., Воронцов Л. Н., Федотов Н. М.; - М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

14. Мягков, В. Д. Допуски и посадки: Справочник. В 2 – х ч. / Мягков В. Д., Палей М. А., Романов А.Б., Багринский В. А.; - Л.: Машиностроение, 1983. – 448 с.

References

1. Kononenko, A. S. Improving the reliability of fixed flange connections of agricultural machinery using nanostructured sealants: dis ... Doctor. tech. sciences. / Kononenko A.S. - M., 2012, - 405 p.

2. Li, R.I. Technologies for restoring and hardening parts of autotractor equipment / R.I. Lee // Lipetsk: Izd-vo LSTU, 2014. - 379 p.

3. Bashkirtsev, VN. Restoration of machine parts and equipment with adhesives: dis ... Doctor. tech. sciences. / Bashkirtsev V.N. - M., 2004, - 397 p.

4. Kurchatkin, V.V., Restoration of Rolling Bearing Landings of Agricultural Machinery with Polymeric Materials: Dis. tech. sciences. / Kurchatkin V.V. - M., 1989, - 407 p.

5. Li, R.I. Polymer composite materials for fixing the bearings of the quality in the machine nodes: monograph / R.I. Lee. - Lipetsk: Publishing house of Lipetsk State Technical University, 2017. - 224 p.

6. Bocharov, A.V. Improving the efficiency of restoring fixed joints of rolling bearings of agricultural machinery with adhesives filled with dispersed metal powders: dis. ... Cand. tech. Sciences / Bocharov A.V. - Michurinsk, 2009. - 150 p.

7. Mironenko, A. V. Restoring car body parts with poly-polymer composition / R.I. Lee, A.V. Mironenko // World of Transport and Technological Machines - 2016. - №4 (55). C. 9 - 15.

8. Kotin, A. V. Restoring the accuracy of dimensional chains of assembly units, the use of non-rigid wear compensators / Dis. ... Dr. tech. sciences. - Saransk, 1998. - 358 p.

9. Kirsanov, F. A. Restoration of the landing holes in the hull parts of the transmission of agricultural machinery with F-40C elastomer: dis ... cand. tech. sciences. / Kirsanov F.A. - Michurinsk., 2015, - 181 p.

10. Lee, R.I. Technology and equipment for high-precision restoration by the polymer of the mounting holes in the body parts of automotive engineering / R. I. Li, F. A. Kirsanov, M. R. Kiba // Adhesives. Sealants. Technologies - 2016. - №3. - p. 28-33.
11. Lee, R.I. Production technology of metal-polymer rolling bearings / R. I. Li, M. R. Kiba // Adhesives. Sealants. Technologies - 2016. - №1. - pp. 29-33.
12. Aristov, A. I. Metrology, Standardization and Certification / Aristov A. I., Kar-pov L. I., Prikhodko V. M., Rakovshchik T. M .; - M .: Academy, 2006. - 384 p.
13. Yakushev, A. I. Interchangeability, Standardization and Technical Measurements / A. I. Yakushev, L. N. Vorontsov, N. M. Fedotov; - M .: Mashinostroenie, 1986. - 352 p.
14. Myagkov, VD. Tolerances and landing: a Handbook. In 2 ch. / Myagkov V. D., Paley M. A., Romanov A. B., Bagrinsky V. A.; - L .: Mechanical Engineering, 1983. - 448 p.

Поступила в редакцию: 08.04.2019
Принята к публикации: 17.06.2019

УДК 677.027

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИНИЙ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНОТРЕСТЫ*

***Басова Наталья Владимировна*,**
научный сотрудник, e-mail: n.basova@fnclk.ru
***Новиков Эдуард Валерьевич*,**
канд. техн. наук, доцент,
заведующий лабораторией «Переработки лубяных культур», e-mail:edik1@kmtn.ru
***Безбабченко Александр Владиславович*,**
старший научный сотрудник, руководитель структурного подразделения,
e-mail: fnc_lk44@mail.ru
ФГБНУ «Федеральный Научный Центр Лубяных Культур», г. Тверь

Реферат. *Показан рост себестоимости и цен реализации длинного и короткого льноволокна, начиная с 2014 года. Проведен анализ технико-экономических показателей 4 технологических линий для переработки льнотресты №1,00 одноагрегатным заводом в одну смену. При расчете использовали показатели производственной мощности, среднегодовой стоимости основных производственных фондов, объема денежных средств, направленных на оплату труда. В качестве основного метода исследования был выбран балансовый метод. В расчетах не учитывались государственные и региональные субсидии, а также налоги на имущество, землю, прибыль и т.д. Завод был обеспечен сырьем на один год. В результате было определено, что положительный финансовый результат и допустимая окупаемость строящегося льнозавода будут достигнуты на линии из технологического оборудования производства Республики Беларусь из-за более низких капитальных затрат на приобретение и монтаж. Ее рентабельность составляет 17,1 %. Российская линия длинного и короткого волокна также имеет прибыль и положительную рентабельность, равную 11,2 %, однако капитальные затраты при этом окупятся за 17,3 года. Капитальное строительство и покупка технологического оборудования для получения однотипного льноволокна возможно лишь при условии роста цены его реализации не менее в 1,4-1,5 раза от цен начала 2019 года и без повышения статей затрат на производство.*

Ключевые слова: *лен-долгунец, длинное и короткое льноволокно, однотипное волокно, линии переработки, прибыль, срок окупаемости.*

*Исследования выполнены по гранту РФФИ №18-416-690004 р_а.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF LINES FOR THE PROCESSING OF THE STALK OF THE FLAX

***Basova Natalya*,**
Reseacher, e-mail: n.basova@fnclk.ru
***Novikov Eduard*,**
Candidate of Technical Science, assistant professor, e-mail: edik1@kmtn.ru
***Bezbabchenko Alexander*,**
Senior researcher, head of structural division, e-mail: fnc_lk44@mail.ru
Federal State Budget Research Institution«Federal Research Center for Bast Fibre Crops» (CBFC), Tver.

Abstract. *The growth of the cost price and sales prices of long and short flax fiber, starting from 2014, is shown. The analysis of technical and economic indicators of 4 technological lines for processing flax straw No. 1.00 by a single unit plant in one shift was carried out. Indicators of production capacity, the average annual value of fixed assets, the amount of money allocated for remuneration, were used in the calculations. The balance method was chosen as the main research method. State and regional subsidies, as well as taxes on property, land, profits, etc. not taken into account in the calculations. The plant was provided with raw materials for one year. As a result, it was determined that a positive financial result and the allowable payback of the flax factory being built would be achieved on the line of technological equipment produced by the Republic of Belarus due to lower capital costs for the purchase and installation. Its profitability is 17.1%. The Russian line of long and short fibers also has a profit and a positive profitability equal to 11.2%, but the capital costs will pay off in 17.3 years. Capital construction and the purchase of technological equipment to produce flax fiber of the same type is possible only if the price of its sale is at least 1.4-1.5 times higher than the prices of the beginning of 2019 and without increasing production cost items.*

Keywords: *flax fiber, long and short flax fiber, single-type fiber, processing lines, profit, payback period*

Введение. Производство льна в современной России пытаются восстановить с 90-х годов, для чего создаются государственные и региональные программы, выделяются бюджетные средства. Несмотря на принимаемые меры, остро стоит вопрос технологической оснащенности льнозаводов, так как существующие линии переработки, установленные на льнозаводах, имеют высокую изношенность. В ряде регионов России износ технологического оборудования льнозаводов доходит до 100 % [1]. К сожалению, процесс замены изношенного оборудования идет крайне медленно. Причиной этому явилось то, что цены на оборудование до 2016 года ежегодно повышались, в зависимости от массы машин и агрегатов это повышение составляло 5-15 % в год [2-4], что в российских рублях составляет от 50-100 до 1500-1800 тыс. руб. [5]. В период с 2016 по 2018 годы цены на оборудование практически не повышались (рисунок 1), не смотря на это ситуация с покупкой нового оборудования и запасных частей не улучшилась из-за отсутствия таких финансовых средств у льнозаводов.

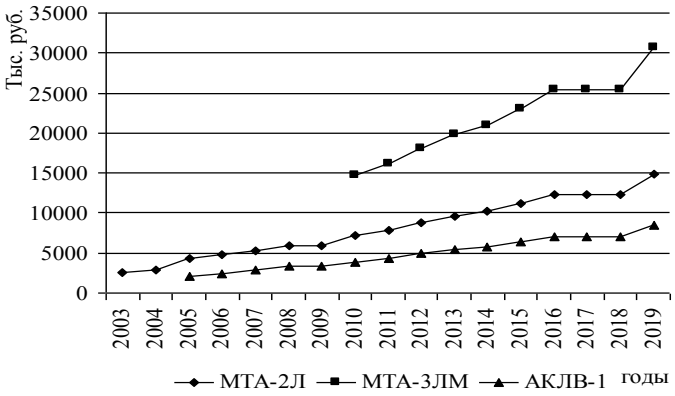


Рисунок 1 – Динамика роста цен на основное технологическое оборудование льнозаводов

С 1 января 2019 года произошло очередное повышение цен на оборудование в среднем на 21 %, отчасти на это повлияло повышение ставки НДС с 18 % до 20 %.

Льняное волокно является сырьем для текстильной и легкой промышленности. В период с 2014 по 2016 годы цена реализации длинного волокна выросла на 99,6 %, а короткого на 72 %.

С 1 января 2019 года произошел очередной рост цены реализации длинного льноволокна на 12 %, а короткого на 4,4 % (рисунок 2), что могло бы положительно повлиять на финансовое состояние льнозаводов, если бы, за тот же период времени, себестоимость льноволокна также не выросла.

Рисунок 2 – Динамика средних цен реализации льноволокна в РФ

В настоящее время у переработчиков льнотресты имеется возможность выбора технологического оборудования (линий) для первичной переработки. Для того чтобы принять решение об организации переработки льнотресты необходимо заранее знать будет ли это производство рентабельным, то есть провести расчет технико-экономических показателей (ТЭП) того или иного оборудования льнозаводов.

Увеличение доли низкосортного сырья и трудности при сбыте длинного волокна номера 9 и 10 [6] привело к тому, что часть льнозаводов перерабатывают тресту, производя однотипное льноволокно, поэтому необходимо также проанализировать ТЭП льнозаводов по производству этого волокна.

Ранее в работе [7] был представлен анализ ТЭП льнозаводов с различными линиями, который показал, что положительный финансовый результат и допустимая окупаемость будут достигнуты, только при полной загрузке производственных мощностей льнозавода в 2 и 3 смены. Однако, отдельному льнозаводу заготовить такое количество льнотресты, практически невозможно, поэтому следует провести расчет ТЭП для меньшего количества льнотресты, то есть в одну смену. Из рисунков 1 и 2 видно, что цены на оборудование и волокно существенно увеличились, что также повышает интерес к расчету ТЭП для настоящих экономических условий.

Цель исследования – анализ технико-экономических показателей льнозавода, который перерабатывает льняную тресту в длинное, короткое и однотипное волокно на следующих технологических линиях:

– линия 1 для получения длинного и короткого льноволокна (производство Россия): РЛР-1500+МС-1+МТА-2Л+ТН-112+АКЛВ-1+ТН-112+ВОМ-2+пресс;

– линия 2 для получения длинного и короткого льноволокна (часть с оборудованием производства Беларусь): МР-1400+МС-1+МТА-2Л+ТВГ-14+ЛКЛВ-0,75+ТВГ-14+ВОМ-2+пресс;

– линия 3 для получения однотипного льноволокна (производство Россия): РЛР-1500+МС-1+ПЛ-1+М-110-Л1+ТН-112+ТОМ-Л2+ТН-112+ ВОМ-2+пресс;

– линия 4 для получения однотипного льноволокна (производство Россия): РЛР-1500+М-110-Л1+ДЛВ-2+ДЛВ-2+ТН-112+ТН-112+ВОМ-2+пресс.

Материалы и методы. Основными материалами для расчета послужили показатели производственной мощности, среднегодовой стоимости основных производственных фондов, объема денежных средств, направленных на оплату труда и т.д.

Основным методом исследования является балансовый метод, позволяющий составить план в виде баланса, учитывающего источники ресурсов и потребность в этих ресурсах.

Технико-экономические показатели указанных технологических линий рассчитывались для переработки льнотресты №1,00 одноагрегатным заводом в одну смену. Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета ТЭП линий

Наименование показателя	Линии переработки льнотресты			
	1	2	3	4
1. Посевная площадь льна, га	523		392	
2. Производительность оборудования по пропуску тресты при нормированной влажности, кг/ч	800		600	
3. Масса перерабатываемой льнотресты при нормированной влажности, т/год	1307,52		980,64	
4. Выход и номер волокна, всего, %, в т.ч. – длинного – короткого (однотипного) – пакли – средний номер длинного волокна – средний номер короткого (однотипного) волокна	31,5 10 20 1,5 11 3		31,5 – 30 1,5 – 3	
5. Выработка волокна всего, т, в т.ч – длинного – короткого (однотипного) – пакли	411,87 130,75 261,50 19,61		308,9 – 294,19 14,71	
6. Стоимость тресты, тыс. руб. за тонну	10			
7. Общая численность работников ППП, чел	17		14	12
8. Цена реализации волокна, тыс. руб. за тонну – длинного – короткого (однотипного) – пакли	 140 47 10		– <br	
9. Установленная электрическая мощность, кВт	135,6	135,6	98,5	118,6
10. Капитальные затраты на льнозавод, тыс. руб.	53760,7	44219,2	37480,7	32671,8

В расчетах не учитывались государственные и региональные субсидии, а также налоги на имущество, землю, прибыль и т.д. Предполагалось, что завод обеспечен сырьем на один год. Капитальные затраты включали затраты на приобретение, доставку и монтаж оборудования, расходы на строительство зданий, сооружений, на приобретение транспортных средств и прочие основные фонды. Результаты расчета технико-экономических показателей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технико-экономические показатели одноагрегатных льнозаводов

Наименование показателей	Линии переработки льнотресты			
	1	2	3	4
1. Объем товарной продукции льнозавода, тыс. руб.	23874,0		13974,1	
2. Полная себестоимость льноволокна, тыс. руб.	27691,2	16305,3	20589,1	19358,4
3. Прибыль / убыток, тыс. руб.	3100,9	4486,8	-6615,0	-5384,3
4. Рентабельность продукции, %	11,2	17,1	-32,1	-27,8
5. Срок окупаемости, лет	17,3	9,9	–	–

Результаты и их обсуждение. Анализируя данные таблицы 2 можно отметить, что наиболее рентабельной (17,1 %) является переработка льнотресты в длинное и короткое волокно на линии производства Республики Беларусь (линия 2). Это связано с более низкими (на 17,7 %) капитальными затратами на приобретение и монтаж оборудования. Окупаемость затрат на строительство льнозавода и организацию производства составит 9,9 лет.

Российская линия длинного и короткого волокна также имеет прибыль и положительную рентабельность 11,2 %, капитальные затраты при этом окупятся за 17,3 года.

Линии по выработке однотипного льноволокна (линии 3 и 4) не рентабельны (таблица 2). Уровень безубыточности на линии 3 будет достигнут при повышении цены реализации однотипного волокна в 70000 рублей за тонну, на линии 4 – в 66000 рублей.

Заключение. В современных экономических условиях после очередного повышения цен на оборудование, даже рост цены длинного и короткого волокна не способствует эффективному строительству льнозаводов, и главное их достаточно быстрой окупаемости. При планировании строительства классического льнозавода и покупке технологического оборудования нужно учитывать, что в современных экономических условиях рентабельно перерабатывать льнотресту в длинное и короткое волокно, а не в однотипное волокно (монольноволокно).

Положительный финансовый результат и допустимая окупаемость строящегося льнозавода будут достигнуты на линии из технологического оборудования производства Республики Беларусь из-за более низких капитальных затрат при покупке технологического оборудования.

Капитальное строительство и покупка технологического оборудования для получения однотипного льноволокна возможно лишь при условии роста цены его реализации не менее в 1,4-1,5 раза от цен начала 2019 года и без повышения статей затрат на производство.

Полученные результаты можно использовать переработчикам льна-долгунца для планирования своей переработки.

Список литературы

1. Новиков Э.В., Королева Е.Н., Безбабченко А.В., Ущаповский И.В. Качество льносырья, волокна и эффективность первичной переработки в льнокомплексе России // Машино-технологическая модернизация льняного агропромышленного комплекса на инновационной основе: сборник научных трудов ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т. – 2014. – С. 196-200.

2. Новиков Э.В. О ценах на готовую продукцию, оборудование, электро- и теплоэнергию льнозаводов // Тезисы международной научно-практической конференции «Наука, сельское хозяйство и промышленность – пути развития и ожидаемые результаты» (11-13 марта 2008). Вологда. 2008. – С. 73-77.

3. Новиков Э.В. Анализ цен на льноволокно, оборудование и электро- и теплоэнергию льнозаводов // Сб. тр. междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы в развитии инновационных технологий» («Лен 2012»). Кострома. Изд-во Костромс. гос. технол. ун-та. (18-19 октября 2012 г). – С. 37-39.

4. Смирнов К.В., Новиков Э.В. Динамика цен на льноволокно, оборудование и электроэнергию льнозаводов // Научные труды молодых ученых КГТУ. Вып. 16. – Кострома. Изд-во Костромс. гос. технол. ун-та. 2015 г. – С. 88-91.

5. Ущаповский И. В., Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. В., Галкин А. В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения [Электронный ресурс] Режим доступа: http://molochnoe.ru/journal. // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – № 1 (25). – С. 166-184.

6. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Шевалдин Д.М., Безбабченко А.В., Романов В.А. Исследование различного состава технологического оборудования при первичной переработке тресты льна-долгунца в моноволокно // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: материалы Междунар. Научно-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ, г. Тверь: Твер. гос. ун-т. – 2017. – С. 319-325.

7. Басова Н.В., Новиков Э.В., Безбабченко А.В. Сравнительный анализ технико-экономических показателей льнозаводов с линиями МТА-2Л и МТА-3ЛМ // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: материалы Междунар. Научно-практ. Конф. ФГБНУ ВНИИМЛ, г. Тверь: Твер. гос. ун-т. – 2017. – С. 291-295.

References.

1. Novikov E.V., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V., Ushchapovskij I.V. Kachestvo l'nosyr'ya, volokna i effektivnost' pervichnoj pererabotki v l'nokomplekse Rossii // Mashino-tekhnolgicheskaya modernizaciya l'nyanogo agropromyshlennogo kompleksa na innovacionnoj osnove: sbornik nauchnyh trudov VNIIML. – Tver': Tver. gos. un-t. – 2014. – S. 196-200.

2. Novikov E.V. O cenah na gotovuyu produkciyu, oborudovanie, elektro- i teploenergiyu l'nozavodov // Tezisy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Nauka, sel'skoe hozyajstvo i promyshlennost' – puti razvitiya i ozhidaemye rezul'taty» (11-13 marta 2008). Vologda. 2008. – S. 73-77.

3. Novikov E.V. Analiz cen na l'novolokno, oborudovanie i elektro- i teploenergiyu l'nozavodov // Sb. tr. mezhdunar. nauch. konf. «Aktual'nye problemy v razvitii innovacionnyh tekhnologij» («Len 2012»). Kostroma. Izd-vo Kostroms. gos. tekhnol. un-ta. (18-19 oktyabrya 2012 g). – S. 37-39.

4. Smirnov K.V., Novikov E.V. Dinamika cen na l'novolokno, oborudovanie i elektroenergiyu l'nozavodov // Nauchnye trudy molodyh uchenyh KGTU. Vyp. 16. – Kostroma. Izd-vo Kostroms. gos. tekhnol. un-ta. 2015 g. – S. 88-91.

5. Ushchapovskij I. V., Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. V., Galkin A. V. Sistemnye problemy l'nokompleksa Rossii i zarubezh'ya, vozmozhnosti ih resheniya [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: http://molochnoe.ru/journal.// Molochnohozyajstvennyj vestnik. – 2017. – № 1 (25). – S. 166-184.

6. Koroleva E.N., Novikov E.V., SHevaldin D.M., Bezbabchenko A.V., Romanov V.A. Issledovanie razlichnogo sostava tekhnologicheskogo oborudovaniya pri pervichnoj pererabotke tresty l'na-dolgunca v monovolokno // Innovacionnye razrabotki dlya proizvodstva i pererabotki lubyanyh kul'tur: materialy Mezhdunar. Nauchno-prakt. konf. FGBNU VNIIML, g. Tver': Tver. gos. un-t. – 2017. – S. 319-325.

7. Basova N.V., Novikov E.V., Bezbabchenko A.V. Sravnitel'nyj analiz tekhniko-ekonomicheskih pokazatelej l'nozavodov s liniyami MTA-2L i MTA-3LM // Innovacionnye razrabotki dlya proizvodstva i pererabotki lubyanyh kul'tur: materialy Mezhdunar. Nauchno-prakt. Konf. FGBNU VNIIML, g. Tver': Tver. gos. un-t. – 2017. – S. 291-295.

Поступила в редакцию: 07.04.2019
Принята к публикации: 31.05.2019

УДК 631.303

МЕТОД ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Тишанинов Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник
Анашкин Александр Витальевич,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: av-anashkin@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов

Реферат. *Представлена систематизация задач научно-технического прогресса и средств выработки решений на различных его этапах. Для обоснования предпроектных решений и сопоставления принципиально разных механизированных технологий предложен метод определяющих критериев, обеспечивающих их высокую корреляционную связь с показателями назначения и качеством технологического процесса. Сформулированы основные требования по дополнению результатов сопоставления технологий анализом затрат на их реализацию в конкретных условиях производства. Для сопоставления традиционной триерной технологии очистки зерносмесей и фотосепараторов использованы два критерия: интенсивность сепарирующих воздействий на рабочую среду, определяющего производительность; избирательность воздействия на выделяемые примесные частицы, определяющего качество технологического процесса. Сопоставление указанных технологий по предложенному методу показывает, что преимущества традиционной многократно превосходят потребительские свойства фотосепараторов. Проведен анализ потока зерносмеси в канале при подаче 1 кг/с, который позволяет усомниться в работоспособности рекламируемых пневмосепараторов «Сапсан» в части обеспечения заданной производительности при однослойной подаче зерносмеси по лоткам – ширина лотка превышает 0,27 м. Установлено, что фотосепараторы не могут обеспечить качественную очистку зерносмесей с реальным уровнем исходной засоренности – 1-3%.*

Ключевые слова: *триер, фотосепаратор, метод, критерии, сопоставление, производительность, качество работ.*

THE METHOD FOR DETERMINING QUALITY CRITERIA OF TECHNOLOGICAL PROCESS

Tishaninov Nikolai,
Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher
Anashkin Alexander,
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,
e-mail: av-anashkin@mail.ru
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov

Abstract*.The systematization of the tasks of scientific and technological progress and the means of developing solutions at its various stages is presented.The method of defining criteria ensuring their high correlation with the indicators of purpose and quality of the technological process has been proposed to substantiate pre-design solutions and to compare fundamentally different mechanized technologies.The basic requirements for supplementing the results of technology comparison with an analysis of the costs of their implementation in specific production conditions are formulated.Two criteria: the intensity of the separation effects on the working environment, which determines the performance; the selectivity of the impact on the emitted impurity particles, which determines the quality of the technological process, is used to compare the traditional trimeric technology of cleaning grain mixtures and photoseparators. Comparison of the indicated technologies according to the proposed method shows that the advantages of the traditional technology many times exceed the consumer properties of photo-separators.The analysis of the flow of grain in the channel with the supply of 1 kg / s was carried out, which makes it possible to doubt the performance of the advertised pneumatic separators Sapsan in terms of ensuring the specified performance with a single-layer feeding of the grain mixture through the trays - the width of the tray exceeds 0.27 m. It has been established that photoseparators cannot provide high-quality cleaning of grain mixtures with a real level of initial contamination - 1-3%.*

Keywords: *trier, photoseparator, method, criteria, comparison, performance, quality of work.*

Введение. Современный рынок предлагает множество технологий для механизации сельскохозяйственных процессов. Обоснованный выбор технологий определяет результаты последующей экономической деятельности сельскохозяйственных предприятий. Особенно остро стоит вопрос, когда технологический процесс реализуется принципиально разными способами. В последнее время широко рекламируется новая технология для очистки зерна, которая предполагает использование фотосепараторов, размещаемых в производственных помещениях с искусственным климатом, где не допускается запыленность, рассеянный свет, повышенная влажность и предъявляются другие высокие требования. Технологические возможности фотосепараторов и дороговизна реализации проекта вызывает сомнения, а методов объективного сопоставления с традиционной триерной технологией не существует. Поэтому актуальность разработки метода определяющих критериев сомнений не вызывает.

Материалы и методы. В работе использованы результаты экспериментальных исследований, полученных на новом стендовом оборудовании, расчетно-конструктивные методы и методы экономического анализа.

Результаты и их обсуждение. На различных этапах научно-технического прогресса и использования его достижений возникает множество ситуаций, требующих обоснованного выбора решений. Рассмотрим три базовые ситуации качественно отличающиеся по содержанию задач, времени принятия решений и информационному обеспечению: первая - обоснованный выбор предпроектных решений в рамках заданного направления развития техники и технологий; вторая - использование достижений прогресса в конкретных условиях производства; третья - выбор направления прогресса или варианта технологии для конкретных условий производства.

Для первой ситуации выбора обоснованных решений характерен недостаток информационного обеспечения. Однако, в рамках выбранного направления прогресса чаще всего руководствуются определяющей целью разработки. При этом выбирают главные критерии оценки потребительских свойств создаваемой технологии, которые считаются бесспорными с точки зрения эффективности ее использования в среднесрочной перспективе, а недостаток

информационного обеспечения компенсируется применением нормативного метода определения других потребительских свойств создаваемой технологии на основе различных идентификаторов. Применение нормативного метода связанно с рисками снижения объективности оценок, но в рамках выбранного направления прогресса, сопоставление решений упрощается и риски снижаются [1 – 2].

Вторая ситуация выбора обоснованных решений относится к задачам управления производством, когда информационная база является исчерпывающе полной. Вместе с тем, сопоставление решений с оценкой эффективности технологий по полному перечню потребительских свойств и источников образования экономического эффекта связана с «размыванием» объектности сопоставления. Например, разница в квалификации обслуживающего персонала может перевешивать разницу в техническом уровне используемых технологий.

Для третьей ситуации выбора обоснованных решений характерны: недостаточная адаптированность информационных баз по сопоставляемым объектам; разница в объемах информации; разница в качестве информации (например – недобросовестная реклама). Поэтому выработка обоснованных решений по третьей ситуации должна базироваться на определяющих критериях, отвечающих следующим требованиям: адаптированность к сопоставляемым объектам; обеспечение формализованной оценки; тесная взаимосвязь с основными источниками образования экономического эффекта [3].

Содержание задач и состояние информационной базы в третьей ситуации выработки обоснованных решений свидетельствует об актуальности разработки метода определяющих критериев, который позволит снизить риски неэффективного использования инвестиций на создание бесперспективных технологий и их эксплуатации в производстве. Метод определяющих критериев не может быть универсальным относительно видов машин и технологий.

Для наложения метода выбраны технологии очистки зерносмесей от примесей с помощью триеров и фотосепараторов. Актуальность выбора сопоставляемых объектов связана с тем, что по триерным технологиям имеется весьма широкий спектр информации по результатам исследований и опыту производственной эксплуатации, а по фотосепараторам – усеченная рекламная информация. Причем по триерным технологиям, которые используются многие десятилетия во всех зерносеющих странах мира, информация в основном негативная, а в рекламных источниках по фотосепараторам явно завышены показатели качества технологического процесса.

Контраст оценочных показателей сопоставляемых технологий – с одной стороны, и обратная ситуация по предпочтениям их выбора для практического использования определяет очевидные противоречия, которые ставят в тупик многих специалистов.

Указанные противоречия объясняются несопоставимыми условиями эксплуатации двух технологий и разницей в объективности информации об их потребительских качествах. Низкие показатели использования триерных технологий характерны для условий производства, где отсутствуют средства управления массовыми потоками рабочей среды и режимами работы. В тоже время в рекламных источниках по фотосепараторам не указывается исходная засоренность зерносмесей и физико-механические свойства примесных компонентов, что вызывает сомнения в объективности источников. Поэтому необходимы критерии, соответствующие выше сформулированным требованиям.

Нами предлагается два таких критерия: интенсивность сепарирующих воздействий на рабочую среду, который определяет показатель назначения (производительность); избирательность воздействия на частицы зерносмесей, который определяет качество технологического процесса.

Для триеров показатель интенсивности сепарирующих воздействий ($П_{ин}$) на рабочую среду имеет два уровня, определяемых результатами взаимодействия ячей с зерновками основной культуры и результатами взаимодействия ячей с примесными частицами.

Причем показатель $П_{ин}$ имеет различные значения: $П^{/}_{ино}$ - потенциальная (расчетная) интенсивность сепарирующих воздействий, определяемая числом ячей овсюжного цилиндра, контактирующих с зерновками основной культуры в единицу времени; $П^{//}_{ино}$ - фактическая интенсивность сепарирующих воздействий, определяемая числом зерновок основной культуры, выделенных ячеями из зерносмеси в единицу времени. Эти показатели будут существенно

различаться в зависимости от величины подачи (W) зерносмеси в триер, скоростного режима (n) работы, сегрегации примесных компонентов в зерновом сегменте и других факторов [4 – 5].

Величина показателя $П^{/}_{ино}$ будет определяться по формуле:

$$П^{/}_{ино} = \omega RLK_nN_{яо} = \pi nRLK_nN_{яо}/30, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость триерного цилиндра, рад/с;

R– радиус триерного цилиндра, м;

L – длина триерного цилиндра, м;

$К_n$ – коэффициент, учитывающий полезное использование поверхности триерного цилиндра ($К_n$ = 0,9);

n – скорость вращения триерного цилиндра, об/мин.

Фактическая интенсивность сепарирующих воздействий определяется с учетом степени заполнения ячей зерновками основной культуры по всей длине триерного цилиндра [4]:

$$П^{//}_{ино} = (\sum_{i=1}^{к} З_{яi}/к) \times (\pi nRLK_nN_{яо}/30), \quad (2)$$

где $З_{яi}$– степень заполнения ячей зерновками основной культуры на i-ом участке длины триерного цилиндра, шт./ячею;

К – число контролируемых участков длины ячеистого цилиндра, шт.

Интенсивность воздействия ячей кукольного триерного цилиндра на выделяемые короткие примесные частицы также имеет два качественно различных уровня: $П^{//}_{инк}$ - расчетная, определяемая исходя из равномерного распределения коротких примесных частиц в циркулирующих слоях зернового сегмента; $П^{//}_{инк}$ - фактическая, учитывающая эффект динамической сегрегации примесных частиц в слоях зерновок основной культуры [6-8].

Для объективной количественной оценки показателей $П^{/}_{инк}$ и $П^{//}_{инк}$, а также решения последующих задач сравнения принципиально разных технологий очистки зерносмесей необходимо выполнить условие – примесный компонент представляет собой семена одного сорняка с массой 1000 семян – $m_п$, полисоставная или полидисперсная примесь не допускаются из-за неопределенности оценок качества процесса.

Расчетное значение показателя $П^{/}_{инк}$ для принятого условия и равномерно убывающей исходной засоренности ($З_и$) зерносмеси короткими примесями будет определяться по формуле:

$$П^{/}_{инк} = N^{/}_{пр}\,\omega L/2\varphi l \quad (3)$$

где $N^{/}_{пр}$ – число примесных частиц, находящихся в контактирующем слое, шт.;

φ – угол охвата зернового сегмента при подаче зерносмеси W и угловой скорости ячеистого цилиндра – ω, рад;

l – величина осевого смещения сегмента за 1 сек, м.

Последовательность определения $N^{/}_{пр}$ следующая:

$$W = \varphi Rh\vartheta\rho \rightarrow M_c = Wt \rightarrow M_{пр} = З_uM_c/100 \rightarrow N_{пр} = 10\,З_uM_c/m_n \rightarrow$$
$$\rightarrow N^{/}_{пр} = 10\,З_uM_c/m_nn_{сл} \rightarrow n_{сл} = hK_p/\bar{d} \rightarrow N^{/}_{пр} = 10\,З_uM_c\bar{d}/m_nhK_p, \quad (4)$$

где W – подача зерносмеси в ячеистый цилиндр, кг/с;

h – расчетная высотанеразуплотненного единичного зернового сегмента, м;

ϑ–скорость осевого смещения зернового сегмента, м/с;

ρ – насыпная плотность зерносмеси, кг/м^3;

$М_с$ – масса единичного сегмента (размер по оси цилиндра $l = \vartheta t, t = 1c$), кг;

$M_{пр}$ – масса примеси в единичном сегменте, кг;

$З_u$ – исходная засоренность зерносмеси, %;

$N_{пр}$ – число примесных частиц в единичном сегменте, шт.;

m_n – масса тысячи примесных частиц, кг;

$n_{сл}$ – число циркулирующих слоев в зерновом сегменте, шт.;

K_p – коэффициент разуплотнения сегмента в динамике (K_p =1,22);

$\bar{d}$ – средняя толщина зерновок основной культуры, м.

Динамическая сегрегация примесных частиц в зерновом слое ускоряет их выделение. Причем время выделения примесных частиц в заданном скоростном режиме работы триера практически не зависит от их исходной концентрации в зерносмеси. Концентрация примесного компонента в зерносмеси определяет потенциал (скорость) его сегрегации в слое основной культуры. Через 5-7с после поступления зерносмеси в триер осаждение примесного компонента в контактирующий слой увеличивается в 7 – 11 раз [7] относительно среднего уровня распределения примеси по циркулирующим слоям. Поэтому величина $П^{//}_{инк}$ будет определяться с учетом частичного использования рабочей длины кукольного цилиндра по формуле:

$$П^{//}_{инк}=10\ З_и М_с/m_п t_в\ , \quad (5)$$

где $t_в$– фактическое время выделения примесного компонента из зерносмеси, с.

Показатель интенсивности сепарирующих воздействий на рабочую среду в фотосепараторе ($П_{инф}$) будет определяться по формуле:

$$П_{инф}=Ч_п \cdot n_к\ , \quad (6)$$

где $Ч_п$ – частота пульсаций пневмораспределителя, 1/с;

$n_к$ – число каналов пневмосепаратора, шт.

Определяющим критерием для сопоставления принципиально разных технологий очистки зерносмесей в части интенсивности сепарирующих воздействий на рабочую среду будет кратность соотношения ($К_I$) соответствующих частных оценок:

$$\begin{cases} К_{Iр} = П^{/}_{инк}/П_{инф} = N^{/}_{пр}\,\omega L/2\varphi l Ч_п n_к; \\ К_{Iф} = П^{//}_{инк}/П_{инф} = 10\ З_и М_с/m_п t_b Ч_п n_к. \end{cases} \quad (7)$$

Нужно отметить, что формула (7) учитывает лишь часть возможностей одного из сопоставляемых объектов – не учитывается работа овсюжных цилиндров, так как в другом сопоставляемом объекте (фотосепараторе) отсутствует операция выделения из зерносмесей зерновок основной культуры.

Показатель избирательности сепарирующих воздействий ($П_{из}$) на рабочую среду определяется по формуле:

$$П_{из} = (З_и - З_о)/Р_{зо}, \quad (8)$$

где $З_о$ и $Р_{зо}$ – остаточная засоренность и потери основной культуры, %.

Содержание (структура) показателя ($П_{из}$) соответствует шкалам желательности и связывает частные показатели качества технологических процессов – величина $П_{из}$ тем выше, чем больше степень понижения исходной засоренности ($З_и - З_о$) и чем меньше величина потерь основной культуры.

Величина второго определяющего критерия может быть оценена только по фактическим (или заявляемым) показателям качества технологического процесса:

$$К_{IIф} = П_{изт}/П_{изф}, \quad (9)$$

где $П_{изт}, П_{изф}$ – показатели избирательности сепарирующих воздействий соответственно триера и фотосепаратора.

Если критерии $К_I$ и $К_{II}$не являются компромиссными (оба в пользу одного сопоставляемого объекта и по одной шкале желательности), то среднее значение обобщенного критерия будет:

$$\overline{K} = \sqrt{К_{I\phi} К_{II\phi}}\ . \quad (10)$$

Для расчета определяющих критериев $К_{Iф}$и$К_{IIф}$ необходимо воспользоваться результатами исследований триеров, выполненных при обеспечении управляемости подачей зерносмеси и последующем выделении из нее примесных компонентов [8 – 9]. Это соответствует условию сопоставимости сравниваемых вариантов, так как фотосепараторы используются в режиме одноканальной загрузки и последующего распределения зерносмеси по лоткам вибропитателем.

В технологии с использованием фотосепараторов выделение из зерносмеси зерновок основной культуры не производится. Поэтому сопоставление технологии по определяющим критериям следует проводить на примере выделения примесных частиц кукольным цилиндром.

Фактическую интенсивность сепарирующих воздействий кукольного цилиндра на зерносмесь определим по формуле (5) с учетом эффекта сегрегации примесных частиц в циркулирующих слоях основной культуры и его существенного влияния на время выделения ($t_в$). Исходные данные для расчета, полученные экспериментальным путем представлены в таблице 1.

Таблица 1 − связь $З_и$ с временем выделения ($t_в$) при W= 1 кг/с (3,6 т/ч) и n = 50 об/мин

Наименование примесей	Масса 1000 частиц, грамм	Число примесных частиц в цилиндре (шт)/ время выделения (с) при различных $З_и$(%)		
		1%	2%	3%
Гречишка вьюнковая (семена)	7,0	62857/22,5	125714/(−)	188571/32,5
Горчица (семена)	6,2	70968/17,5	141936/(−)	212904/22,5
Сорго (зерно)	22,1	19910/32,5	39820/(−)	59730/52,5
Просо (зерно)	9,3	47312/22,5	94624/27,5	141936/32,5

При подаче W= 1 кг/с в кукольном цилиндре находится 44 кг зерносмеси – для этой массы рассчитано количество примесных частиц (см. таблицу 1). Степень выделения частиц составляла 99,6-100%.

Уровень потерь зерновок основной культуры при угле подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка $\gamma_п$=50-55% относительно горизонта и радиальном зазоре между этой кромкой и цилиндром $З_р$=8мм не превышает 0,08%.

Величина показателя $П^{//}_{инк}$ для кукольного цилиндра при выделении гречишки вьюнковой из зерносмеси с ее исходной концентрацией $З_и$= 3% будет:

$$П^{//}_{инк} = 188571 / 32,5 = 5802 \ 1/с.$$

Примесный компонент (гречишка вьюнковая) выбрана для обеспечения объективности сопоставления технологий. В рекламной информации на оптический сортировщик «Сапсан-1» (один лоток) эта примесь указана. При очистке пшеницы он обеспечивает производительность W = 4 т/ч > 1 кг/с. Однако, поверить, что пневмораспределитель обеспечивает частоту пульсации на уровне 5802 1/с очень сложно. Потенциальные возможности кукольногоцилиндра, которые могут быть определены по формуле аналогичной (1), еще выше:

$$[П_{инк}] = \pi n R L К_п N_{як}/30 = 82293 \ 1/с, \ , \quad (11)$$

где $N_{як}$ – плотность размещения ячей на поверхности кукольного цилиндра ($N_{як}$=26473), шт/м^2.

В рекламных источниках по оптическим сортировщикам разработчик скудно представляет значимую информацию. Поэтому в дальнейшем их сопоставление с триерной технологией будет базироваться на результатах независимых исследований. Однако, и при ограниченном объеме информации возможно получить некоторые оценки. Например, оценить ширину однослойного потока зерновок пшеницы в лотке при W = 1 кг/с.

$$W = b\bar{d} К^{/}_р V\rho => b = W/ (\bar{d} \rightarrow К^{/}_р \rho v) = 1/(0,003 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 3,13) = 0,27 \, м, \quad (12)$$

где b– ширина однослойного потока пшеницы в лотке оптического сортировщика, м;

$К^{/}_р$ – коэффициент разуплотнения падающего потока относительно насыпной плотности ($К^{/}_р = 0,5$)

V – скорость падающего потока (V = 3,13 м/с), м/с.

Величина V определена из условий свободного падения зерновок с высоты 0,5 м. Из уравнения (12) видно, что величина b = 0,27 м не позволяет считать принцип действия пневматического сортировщика «Сапсан» работоспособным. Непонятно, как ориентировать направление пульсирующего потока воздуха на выделяемую примесную частицу, которая случайным образом размещена в потоке шириной 0,27 м.

Для расчета первого определяющего критерия примем, что возможности «Сапсан-4», содержащего 4 лотка и 288 клапанов обеспечивают выделение 2880 примесных частиц в секунду ($П_{инф}$ = 2880 1/с).

В этом случае фотосепаратор «Сапсан-4» будет существенно уступать кукольному триеру по первому определяющему критерию.

$$К_{Iф} = П^{//}_{инк} / П_{инф} = 5802/2880 \approx 2 \text{ раза.} \quad (13)$$

То есть возможности «Сапсан-4» по интенсивности сепарирующих воздействий на рабочую среду в 2 раза ниже показателя, обеспеченного кукольным цилиндром при выделении гречишки вьюнковой из пшеницы при W= 3,6 т/ч и $З_и$= 3%. Потенциальные возможности кукольного цилиндра по критерию $К_I$ в 28,6 раз выше технологических возможностей «Сапсан-4» (см. формулу 11). «Сапсан-4» не обеспечивает достижение указанных в рекламе показателей.

Для сопоставления двух технологий по критерию $К_{II}$ необходимо воспользоваться результатами их исследований [10 – 11]. Профессор А.П. Тарасенко при исследовании фотосепараторана очистки пшеницы от примеси (зерно гречихи) с исходной засоренностью $З_и$= 0,36 % получил следующие результаты. Остаточная засоренность составила $З_0$= 0,1 %, потери зерновок основной культуры $-Р_{зо}$ = 9 %.

Тогда согласно уравнениям (8) и (9) будем иметь:

$$\begin{cases} П_{изт} = (3 - 0{,}1)/0{,}08 = 36{,}25; \\ П_{изф} = (0{,}36 - 0{,}1)/9 \approx 0{,}029; \\ К_{IIф} = 36{,}25/0{,}029 = 1250 \text{ раз.} \end{cases} \quad (14)$$

То есть по критерию избирательности воздействия на рабочую среду новая технология более чем на 3 порядка уступает триерной. По обобщенному критерию – в 50 раз:

$$\overline{K} = \sqrt{2 \text{ x } 1250} = 50 \text{ раз.}$$

Если принять во внимание «потери хорошего продукта» (так сформулировано в рекламе) при очистке пшеницы на уровне 0,2%, то:

$$\begin{cases} П_{изф} = (0{,}36 - 0{,}1)/0{,}2 = 1{,}3; \\ К_{IIф} = 36{,}25/1{,}3 \approx 28; \\ \overline{К} = \sqrt{2 \text{ x } 28} \approx 7{,}5 \text{ раз.} \end{cases} \quad (15)$$

Из соотношений (15) видно, что при учтенных в анализе допущений (весьма существенных) в пользу новой технологии, она в 7,5 раз уступает традиционной (триерной).

Эти оценки важны при выборе технологий для производства в условиях ограниченной информации, выборе направлений развития технологий, оценке авторского вклада в прогресс и т.д. Однако, они не являются исчерпывающими – требуется дополнительный анализ сопоставляемых технологий в части затрат на технологический процесс.

Сопоставление указанных выше технологий по затратным составляющим не вносит компромисса в результат сопоставления. Цена фотосепаратора «Сапсан» который производит ООО «АТЛАС-М» существенно выше цен современных отечественных триерных блоков (БТМ-800-8/16; БТЦ-700; БТ-8/1 и др.). Кроме того, оптический сортировщик должен эксплуатироваться в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями, где отсутствует воздействие прямого солнечного излучения или рассеянного света, пыли, влаги и др. С этим также связаны повышенные затраты на строительную часть проекта. Технология с использованием фотосепаратора требует более квалифицированного и дорогостоящего обслуживания.

Выводы. Выбор эффективной технологии – первичный этап обеспечения эффективности производства. В плановой экономике этот вопрос перед сельским товаропроизводителем не стоял и в обществе при ослабленных экономических интересах участников экономической деятельности достаточного внимания этому не уделялось. В сельскохозяйственную отрасль «проникали» технологии с гарантированным ущербом при использовании, который принимало на себя государство, а в условиях хозяйственной самостоятельности и насыщенного рынка необходимы методы объективной оценки принципиально разных технологических предложений. Метод определяющих критериев позволяет успешно решать эту задачу даже при ограниченном объеме информации о технологиях или намеренном ее искажении в рекламных источниках. Сопоставление традиционной триерной технологии очистки зерносмесей с фотосепараторами по предложенному методу позволило выявить многократное преимущество триеров по обобщенному критерию при всех допущениях в пользу нового предложения.

Список литературы

1. Михайлова Н.В. Организационно-методологическое единство и различия методов учета затрат и калькулирования себестоимости продукции // Изв. ВУЗОВ. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2013. – № 2. – С. 69-75.

2. ГОСТ 23728 – ГОСТ 23730. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 25 с.

3. Тишанинов Н.П. Проблемы эксплуатации техники в рыночныхусловиях // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1994. – № 11. – С. 21-24.

4. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Оценка взаимосвязи степени заполнения ячей триерного цилиндра с режимами работы и настроечными параметрами // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 24-33.

5.Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Теоретический анализ динамики выделения коротких примесей из зерносмесей ячеистой поверхностью // Наука в центральной России. – 2015. – № 1 (13). – С. 46-58.

6.Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Альшинайиин Х.Д.Д. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследования ячеистых поверхностей // Наука в центральной России. – 2016. – № 4.– С. 90-98.

7.Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Исследование динамической сегрегации примеси при выделении проса из пшеницы // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 69-77.

8. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Качество выделения семян горчицы и сорго из пшеницы ячеистыми поверхностями // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 42-48.

9. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Закономерности выделения семян льна и гречишки вьюнковой из зернгосмеси // Наука в центральной России. – 2017. – № 5 (29). – С. 5-12.

10. Тарасенко А.П. Влияние современных зерноочистительных машин и оборудования на качество семян и выбор наиболее перспективных для разработки или реконструкции семяочистительных линий / Тарасенко [и др.]. – Воронеж, 2008. – 33 с.

11. Мяснянкин К.В., Тарасенко А.П. Применение фотосепаратора для очистки гречихи // Актуальные направления научных исследований XXI века. Теория и практика: сб. научных исследований по материалам международной заочной науч.-практ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГЛТА, 2014. – № 3. – Ч. 4 (8-4). – С. 439-442.

References

1. Mihajlova N.V. Organizacionno-metodologicheskoe edinstvo i razlichiya metodov ucheta zatrat i kal'kulirovaniya sebestoimosti produkcii // Izv. VUZOV. Seriya: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom. – 2013. – № 2. – S. 69-75.

2. GOST 23728 – GOST 23730. Tekhnika sel'skohozyajstvennaya. Metody ekonomicheskoj ocenki. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1988. – 25 s.

3. Tishaninov N.P. Problemy ekspluatacii tekhniki v rynochnyhusloviyah // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 1994. – № 11. – S. 21-24.

4. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Ocenka vzaimosvyazi stepeni zapolneniya yachej triernogo cilindra s rezhimami raboty i nastroechnymi parametrami // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 4 (34). – S. 24-33.

5. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Teoreticheskij analiz dinamiki vydeleniya korotkih primesej iz zernosmesej yacheistoj poverhnost'yu // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. – № 1 (13). – S. 46-58.

6. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Al'shinajiin H.D.D. Obosnovanie parametrov stenda ciklicheskogo dejstviya dlya issledovaniya yacheistyh poverhnostej // Nauka v central'noj Rossii. – 2016. – № 4.– S. 90-98.

7. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Issledovanie dinamicheskoj segregacii primesi pri vydelenii prosa iz pshenicy // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 2 (26). – S. 69-77.

8. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Kachestvo vydeleniya semyan gorchicy i sorgo iz pshenicy yacheistymi poverhnostyami // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 3 (27). – S. 42-48.

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Zakonomernosti vydeleniya semyan l'na i grechishki v'yunkovoj iz zerngosmesi // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 5 (29). – S. 5-12.

10. Tarasenko A.P. Vliyanie sovremennyh zernoochistitel'nyh mashin i oborudovaniya na kachestvo semyan i vybor naibolee perspektivnyh dlya razrabotki ili rekonstrukcii semyaochistitel'nyh linij / Tarasenko [i dr.]. – Voronezh, 2008. – 33 s.

11. Myasnyankin K.V., Tarasenko A.P. Primenenie fotoseparatora dlya ochistki grechihi // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka. Teoriya i praktika: sb. nauchnyh issledovanij po materialam mezhdunarodnoj zaochnoj nauch.-prakt. konf. – Voronezh: FGBOU VPO VGLTA, 2014. – № 3. – CH. 4 (8-4). – S. 439-442.

Поступила в редакцию: 29.04.2019
Принята к публикации: 30.05.2019

УДК 631.303

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСКАДНОГО ДЕЛИТЕЛЯ

Тишанинов Николай Петрович
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail:av-anashkin@mail.ru
Анашкин Александр Витальевич
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: av-anashkin@mail.ru
Тишанинов Константин Николаевич
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: TishaninovKN@rambler.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Тамбов

Реферат. *Морфологический анализ на предыдущем этапе исследований показал возможность создания каскадного делителя потока зерна с щелевым принципом авторегулирования, уменьшение технологической высоты достигалось путем размещения щелевых отверстий под углом. В данной работе теоретически обоснована возможная погрешность деления такого устройства при ассиметричной подаче зерна в стабилизирующую емкость. Вычисление объема насыпи зерна при ассиметричной подаче проведено как для объема усеченного конуса. Получены уравнения для нахождения объема конуса усеченного стороной стабилизирующей емкости делителя, плоскостью размещения щелевых отверстий и плоскостью разделения каналов в зависимости от смещений конуса от центра стабилизирующей емкости. Установлена взаимосвязь погрешности разделения потока от величин отклонений (по ширине и длине стабилизирующей емкости) от симметричной подачи зерна. Получена пространственная кривая распределения погрешности разделения. Обнаружено, что при ассиметричной подаче зерна в пределах 25% ширины и длины стабилизирующей емкости каскадного делителя погрешность разделения не превышает 13%. Наибольшее влияние на погрешность деления дает смещение потока по ширине. При одинаковых значениях смещения потока по ширине смещение потока в сторону дальней стенки снижает погрешность деления более чем в два раза. Основная рекомендация при проектировании каскадного делителя и его монтажа в составе зерноочистительного оборудования - это симметричная по ширине подача зерна к задней стенке стабилизирующей емкости делителя.*

Ключевые слова: *делитель потока зерна, теоретический анализ, средства управления массовыми потоками зерна.*

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CASCADED DIVIDER

Tishaninov Nikolay
full doctor of technical sciences, professor, chief researcher, e-mail: av-nashkin@mail.ru
Anashkin Alexander
candidate of technical sciences, leading researcher, e-mail: av-anashkin@mail.ru
Tishaninov Konstantin
candidate of technical sciences, e-mail: TishaninovKN@rambler.ru
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov

Abstract. *Morphological analysis at the previous stage of research showed the possibility of creating a cascade divider of grain flow with a slit principle of autoregulation, the reduction in technological height was achieved by placing slit holes at an angle. The possible error of dividing such a device with an asymmetric supply of grain to a stabilizing tank is theoretically justified in this paper. Calculation of the volume of the mound of grain in asymmetric flow is carried out as for the volume of a truncated cone. The equations for finding the volume of the cone truncated by the side of the stabilizing capacity of the*

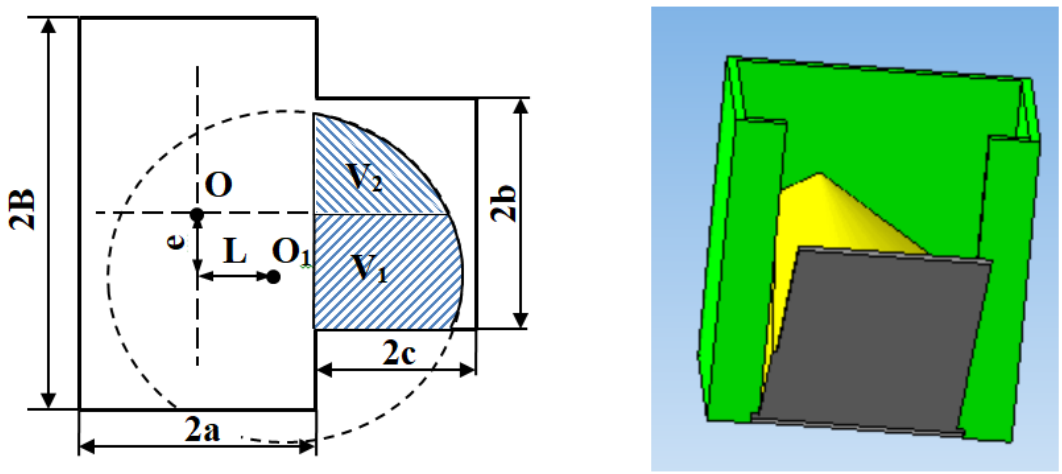
divider, the plane of placement of the slotted holes and the plane of separation of channels depending on the displacements of the cone from the center of the stabilizing capacity are obtained. The relationship of the error of flow separation from the deviations (in width and length of the stabilizing tank) from the symmetric grain feed is established. Spatial distribution curve of separation error is obtained. It was found that with asymmetric grain feeding within 25% of the width and length of the stabilizing capacity of the cascade divider, the separation error does not exceed 13%. The greatest influence on the division error is the flow offset in width. The displacement of the flow towards the far wall reduces the division error by more than two times with the same values of the displacement of the flow along the width. The main recommendation in the design of a cascade divider and its installation in the composition of grain cleaning equipment is the supply of grain, symmetrical in width, to the rear wall of the divider stabilizing tank.

Keywords :*grain flow divider, theoretical analysis, means of controlling the mass flow of grain.*

Введение. Для увеличения расходных характеристик делителя с шиберными системой авторегулирования нами был разработан каскадный делитель (Патент RU2520341) [1, 2]. Конструкция каскадного делителя позволяет увеличить расходные характеристики делителя с шиберными отверстиями[3], сохранив при этом технологическую высоту. Зерновой материал из стабилизирующей емкости попадает на наклонную плоскость расположения щелей. В отличие от шиберного делителя (где погрешность разделения давал только верхний незаполненный канал), в случае каскадного размещения стабилизирующих планок процесс истечения является более сложным. Соответственно, погрешность разделения потока зерна могут давать нижние каналы каскадного делителя. Для анализа возможной погрешности разделения потока сыпучих материалов необходимо провести теоретический анализ.

Материалы и методы. Вычисление объема насыпи зерна при ассиметричной подаче как объема усеченного конуса.

Результаты и их обсуждение. Примем, что поток зерна подается ассиметрично с отклонением по ширине (ось X) на величину (e), по длине (ось Y) на величину (L) (рисунок 1).



а) Вид сверху б) Общий вид

Рисунок 1 – Ассиметричная подача сыпучего материала в каскадный делитель

Тогда погрешность разделения (Δ) примем как усредненную разность объемов зерна (V_1и V_2), попадающие на плоскость размещения каскадных щелей в левый и правый канал делителя соответственно:

$$\Delta = \frac{V_1 - V_2}{V_{ср}}, \quad (1)$$

где

$$V_{ср} = \frac{V_1 + V_2}{2}.$$

Каждый из объемов (V_1и V_2) можно вычислить как объем конуса, усеченного плоскостью передней стенки делителя, плоскостью размещения каскадных щелей и плоскостями определяющими левый и правый канал делителя, через тройной интеграл, выбрав границы (x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2) и порядокобхода интегрирования (z→y→x).

Рассмотрим объем (V_1): его можно вычислить как объем конуса (2), усеченного несколькими плоскостями (Рисунок 2):

y=e; y=e-b; x=a-L; z=x-(a-L);

Уравнение конуса:

$$Z = H - tg(\alpha) \cdot \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (2)$$

где H – высота насыпи (конуса), м;

α –угол естественного откоса, град.

Верхний предел по оси (x) x_2 можно найти как пересечение линии конуса и линии направления каскадных щелей в точке T (при y=0):

$$Z_{(y=0)} = H - tg(\alpha) \cdot x,$$
$$Z_{(y=0)} = x + (L - a),$$

Следовательно

$$x_2 = \frac{H-(L-a)}{tg(\alpha)+1}.$$

Тогда получим границы интегрирования:

$$x_1 = a - L,$$
$$x_2 = \frac{H-(L-a)}{tg(\alpha)+1},$$
$$y_1 = e - b,$$
$$y_2 = e,$$
$$z_1 = x + (L - a),$$
$$z_2 = H - tg(\alpha) \cdot \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Выберем порядок обхода интегрирования: (z→y→x).

Тогда объем V_1 можно найти по формуле:

$$V_1 = \int_{a-L}^{\frac{H-(L-a)}{tg(\alpha)+1}} dx \int_{e-b}^{e} dy \int_{x+(L-a)}^{H-tg(\alpha)\cdot\sqrt{x^2+y^2}} dz. \quad (3)$$

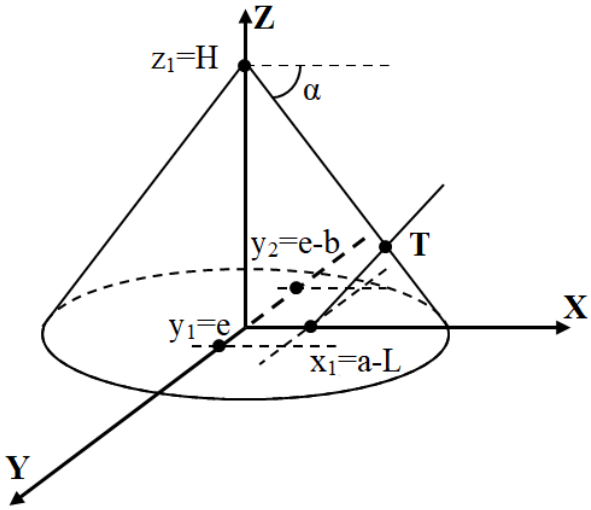


Рисунок 2 – Схема для нахождения объема V_1

Вычислим тройной интеграл (3) по частям:

1) (dz): $\int_{x+(L-a)}^{H-tg(\alpha)\cdot\sqrt{x^2+y^2}} dz = z\Big|_{x+(L-a)}^{H-tg(\alpha)\cdot\sqrt{x^2+y^2}} = H - tg(\alpha) \cdot \sqrt{x^2 + y^2} - x - (L - a),$

2) (dy): $\int_{e-b}^{e}\left(H - tg(\alpha)\cdot\sqrt{x^2+y^2} - x - (L-a)\right)dy = (H + a - \mathrm{L} - \mathrm{x})(\mathrm{e} - \mathrm{e} + \mathrm{b}) - tg(\alpha)(\frac{e}{2}\sqrt{x^2+e^2} - \frac{e-b}{2}\sqrt{x^2+(e-b)^2} + \frac{x^2}{2}\ln\left|e+\sqrt{x^2+e^2}\right| - \frac{x^2}{2}\ln\left||e-b|+\sqrt{x^2+e^2}\right|)$.

Обозначим:

$d_1 = \frac{H+a-L}{tg(\alpha)+1}$; $d_2 = a - L$.

Тогда окончательно вычислим объем V_1 как:

3) (dx): $V_1 = \int_{a-L}^{\frac{H-(L-a),}{tg(\alpha)+1}}(H + a - \mathrm{L} - \mathrm{x})(\mathrm{e} - \mathrm{e} + \mathrm{b}) - tg(\alpha)(\frac{e}{2}\sqrt{x^2+e^2} - \frac{e-b}{2}\sqrt{x^2+(e-b)^2} + \frac{x^2}{2}\ln\left|e+\sqrt{x^2+e^2}\right| - \frac{x^2}{2}\ln\left||e-b|+\sqrt{x^2+e^2}\right|)dx = (H+a-L)(d_1-d_2)b - \frac{{d_1}^2-{d_2}^2}{2}b - tg(\alpha)\frac{e}{2}\left(\frac{d_1}{2}\sqrt{{d_1}^2+e^2} - \frac{d_2}{2}\sqrt{{d_2}^2+e^2}\right) - \frac{e^3}{4}tg(\alpha)\left(\ln\left|d_1+\sqrt{{d_1}^2+e^2}\right| - \ln\left|d_2+\sqrt{{d_2}^2+e^2}\right|\right) + \frac{e-b}{2}tg(\alpha)\left(\frac{d_1}{2}\sqrt{{d_1}^2+(e-b)^2} - \frac{d_2}{2}\sqrt{{d_2}^2+(e-b)^2}\right) + \frac{(e-b)^3}{4}tg(\alpha)\left(\ln\left|d_1+\sqrt{{d_1}^2+(e-b)^2}\right| - \ln\left|d_2+\sqrt{{d_2}^2+(e-b)^2}\right|\right) - \frac{tg(\alpha)}{6}\left({d_1}^3\ln\left|e+\sqrt{{d_1}^2+e^2}\right| - {d_2}^3\ln\left|e+\sqrt{{d_2}^2+e^2}\right|\right) - \frac{tg(\alpha)}{12}e\left(d_1\sqrt{{d_1}^2+e^2} - d_2\sqrt{{d_2}^2+e^2}\right) + \frac{tg(\alpha)}{12}e^3\left(\ln\left|d_1+\sqrt{{d_1}^2+e^2}\right| - \ln\left|d_2+\sqrt{{d_2}^2+e^2}\right|\right) + \frac{tg(\alpha)}{6}\left({d_1}^3\ln\left||e-b|+\sqrt{{d_1}^2+(e-b)^2}\right| - {d_2}^3\ln\left||e-b|+\sqrt{{d_2}^2+(e-b)^2}\right|\right) + \frac{tg(\alpha)}{12}|e-b|\left(d_1\sqrt{{d_1}^2+(e-b)^2} - d_2\sqrt{{d_2}^2+(e-b)^2}\right) - \frac{tg(\alpha)}{12}|e-b|^3\left(\ln\left|d_1+\sqrt{{d_1}^2+(e-b)^2}\right| - \ln\left|d_2+\sqrt{{d_2}^2+(e-b)^2}\right|\right)$.

Аналогичным образом найдем объем V_2:

$$V_2 = \int_{a-L}^{\frac{H-(L-a),}{tg(\alpha)+1}}dx\int_{e}^{e+b}dy\int_{x+(L-a)}^{H-tg(\alpha)\cdot\sqrt{x^2+y^2}}dz. \quad (4)$$

Для анализа возможной погрешности деления (Δ) примем следующие параметры делителя и зернового вороха: b=0,3 м; a = 0,2 м; H=0,6 м; α=30^0.

Тогда для переменных значений ((e) и (L)) отклонений от симметричной подачи получим следующие значения погрешностей деления (Δ) (Рисунок 3).

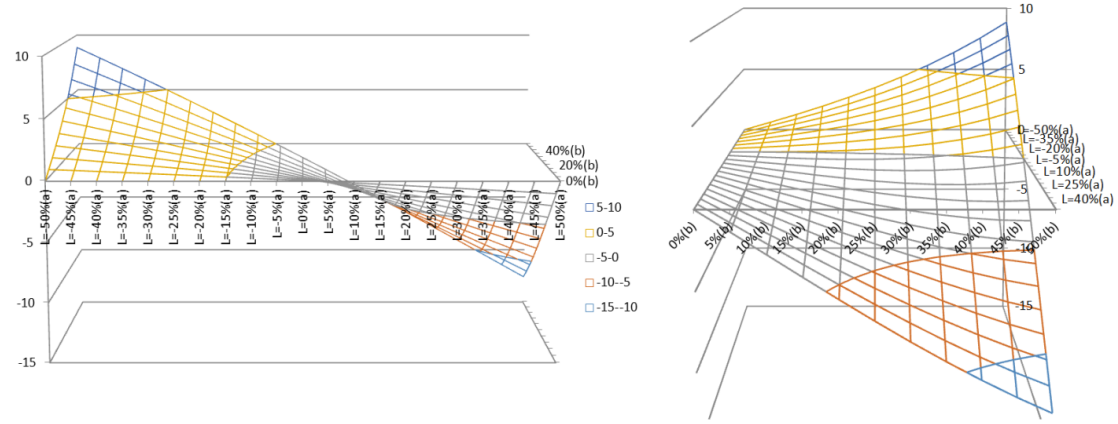


Рисунок 3 – Зависимость погрешности деления (Δ) от ассиметричности подачи зерна (значений (e) и (L)) в стабилизирующую емкость при принятых параметрах каскадного делителя.

Выводы. 1) Теоретический анализ показал, что при ассиметричной подаче зерна в пределах 25% ширины и длины стабилизирующей емкости каскадного делителя погрешность разделения не превышает 13%;

2) Наибольшее влияние на погрешность деления (Δ) дает смещение потока по ширине– величина (е);

3) При одинаковых значениях смещения потока по ширине (е) смещение потока в сторону дальней стенки снижает погрешность деления более чем в два раза, поэтому основной рекомендацией при проектировании каскадного делителя и его монтажа в состав зерноочистительного оборудования будет: симметричная по ширине подача зерна к задней стенке стабилизирующей емкости делителя.

Список литературы

1. Пат. 2520341 Российская Федерация, МПК С1, А01F12/44. Устройство для разделения потока сыпучих материалов// Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов. – 2012145368/13; Заявлено 24.10.2012; Опубл. 20.06.14. Бюлл. №17.

2. Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. Морфологический анализ устройств для управления массовыми потоками зерна // Наука в центральной России. – 2019. – №1(37), – С. 11-19.

3. Пат. 2459405 Российская Федерация, МПК С1, А01F12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н. - 2011110258/13; Заявлено 17.03.2011; Опубл. 27.08.2012. Бюл. №24.

References

1. Pat. 2520341 Rossijskaya Federaciya, MPK S1, A01F12/44. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchih materialov// N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov. – 2012145368/13; Zayavleno 24.10.2012; Opubl. 20.06.14. Byull. №17.

2. Anashkin A.V., Tishaninov K.N. Morfologicheskij analiz ustrojstv dlya upravleniya massovymi potokami zerna // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – №1(37), – S. 11-19.

3. Pat. 2459405 Rossijskaya Federaciya, MPK S1, A01F12/46. Ustrojstvo dlya razdeleniya potoka sypuchih materialov // Tishaninov N.P., Tishaninov K.N. - 2011110258/13; Zayavleno 17.03.2011; Opubl. 27.08.2012. Byul. №24.

Поступила в редакцию: 29.04.2019
Принята к публикации: 30.05.2019

УДК 631.333 (547.992:631.878)

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ БУРОГО УГЛЯ

Тетерин Владимир Сергеевич,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: Labio-giant@mail.ru
Новиков Николай Николаевич,
кандидат сельскохозяйственных наук, ВРИО директора, e-mail:novikov-nn.vnims@yandex.ru
Гайбарян Михаил Арутюнович,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Институт технического обеспечения сельского хозяйства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Костенко Михаил Юрьевич,
доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин,
e-mail: kostenko.mihail2016@yandex.ru
ФГБНУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

Реферат. *Одним из основных источников сырья для получения гуминовых удобрений является бурый уголь. Его предварительное измельчение является важной технологической операцией, повышающей эффективность процесса извлечения гуминовых и фульвокислот, что положительно сказывается на качестве получаемых удобрений. Учеными ИТОСХ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ был разработан измельчитель бурого угля ИРИ-200, входящий в состав*

универсальной технологической линии по производству гуминовых удобрений. В данной работе показаны теоретические расчеты основных параметров измельчителя. Рассмотрены процессы, проходящие в камере измельчителя во время его работы, оказывающие разрушающие воздействие на поступающее сырьё. Выделено 4 этапа движения куска бурого угля в измельчителе. Получено дифференциальное уравнение, описывающее его движение. На основании полученного выражения проведено исследование траекторий движения куска бурого угля с помощью программы Math Cad Express Prime 4.0. В результате анализа полученных данных были построены математические модели движения частицы бурого угля, на основе которых были определены оптимальные параметры камеры измельчения. При радиусе камеры измельчения 0,12 м, оптимальная высота камеры измельчения находится в пределах от 0,45 м до 0,5 м, в зависимости от частоты вращения вала и массы подаваемых в неё кусков бурого угля, размеры частиц на выходе из измельчителя составляют 50-500 мкм.

Ключевые слова: *измельчитель, бурый уголь, гуминовые удобрения, теоретическое обоснование*

THEORETICAL JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND OPERATING MODES OF CHARCOAL CRUSHER

Teterin Vladimir,
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: Labio-giant@mail.ru
Novikov Nikolay,
Candidate of Agricultural Sciences, a.i. director of ITSA – affiliated branch of FSAC VIM,
e-mail: Novikov-NN.vnims@yandex.ru
Gaybaryan Mikhail,
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, e-mail: gnu@vnims.rzn.ru
Institute of Technical Support of Agriculture – affiliated branch of FSAC VIM
Kostenko Mikhail,
Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Metal Technology and Machinery Repair, e-mail: kostenko.mihail2016@yandex.ru
FSBEI HE Ryazan State University Named after P.A. Kostychev

Abstract. *One of the main sources of raw materials for the production of humic fertilizers is brown coal. Its preliminary grinding is an important technological operation that increases the efficiency of the extraction of humic and fulvic acids, which has a positive effect on the quality of the fertilizers obtained. Scientists has developed a grinder for brown coal IRI-200, which is part of a universal technological line for the production of humic fertilizers. Theoretical calculations of the main parameters of the shredder are shown in this paper. The processes taking place in the chopper chamber during its operation that have a destructive effect on the incoming raw materials are considered. Four stages of the movement of a piece of brown coal in a chopper were identified. The study of the trajectories of a piece of brown coal was carried out using the Math Cad Express Prime 4.0 program. based on the expression. Mathematical models of the movement of brown coal particles were constructed as a result of the analysis of the obtained data, on the basis of which the optimal parameters of the grinding chamber were determined. The optimal height of the grinding chamber is in the range from 0.45 m to 0.5 m, depending on the frequency of rotation of the shaft and the mass of pieces of brown coal fed into it with a grinding chamber radius of 0.12, particle size at the outlet of the grinder is 50-500 microns.*

Key words: *shredder, brown coal, humic fertilizers, theoretical substantiation*

Введение. В настоящее время в связи с увеличением спроса на экологически чистую сельскохозяйственную продукцию возрастает роль ведения органического земледелия. Россия с точки зрения потенциала развития данного вида земледелия является безусловным лидером. Однако переход на органическое сельское хозяйство наиболее остро ставит проблему обеспечения растениеводства элементами питания, так как согласно нормотивно-правовым документам в органическом земледелии запрещено использовать агрохимикаты, пестициды, в том числе:

минеральные удобрения, синтетические гербициды, фунгициды, инсектициды, регуляторы роста и т.п., что в свою очередь может привести к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

В таком случае особый интерес приобретает разработка элементов агротехнологий по использованию почвоулучшающих веществ и регуляторов роста природного происхождения, в том числе гуминовых удобрений, позволяющих получать более высокие и стабильные урожаи сельскохозяйственных культур [1, 2].

Одним из основных источников органического сырья для получения гуминовых удобрений является бурый уголь. Он характеризуются повышенным содержанием фенольных, карбоксильных и гидроксильных групп, наличием свободных гуминовых кислот.

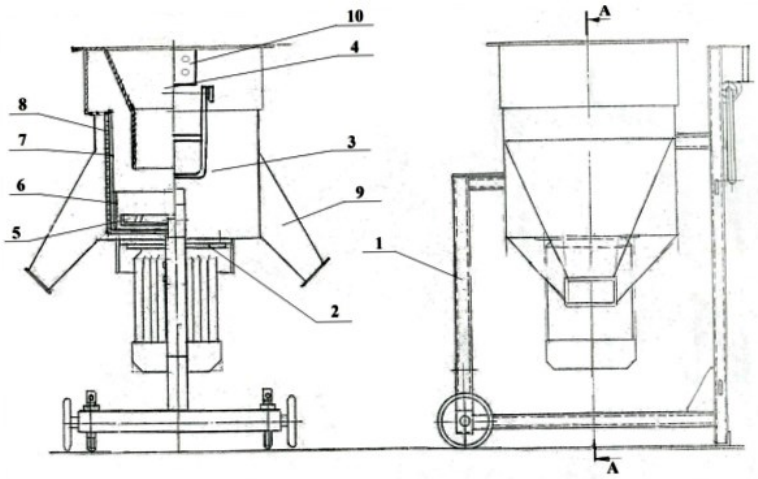
Следует отметить, что биологическая активность гуминовых удобрений во многом определяется их качеством, которое, в свою очередь, зависит от выбранной технологии производства и оборудования для их получения.

При производстве гуминовых удобрений из бурого угля первой технологической операцией является предварительная подготовка сырья. Она заключается в сортировке исходного сырья и его измельчении. Эта операция имеет очень важное значение, так как размер частиц напрямую влияет на процесс извлечения гуминовых и фульвокислот из исходного сырья, а значит и на качество получаемых гуминовых удобрений [3].

Учеными ИТОСХ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ был разработан измельчитель бурого угля ИРИ-200, входящий в состав универсальной технологической линии по производству гуминовых удобрений.

Материалы и методы. Измельчитель относится к роторно-инерционным устройствам вертикального типа и предназначен для получения стабильных результатов по измельчению бурого угля с влажностью не более 21 % для более эффективного экстрагирования гуминовых кислот в составе технологии [4]. Для этого были проведены теоретические расчеты основных параметров данного устройства.

На рисунке 1 представлена конструктивная схема измельчителя. Он состоит из рамы, электродвигателя, корпуса, загрузочной воронки, ножа, обечайки, сетки, стакана, патрубка выгрузного и пульта управления.



1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – корпус измельчителя; 4 – загрузочная воронка; 5 – нож; 6 – обечайка; 7 – сетка; 8 – стакан; 9 – патрубоквыгрузочный; 10 – пульт управления

Рисунок 1 – Конструктивная схема роторно-инерционного измельчителя

Измельчитель работает следующим образом. Предварительно отсортированный бурый уголь загружается в измельчитель. Перед загрузкой включается электродвигатель. Загрузка осуществляется через воронку равномерно небольшими порциями. Измельчаемый материал попадает на нож, вращающийся с угловой скоростью $\omega_н$, и подвергается интенсивному измельчению.

Результаты и их обсуждение. В процессе работы измельчителя в нем происходят следующие процессы: при попадании куска бурого угля в камеру измельчения в начальный момент происходит удар ножа по куску угля. В следующий момент кусок угля, получивший энергию от соударения, будет находиться в свободном полете до соударения со стенкой камеры, затем будет происходить соударение куска угля с внутренней стенкой камеры измельчителя, следующий этап – это либо прохождение измельченных частиц через сетку, либо повторный удар куска бурого угля о нож. Таким образом у нас возникает 4 этапа движения куска бурого угля.

При взаимодействии куска бурого угля с ножом измельчителя будем считать, что удар будет абсолютно не упругим. Поэтому потеря кинетической энергии ножа будет идти в основном на деформацию (разрушение) куска бурого угля.

Тогда теорема об изменении кинетической энергии системы (нож плюс кусок бурого угля) [5, 6] будет выглядеть следующим образом:

$$E_{kн} - E_{kк} = \frac{m_н \cdot m_к}{2(m_н + m_к)}(v_н - v_к)^2, \quad (1)$$

где $E_{kн}$ – кинетическая энергия ножа, Дж;

$E_{kк}$ - кинетическая энергия куска бурого угля, Дж;

$m_н$– приведенная масса ножа, кг;

$m_к$ – масса куска бурого угля, кг;

$v_н$ – окружная скорость ножа, м/с;

$v_к$ – начальная скорость куска бурого угля, м/с.

Для определения энергии затраченной на разрушение куска бурого угля рассмотрим совершаемую при этом работу. Работу на разрушение можно найти, исключив из общей работы измельчителя бурого угля работу холостого хода и работу на транспортировку измельченного продукта:

$$A_p = A_{общ} - A_{х.х.} - A_{трансп}, \quad (2)$$

где $A_{общ.}$ – общая работа измельчителя бурого угля, Дж;

$A_{х.х.}$– работа холостого хода, Дж;

$A_{трансп.}$ – работа, затрачиваемая на транспортировку измельченного материала, Дж.

Так как работа равна энергии затрачиваемой на разрушение куска бурого угля, то получим:

$$A_p = P_к \frac{m_к}{W} - P_{х.х.} \frac{m_к}{W} - f \cdot m_к g \cdot \pi R_{к.и.}, \quad (3)$$

При абсолютно неупругом ударе двух поступательно движущихся тел – нож и кусок бурого угля – происходит изменение скорости движения куска угля, скорость изменения движения ножа будет незначительной.

Примем следующее допущение: представим кусок бурого угля как материальную точку. Рассмотрим движение осколков куска бурого угля в «свободном полете» на примере одного куска (рисунок 2).

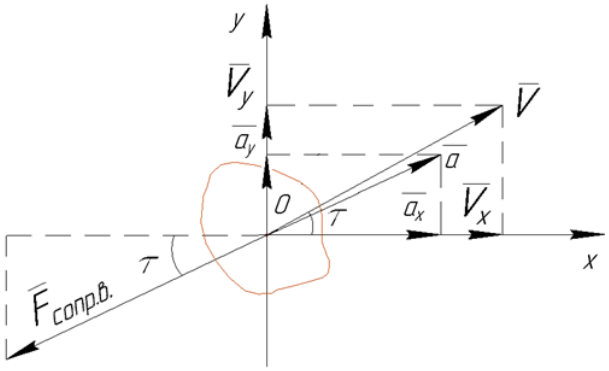


Рисунок 2 – Схема действия сил на кусок бурого угля в «свободном полете»

Дифференциальное уравнение движения куска бурого угля в «свободном полете» запишем в следующем виде:

$$\begin{cases} m_к \dfrac{d^2x}{dt_к^2} = -F_{x.сопр.в.} \\ m_к \dfrac{d^2y}{dt_к^2} = -G - F_{y.сопр.в.} \end{cases}, \quad (4)$$

где $F_{x.сопр.в.}$ и $F_{y.сопр.в.}$ – проекции силы сопротивления воздуха на оси x и y, Н.

G – вес куска бурого угля, Н.

Перенесем члены уравнения в одну сторону, подставим значение $F_{сопр.в.}$,G и разделив всё на $m_к$ получим:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2x}{dt_к^2} + \dfrac{R_в}{m_к}\left(\dfrac{dx}{dt_к}\right)^2 = 0 \\ \dfrac{d^2y}{dt_к^2} + \dfrac{R_в}{m_к}\left(\dfrac{dy}{dt_к}\right)^2 + g = 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где $R_в$ – коэффициент сопротивления воздуха, Н/(м2/с2);

$v_{кх}$ – скорость горизонтального перемещения куска бурого угля, м/с;

$v_{ку}$ – скорость вертикального перемещения куска бурого угля, м/с.

Заменив $\dfrac{R_в}{m_к}$ на k_2 и проинтегрировав получим:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt_к} = -\dfrac{m_к}{R_в(t_к - C_1)} \\ \dfrac{dy}{dt_к} = -\dfrac{\sqrt{g}}{k} tg(k\sqrt{g}t_к + C_2) \end{cases}, \quad (6)$$

где $t_к$ – время полета осколка куска бурого угля, с.

Для определения постоянных коэффициентов уравненияC1, C2, подставим начальные условия t0=0, x=x0, vx=v0x, vy=v0y и проинтегрируем:

$$\begin{cases} C_1 = \dfrac{m_к}{R_в v_{0x}} \\ C_2 = -arctg\left(\dfrac{k}{\sqrt{g}} v_{0y}\right) \end{cases}, \quad (7)$$

Разделим переменные и проинтегрируем:

$$\begin{cases} v_{кx} = -\dfrac{m_к}{R_в(t_к - C_1)} \\ v_{кy} = -\dfrac{\sqrt{g}}{k} tg(k\sqrt{g}t_к + C_2) \end{cases}, \quad)$$

Так как $v_{кx}$=dx/dt, $v_{кy}$=dy/dt, разделив переменные и проинтегрировав, получим:

$$\begin{cases} x = -\dfrac{m_к}{R_в}\ln|t_к - C_1| + x_0 \\ y = \sqrt{\dfrac{gm_к}{R_в}}\cdot\ln\left|\cos\left(t_к\cdot\sqrt{\dfrac{R_в g}{m_к}} + C_2\right)\right| + y_0 \end{cases}, \quad (9)$$

Подставим полученные значенияС1 и С2 в уравнение (9), получим:

$$\begin{cases} x = -\dfrac{m_к}{R_в}\ln|t - \dfrac{m_к}{R_в v_{0x}}| + x_0 \\ y = \sqrt{\dfrac{gm_к}{R_в}}\cdot\ln\left|\cos\left(t_к\cdot\sqrt{\dfrac{R_в g}{m_к}} - arctg\left(\dfrac{k}{\sqrt{g}}v_{0y}\right)\right)\right| + y_0 \end{cases}, \quad)$$

где y – вертикальное перемещение куска бурого угля, м;y_0 – начальное положение куска бурого угля по вертикали, м; $m_к$ – масса куска бурого угля, кг; v_0 – начальная скорость куска бурого угля, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2; x – горизонтальное перемещение куска бурого угля, м;

x_o – начальное положение куска бурого угля по горизонтальной оси, м.

На основании полученного выражения было проведено исследование траекторий движения с помощью программы Math Cad Express Prime 4.0.

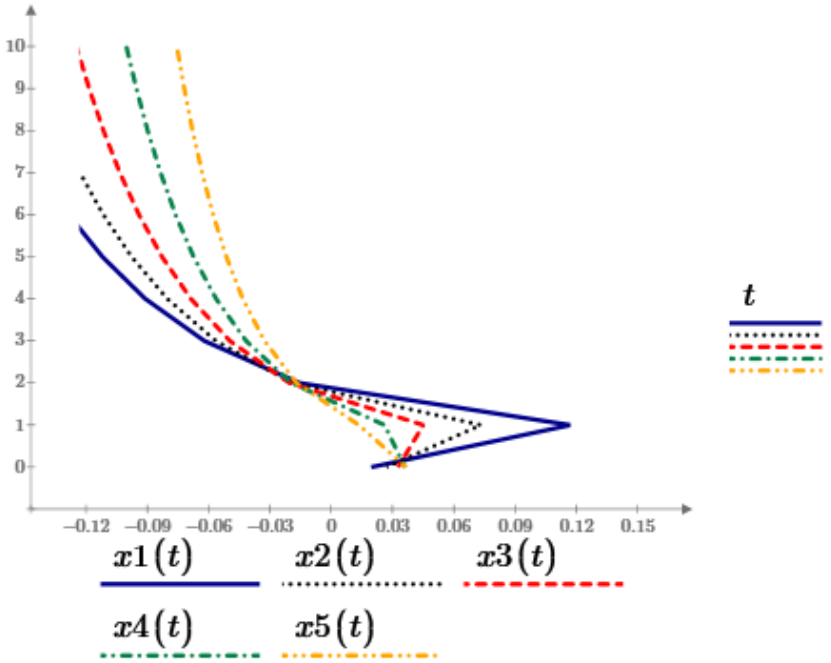


Рисунок 3 – Траектория движения куска бурого угля в горизонтальной плоскости

На графике (рисунок 3) показано движение частицы бурого угля вдоль оси x после неупругого удара о нож. После удара кусок движется до соударения со стенкой камеры измельчителя, а затем после разрушения оставшиеся частицы повторно попадают на нож и движутся к противоположной стороне камеры измельчителя. Частицы, измельченные до 50-500 мкм, проходят через сетку камеры измельчения и выгружаются.

Значение массы куска бурого угля: m1=0.07 кг, m2=0.06 кг, m3=0.05 кг, m4=0.04 кг, m5=0.03 кг. Радиус камеры измельчения составлял 0,12 м.

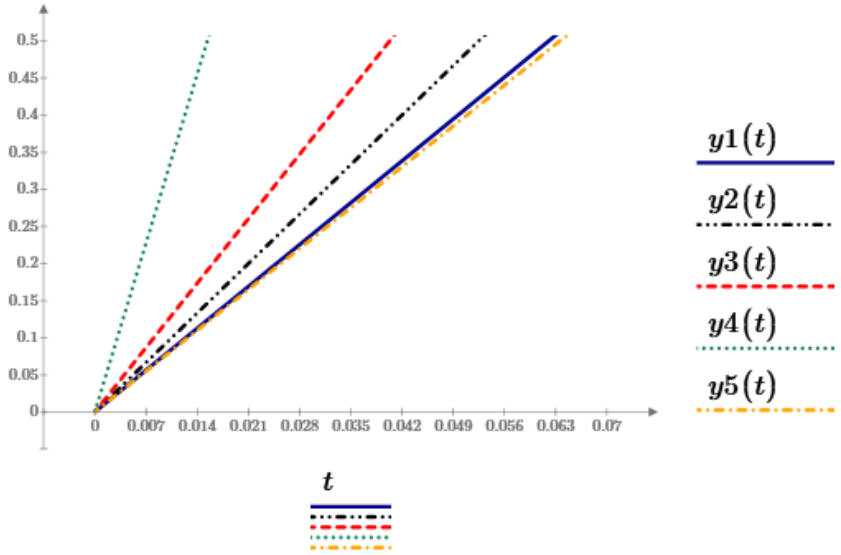


Рисунок 4 – Траектория движения куска бурого угля в вертикальной плоскости

На графике (рисунок 4) видно движение куска бурого угля вдоль оси y после неупругого удара о нож. После удара кусок по данной траектории движется до соударения со стенкой камеры измельчителя, а затем, после разрушения, оставшиеся частицы повторно падают на нож. Проанализировав полученную траекторию можно установить оптимальную высоту камеры измельчения, она находиться в пределах от 0,45 м до 0,5 м в зависимости от частоты вращения вала и массы подаваемых в неё кусков бурого угля.

Заключение. При производстве гуминовых удобрений из бурого угля наиболее важной технологической операцией является предварительная подготовка сырья, а именно его измельчение, так как размер частиц исходного сырья напрямую влияет на процесс извлечения гуминовых и фульвокислот, а значит и на качество получаемых гуминовых удобрений. Наиболее оптимальным является измельчение бурого угля до размерности частиц 50-500 мкм. Измельчение бурого угля менее 50 мкм и более 1000 мкм нецелесообразно, так как измельчение менее 50 мкм приводит к дополнительным энергозатратам и потерям сырья, а более 1000 мкм – приводит к снижению степени взаимодействия частиц угля со щелочью и как следствие снижению выхода гуминовых и фульфокислот.

В результате исследования были рассмотрены процессы, проходящие в камере измельчителя во время его работы. Рассмотренные процессы оказывают разрушающие воздействие на поступающее сырьё (бурый уголь). В результате анализа полученных данных были построены математические модели движения частицы бурого угля, на основе которых были определены оптимальные параметры камеры измельчения.

Таким образом, разработанная конструкция измельчителя является оптимальной для предварительной подготовки сырья, при производстве гуминовых удобрений на основе бурого угля.

Список литературы

1. Костенко М.Ю., Горячкина И.Н., Тетерин В.С., Гапеева Н.Н., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В. Анализ применения различных видов гуматов и способов их использования при возделывании картофеля. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2018. № 3 (39). С. 88-93.

2. Тетерин В.С. Эффективность предпосадочной обработки семян картофеля гуминовыми препаратами // Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства: Материалы 52-й

Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 200-летию со дня рождения профессора Ярослава Альбертовича Линовского. Под редакцией В.Г. Сычева. 2018. С. 189-191.

3. Жирнов Б.С. Кинетика извлечения гуминовых кислот из бурого угля Тюльганского месторождения // Башкирский химический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 169-172.

4. Гайбарян М.А., Сидоркин В.И., Гапеева Н.Н., Ларин Д.М. Измельчитель бурого угля для подготовки сырья при производстве гуминовых удобрений // Инновации в АПК: стимулы и барьеры: сб. ст. по материалам участников междунар. науч.- практ. конф. 21 июня 2017 г. Рязань. - М.: Из-во «Научный консультант». 2017. С. 50-54.

5. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004. 75 с.

6. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., . Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 2. М.: Наука. 1985. 560 с.

References

1. Kostenko M.YU., Goryachkina I.N., Teterin V.S., Gapeeva N.N., Novikov N.N., Mitrofanov S.V. Analiz primeneniya razlichnyh vidov gumatov i sposobov ih ispol'zovaniya pri vozdelyvanii kartofelya. // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2018. № 3 (39). S. 88-93.

2. Teterin V.S. Effektivnost' predposadochnoj obrabotki semyan kartofelya guminovymi preparatami // Agroekologicheskie i ekonomicheskie aspekty primeneniya sredstv himizacii v usloviyah biologizacii i ekologizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: Materialy 52-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh, specialistov-agrohimikov i ekologov, posvyashchennoj 200-letiyu so dnya rozhdeniya professora YAroslava Al'bertovicha Linovskogo. Pod redakciej V.G. Sycheva. 2018. S. 189-191.

3. ZHirnov B.S. Kinetika izvlecheniya guminovyh kislot iz burogo uglya Tyul'ganskogo mestorozhdeniya // Bashkirskij himicheskij zhurnal. – 2009. – T. 16. – № 2. – S. 169-172.

4. Gajbaryan M.A., Sidorkin V.I., Gapeeva N.N., Larin D.M. Izmel'chitel' burogo uglya dlya podgotovki syr'ya pri proizvodstve guminovyh udobrenij // Innovacii v APK: stimuly i bar'ery: sb. st. po materialam uchastnikov mezhdunar. nauch.- prakt. konf. 21 iyunya 2017 g. Ryazan'. - M.: Iz-vo «Nauchnyj konsul'tant». 2017. S. 50-54.

5. Borshchev V.YA. Oborudovanie dlya izmel'cheniya materialov: drobilki i mel'nicy: uchebnoe posobie. Tambov: Izd-vo TGTU, 2004. 75 s.

6. Bat' M.I., Dzhanelidze G.YU., . Kel'zon A.S. Teoreticheskaya mekhanika v primerah i zadachah. T. 2. M.: Nauka. 1985. 560 s.

Поступила в редакцию: 18.04.2019
Принята к публикации: 24.05.2019

УДК 631.017.3: 621.181

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ СОИ НА СНИЖЕНИЕ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Шувалов Анатолий Михайлович,
доктор технических наук, профессор, e-mail:vniti@mail.ru
Машков Алексей Николаевич,
кандидат технических наук, e-mail: vniiti@mail.ru
Чернов Денис Серафимович,
кандидат технических наук, e-mail: vniiti@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов

Реферат. *Ранее был разработан новый способ гидротермической обработки сои с комбинированным нагревом: сверху инфракрасными излучателями, снизу - электронагревательной поверхностью вибрационного транспортера, при котором сокращается*

время нагрева сои до заданной температуры, повышается производительность обработки в 1,4 раза, снижается расход электроэнергии на 29,3%, по сравнению с односторонним нагревом инфракрасными излучателями. Разработана конструктивно-технологическая схема системы охлаждения темперированной сои, обоснованы ее параметры и создан действующий образец. Экспериментальные исследования системы охлаждения показали, что наблюдается линейная зависимость степени охлаждения от времени движения сои в рабочей камере. Из-за отсутствия *отдельного вибропривода для транспортера камеры охлаждения* скорость движения сои в охлаждающей камере жестко «привязана» к скорости движения ее в высокотемпературной рабочей камере. Установлено, что увеличение времени обдува сои в камере охлаждения возможно за счет удлинения желоба и крышки вибрационного транспортера. *Показано, что другим способом дополнительного снижения температуры и обеспечения нормируемого значения температуры охлажденной сои является увеличение подачи воздуха в камеру охлаждения. Экспериментально установлено, что равноценных результатов можно добиться, увеличивая желоб образца охлаждающей камеры на 0,75 м или подачу воздуха (до 20 м^3/мин). Технико-экономические расчеты показали, что более выгодно удлинить камеру охлаждения, а не увеличивать расход охлаждающего воздуха.*

Ключевые слова: *соя, система охлаждения, термическая обработка, комбинированный нагрев*

INFLUENCE OF TIME OF COOLING OF SOY ON DECREASE IN ITS TEMPERATURE

Shuvalov Anatoliy,
Full Doctor of Technical Sciences, professor, e-mail: vniiti@mail.ru
Mashkov Alexey,
Candidate of Technical Sciences, e-mail: vniiti@mail.ru
Chernov Denis,
Candidate of Technical Sciences, e-mail: vniiti@mail.ru
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov

Abstract. *A new method of hydrothermal treatment of soybeans with combined heating: from above by infrared emitters, from below - the electrical heating surface of the vibrating conveyor was developed earlier, which reduces the heating time of soybeans to a predetermined temperature, reduces processing performance by 1.4 times, reduces power consumption by 29.3 %, compared with one-sided heating with infrared emitters. The design and technological scheme of the tempered soybean cooling system was developed, its parameters were justified and a valid sample was created. Experimental studies of the cooling system showed that there is a linear dependence of the degree of cooling on the time of movement of soybean in the working chamber. The speed of movement of soybeans in the cooling chamber is rigidly "tied" to the speed of its movement in the high-temperature working chamber due to the lack of a separate vibrating drive for the cooling chamber conveyor. It has been established that an increase in the soybean blowing time in the cooling chamber is possible by lengthening the chute and the cover of the vibrating conveyor. It is shown that another way to further reduce the temperature and provide a normalized temperature value for cooled soybean is to increase the air supply to the cooling chamber. It was established experimentally that equivalent results can be achieved by increasing the chute of the sample of the cooling chamber by 0.75 m or the air supply (up to 20 m^3 / min). Technical and economic calculations have shown that it is more profitable to lengthen the cooling chamber, and not to increase the flow rate of cooling air.*

Keywords: *soy, power, cooling system, heat treatment, the combined heating*

Введение. Общеизвестно, что для удаления из зерна сои антипитательных веществ широко применяют в нашей стране и за рубежом ее тепловую обработку.

Наиболее эффективным способом удаления антипитательных веществ считается микронизация сои. Объясняется это тем, что в процессе микронизации для нагрева применяются инфракрасные источники тепла. Как известно лучистый теплообмен является наиболее эффективным среди способов теплопередачи. Недостатком микронизации сои является неравномерность прогрева, так как инфракрасные источники располагаются сверху над нагреваемым материалом. Неравномерности прогрева способствует также тепловая инерционность зерна сои.

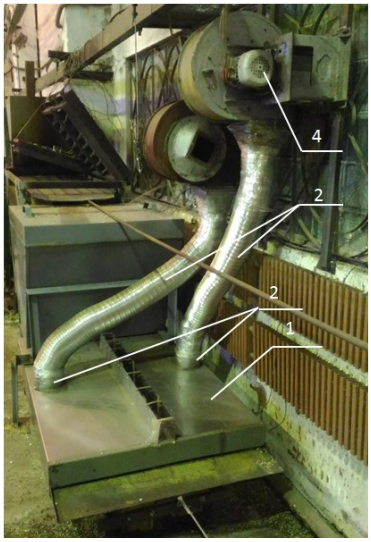
В ФГБНУ ВНИИТиН разработан новый способ гидротермической обработки сои [1, 2], включающий двухсторонний нагрев сои: сверху инфракрасными источниками излучения, снизу – электронагревательной поверхностью транспортирующего устройства. Двухсторонний нагрев за счет перераспределения тепловых потоков позволяет сократить время разогрева сои до заданной температуры на 40 %, в этой же пропорции увеличить производительность обработки, равномерно прогревать зерно, снизить верхний предел допустимой температуры (вместо 140-145 °С при инфракрасном нагреве до 125-130 °С при двухстороннем), повысить качество обработанного зерна и снизить энергозатраты за счет сокращения времени нагрева до допустимой температуры на 29,3 % [3, 4].

Результаты и их обсуждение. Для реализации этого способа обоснованы параметры системы энергообеспечения, разработана конструктивная схема, эскизные чертежи установки с комбинированным нагревом сои, выполненной на базе вибрационного транспортера. Создан действующий экспериментальный образец установки. Проведены исследования энергетических и режимных параметров системы энергообеспечения, вибрационного транспортера. Разработаны, созданы и исследованы рекуператор теплоты и температор – специальный теплоизолированный бункер для отстоя сои. Разработана конструктивная схема и создан действующий экспериментальный образец системы охлаждения темперированной сои. [5, 6].

В результате многофакторных экспериментов получено уравнение регрессии, устанавливающее взаимосвязь режимных параметров: влажность сои, времени разогрева и времени выдержки в температоре, а также получено уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь режимных параметров вибрационного транспортера: частоты колебаний, угла наклона и амплитуды колебаний. Определено уравнение теплового баланса, обоснован требуемый тепловой поток установки для термической обработки сои. Разработана методика расчета конструктивных параметров температора – теплоизолированного бункера для отстоя сои. Обоснованы параметры рекуператора для отбора теплоты от нагретой сои, а также обоснован коэффициент теплоотдачи от нагретой и увлажненной сои к стенке теплообменника.

Однако исследования показали, что температура сои на выходе из температора после удаления антипитательных веществ достигает 95-105 °С. С такой температурой сою нельзя отправлять на склад для хранения, то есть ее надо охладить.

Для этих целей разработана конструктивно-технологическая схема системы охлаждения темперированной сои, обоснованы ее параметры и создан действующий образец (рисунки 1, 2).



1 – камера охлаждения; 2 – патрубки для соединения с воздуховодами;
3 – воздуховоды; 4 – приточный вентилятор

Рисунок 1 – Действующий экспериментальный образец системы охлаждения темперированной сои

Система охлаждения сои выполнена на базе бесприводного вибрационного траспортера (рисунок 2). Транспортирующее устройство вибрационного транспортера 1 и верхняя крышка 2 образуют прямоугольный воздуховод 3 – камеру охлаждения. Для подачи воздуха в камеру охлаждения предусмотрен центробежный вентилятор 6 Ц4-70 №5. Вентилятор сочленен двумя гофрированными воздуховодами 5 с патрубками верхней крышки 4.

Вибропривод для вибрационного транспортера камеры охлаждения не предусмотрен, что позволяет экономить энергозатраты. Колебания желоба его осуществляются от вибропривода первого транспортера высокотемпературной рабочей камеры посредством сочленения его тросом через вращающиеся блоки с желобом первого транспортера. При этом мощность электропривода первого транспортера (рассчитанная лишь на один транспортер) не увеличена, так используется для совершения колебаний второго желоба реактивная энергия пружин вибропривода первого транспортера.

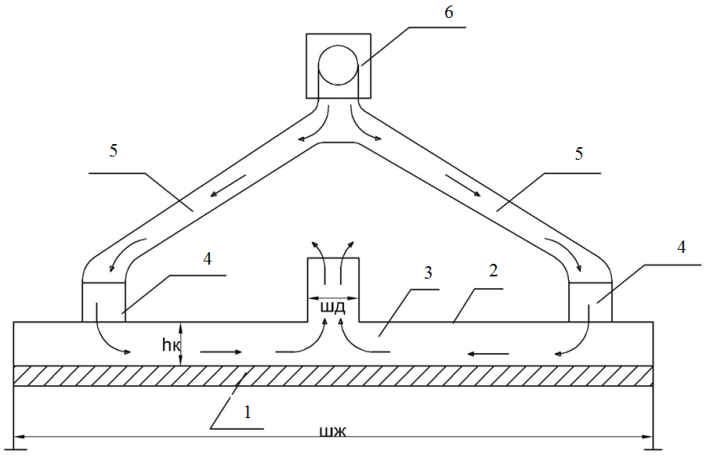


Рисунок 2 – Схема поперечного разреза камеры охлаждения сои

Принцип работы системы охлаждения следующий. После отстоя в температоре горячая соя (110-100 °С) захватывается из температора специальным устройством вибротранспортера вентилятором 6, воздух через гофрированные рукава 5 подается в охлаждающую камеру 3, движется по ней, соприкасаясь с горячей соей. За счет конвективного теплообммена воздух подогревается отобранной теплотой от сои. В середине верхней крышки на всю длину транспортера предусмотрен дефлектор (шд), через который удаляется отработанный воздух.

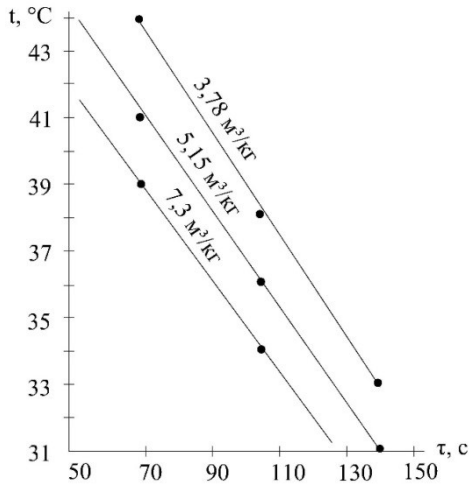


Рисунок 3 – Изменение температуры охлаждаемой сои в функции времени

Экспериментальные исследования системы охлаждения сои показывают, что существенное влияние на снижение температуры сои оказывает время движения (обдува воздухом) ее в охлаждающей камере. При этом наблюдается линейная зависимость степени охлаждения от времени движения сои в рабочей камере, то есть чем больше времени соя находится в рабочей камере под воздействием охлаждающего воздуха, тем больше она охлаждается.

И так как скорость движения сои в охлаждающей камере изменить нельзя, ибо она при поточной технологии термической обработки сои жестко «привязана» к скорости движения ее в высокотемпературной рабочей камере, то увеличение времени обдува сои в камере охлаждения можно лишь удлинением желоба и крышки вибрационного транспортера. Исследования и расчеты показали, что время нахождения сои в камере охлаждения для действующего экспериментального образца должно быть не менее 105 с. В результате исследований и расчетов установлено, что для τ = 105 с необходимо иметь длину охлаждающей камеры 2,25 м, то есть требуется удлинить камеру охлаждения на 0,75 м.

Другим способом дополнительного снижения температуры и обеспечения нормируемого значения температуры охлажденной сои является увеличение подачи воздуха в камеру охлаждения.

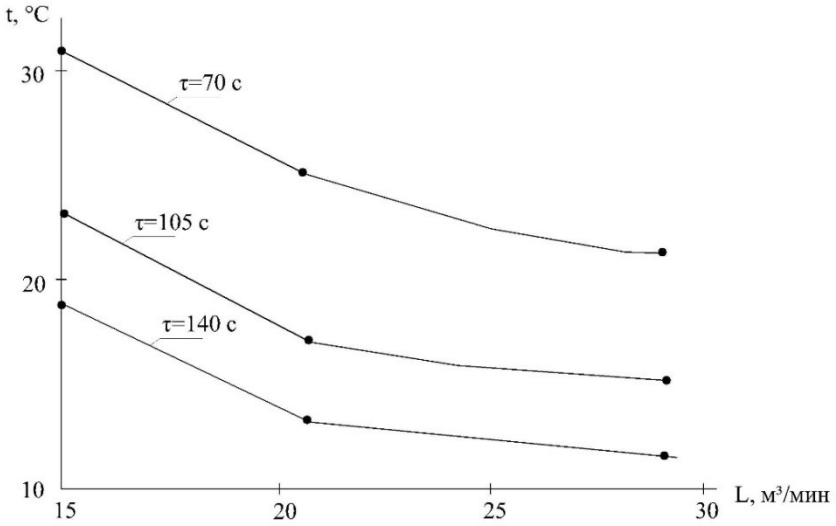


Рисунок 4 – Изменение температуры охлаждаемой сои в функции расхода воздуха

Исследования показали (рисунок 4), что при подаче воздуха от 15 м^3/мин идет более интенсивный процесс охлаждения сои. Кривые изменения $t_{сои}=f(\tau)$ на этом участке круто падающие, а с 25 м^3/мин до 30 м^3/мин кривая изменения температуры пологая. Из этого следует, что рекомендуемой величиной подачи воздуха в камеру охлаждения является 20 м^3/мин.

Однако следует отметить, что с увеличением подачи воздуха при сохранении одного и того же аэродинамического сопротивления в вентиляционной сети потребуется увеличение мощности электродвигателя вентилятора. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Мощность на валу электродвигателя вентилятора определяется по формуле

$$P = \frac{L \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{в} \cdot \eta_{п}},$$

где L – подача вентилятора, м^3/ч; H – развиваемое давление вентилятора, Н/м^2; $\eta_{в}$, $\eta_{п}$ – КПД вентилятора и привода вентилятора.

Если рабочее колесо вентилятора посажено на вал электродвигателя, то $\eta_{п}$=1. Для малых расходов воздуха $\eta_{в}$=0,7.

Сравним как влияет прирост подачи воздуха на увеличение мощности двигателя вентилятора.

Используя экспериментальные данные, расход воздуха принимался 900 м^3/ч и 1200 м^3/ч. Для этих значений мощность двигателя составит

$$P_{900} = 0{,}53\,\text{кВт}$$
$$P_{1200} = 0{,}69\,\text{кВт}$$

Прирост мощности ΔP=0,69–0,53=0,16 кВт.

Если в сезон термообработка сои длится 3000 ч, то дополнительный расход электроэнергии составит

$$\Delta N=3000\cdot 0{,}16=480\ \text{кВт}\cdot\text{ч}$$

Энергозатраты при тарифе 1 кВт·ч равным 5,5 руб составят

$$З=480\cdot 5{,}5=2640\ \text{руб.}$$

Выше указано, что для обеспечения рекомендуемого значения температуры сои после охлаждения необходимо удлинить камеру охлаждения на 0,75 м. Дополнительные капвложения на ее удлинение не превысят ΔK=2000 руб. Срок окупаемости дополнительных капвложений на удлинение охлаждающей камеры с учетом отчислений на реновацию составляет 0,86 года.

Заключение. Таким образом, сравнивая два способа охлаждения сои до требуемого значения температуры приходим к выводу: выгодно удлинить камеру охлаждения, а не увеличивать расход охлаждающего воздуха.

Список литературы

1. Шувалов А.М., Чернов Д.С., Машков А.Н., Калинин В.Ф. Перспективы применения комбинированного электронагрева зерна сои для удаления антипитательных веществ. // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3(16). – С. 75–77.

2. Шувалов А.М., Тишанинов Н.П., Машков А.Н., Чернов Д.С. Энергоэффективная установка для термической обработки сои // Сельский механизатор. – 2016.–№ 6. –С. 30-31.

3. Шувалов А.М., Чернов Д.С., Машков А.Н., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А. Теоретический анализ тепловых процессов в системе энергообеспечения с комбинированным нагревом зерна сои. // Наука в центральной России. –2015. – №2 (14). – С. 12–21.

4. Шувалов А.М., Чернов Д.С., Машков А.Н., Калинин В.Ф. Оценка энергетической эффективности применения комбинированного нагрева зерна сои // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – №2(19). – С. 46–51.

5. Шувалов А.М., Чернов Д.С., Машков А.Н., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А. Энергоэкономный способ термообработки сои //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – №3. – С. 7–8.

6. Шувалов А.М., Анашкин А.В, Машков А.Н., Чернов Д.С. Перспективы применения вибрационного транспортера для системы энергообеспечения с комбинированным электронагревом зерна сои // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – №4 (19). – С. 218–222.

References

1. SHuvalov A.M., CHernov D.S., Mashkov A.N., Kalinin V.F. Perspektivy primeneniya kombinirovannogo elektronagreva zerna soi dlya udaleniya antipitatel'nyh veshchestv. // Vestnik VIESKH. – 2014. – №3(16). – S. 75–77.

2. SHuvalov A.M., Tishaninov N.P., Mashkov A.N., CHernov D.S. Energoeffektivnaya ustanovka dlya termicheskoj obrabotki soi // Sel'skij mekhanizator. – 2016.–№ 6. –S. 30-31.

3. SHuvalov A.M., CHernov D.S., Mashkov A.N., SHulaev G.M., Votanovskaya N.A. Teoreticheskij analiz teplovyh processov v sisteme energoobespecheniya s kombinirovannym nagrevom zerna soi. // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№2 (14). – S. 12–21.

4. SHuvalov A.M., CHernov D.S., Mashkov A.N., Kalinin V.F. Ocenka energeticheskoj effektivnosti primeneniya kombinirovannogo nagreva zerna soi // Vestnik VIESKH. – 2015. – №2(19). – S. 46–51.

5. SHuvalov A.M., CHernov D.S., Mashkov A.N., SHulaev G.M., Votanovskaya N.A. Energoekonomnyj sposob termoobrabotki soi //Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 2015. – №3. – S. 7–8.

6. SHuvalov A.M., , Anashkin A.V, Mashkov A.N., CHernov D.S. Perspektivy primeneniya vibracionnogo transportera dlya sistemy energoobespecheniya s kombinirovannym elektronagrevom zerna soi // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – 2016. – №4 (19). – S. 218–222.

Поступила в редакцию: 29.04.2019
Принята к публикации: 31.05.2019

УДК 629.023

УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АМОРТИЗАТОРА АВТОМОБИЛЯ

Доровских Дмитрий Владимирович
кандидат технических наук, доцент, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru
Глазков Юрий Евгеньевич
кандидат технических наук, доцент, e-mail: glazkov_yura1@mail.ru
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Реферат. *Анализ развития автомобильного транспорта показывает, что оно связано с широким использованием электрической энергии для обеспечения рабочих процессов автомобиля и управления ими с применением современной микропроцессорной электроники. Возможность управления плавностью хода автомобиля и, рекуперацию энергии его колебаний предусматривает создание энергоэффективной подвески. В качестве электромагнитного амортизатора (ЭМА) предложено использовать электрическую цилиндрическую линейную машину (ЦЛМ) для обеспечения высокой надежности, управляемости, низких энергозатрат на управление; plug - n - play (установил-и-работает) возможности; необходимого коэффициента демпфирования. Для определения электрических и силовых параметров ЭМА была разработана математическая модель. Разработанная математическая модель колебаний центра масс автомобиля позволит рассчитывать динамические свойства подвески при проектировании и производстве новых автомобилей, а также при разработке систем управления подвеской. При построении модели вертикальных колебаний автомобиля учтено влияние фазовой задержки колебаний задней оси относительно передней на колебания центра масс, и получены аналитические зависимости вертикальных ускорений центра масс автомобиля от воздействия дорожной поверхности на оси. Проведенные экспериментальные исследования показали, что, разработанный ЭМА имеет свойство преобразовывать энергию механических колебаний в электрическую энергию с возможностью управления силой на штоке актуатора. Разработанный ЭМА может быть использован, как управляемый демпфирующий элемент с функцией энергосбережения, на широком спектре автотранспортных средств.*

Ключевые слова: *автомобиль, амортизатор, математическая модель, подвеска.*

THE REFINED MATHEMATICAL MODEL OF THE ELECTROMAGNETIC SHOCK ABSORBER OF THE CAR

Dorovskikh Dmitriy,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru
Glazkov Yurij,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor e-mail: glazkov_yura1@mail.ru
Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education «Tambov state technical university», Tambov

Abstract. *Analysis of the development of road transport shows that it is associated with the widespread use of electric energy to ensure the working processes of the car and control them using modern microprocessor electronics. The ability to control the smoothness of the car and the recovery of the energy of its vibrations involves the creation of an energy-efficient suspension. Electric cylindrical linear machine (*ЦЛМ*) to ensure high reliability, manageability, low energy consumption for management; plug-n-play (installed-and-running) features; required damping coefficient proposed to use as an electromagnetic shock absorber (ЭМА). A mathematical model was developed to determine the electrical and power parameters of the ЭМА. The developed mathematical model of the oscillations of the center of mass of the car will allow to calculate the dynamic properties of the suspension in the design and production of new cars, as well as in the development of systems for controlling the suspension. The influence of the phase delay of the rear*

axle oscillations relative to the front on the oscillations of the center of mass is taken into account when building a model of vertical oscillations of a car, and analytical dependences of the vertical accelerations of the center of mass of the car on the effect of the road surface on the axis are obtained. Experimental studies have shown that the developed EMA has the ability to convert the energy of mechanical vibrations into electrical energy with the ability to control force on the actuator rod. The developed EMA can be used as a controlled damping element with energy saving function on a wide range of vehicles.

Keywords: car, absorber, mathematical model, suspender.

Введение. Одним из путей повышения эффективности использование энергии на транспорте является создание автомобиля с возможностью эффективно управлять затратами энергии и преобразованием ее во всех системах.

Подвеска – система, которая влияет на плавность движения автомобиля и является одним из источников потерь энергии, за счет преобразование энергии колебаний автомобиля в тепло, которое безвозвратно рассеивается в окружающей среде. Создание энергоэффективной подвески может дать возможность управления плавностью хода и, одновременно, осуществлять рекуперацию энергии колебаний автомобиля.

Одним из важных эксплуатационных показателей является средняя техническая скорость автомобиля. При движении по дороге с покрытием плохого качества, водитель вынужден снижать скорость из-за увеличения уровня вертикальных ускорений, чтобы избежать потери управления или выхода из строя автомобиля. Уменьшение скорости приводит к тому, что ДВС начинает работать в режиме с меньшей топливной экономичностью, то есть затраты топлива возрастают. Здесь можно проследить прямую связь между колебаниями подвески и затратами топлива. Современная подвеска, с точки зрения энергозатрат, должна иметь два свойства: быть управляемой и энергоэффективной.

Исполнительные устройства электромагнитной подвески электромобиля должны отвечать следующим базовым критериям: высокая надежность; управляемость; низкие энергозатраты на управление; plug - n - play (установил-и-работает) возможности; обеспечение необходимого коэффициента демпфирования.

Исходя из этих критериев, в качестве электромагнитного амортизатора (ЭМА) имеет смысл использовать электрическую цилиндрическую линейную машину (ЦЛМ).

Материалы и методы. В работе использованы положения классической теории моделирования процессов, принципы построения многосекционных трехфазных цилиндрических линейных машин.

Результаты и их обсуждение. Для использования в автомобильной отрасли наиболее эффективными и практичными являются трехфазные цилиндрические линейные машины (ЦЛМ) на постоянных магнитах [3, 6, 7]. По сравнению с обычными электрическими машинами они имеют лучшие энергетические и температурные характеристики. Кроме того, если рассматривать ЦЛМ с точки зрения использования в автомобиле, они как нельзя лучше отвечают особенностям конструкции подвески благодаря цилиндрической форме, которая совпадает с формой обычного амортизатора [8]. Это позволяет расматривать использования ЦЛМ как plug-n-play устройство [9]. В работах [4] и [5] предлагается использовать ЦЛМ в качестве амортизатора вместе с пружиной, а габаритные параметры устройства позволяют заменить традиционный амортизатор в передней стойке без изменения конструкции подвески.

Использование в подвеске автомобиля ЦЛМ как plug-n-play устройств накладывает некоторые ограничения на их конструкцию и массо-габаритные параметры. Кроме того, ЦЛМ должен обеспечивать достаточную для демпфирования колебаний силу на штоке и работоспособность во всем эксплуатационном температурном диапазоне.

Для определения электрических и силовых параметров была разработана математическая модель работы ЭМА, которую рассмотрим подробнее. Так как исполнительное устройство является симметричной трехфазной электрической машиной, и нагрузки фаз будем считать симметричным, то эквивалентную электрическую схему можно строить для одной фазы (рисунок 1) [1].

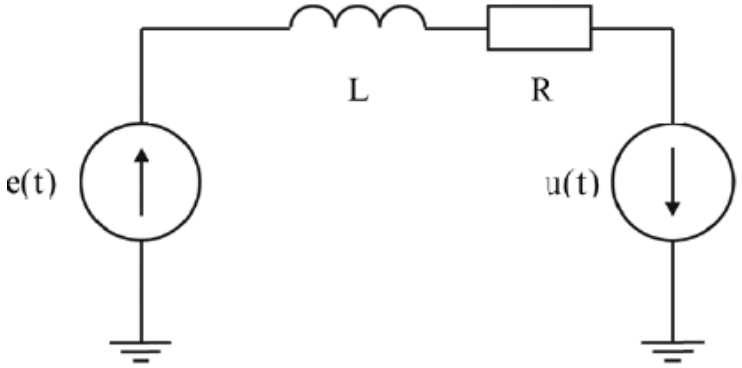


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема фазы ЭМА

Для этого контура можно записать:

$$L\frac{di(t)}{dt}+Ri(t)=e(t)+u(t), \quad (1)$$

где L – индуктивность контура;

$i(t)$ - ток в контуре;

R – активное сопротивление контура;

$e(t)$ – ЭДС индукции;

$u(t)=k_{EPC}e(t)$ – источник приложенного к обмоткам напряжения пропорциональное ЭДС индукции;

k_{EPC} – коэффициент усиления ЭДС индукции. Рассмотрим случай, когда система работает в режиме без использования внешнего источника напряжения, то есть $k_п=0$.

Индукцию магнитной сборки Халбаха, которая меняется во времени, в общем виде можно записать как:

$$B(t)=B_0\cos\left(\omega t+n\frac{2\pi}{3}\right), \quad (2)$$

где B_0 – амплитуда магнитной индукции;

ω - частота изменения магнитной индукции;

n – коэффициент сдвига фаз трехфазной системы.

Магнитный поток будет функцией времени [2] и будет иметь вид:

$$\Phi(t)=SB_0\cos\left(\omega t+n\frac{2\pi}{3}\right), \quad (3)$$

где S - площадь, которую пересекает магнитный поток.

Исходя из закона электромагнитной индукции Фарадея, запишем:

$$e(t)=-k\frac{d\Phi(e)}{dt}, \quad (4)$$

где k – конструктивный коэффициент электрической машины, знак «–» указывает, что ЭДС самоиндукции создает ток, магнитное поле которого мешает росту магнитного потока через контур.

Подставим (1) до (3) и продифференцируем по времени

$$e(t)=-kSB_0\left[-\sin\left(\omega t+n\frac{2\pi}{3}\right)\right]\omega\cdot \quad (5)$$

Тогда выражение для $e(t)$ будет иметь вид:

$$e(t)=-E_m\sin\left(\omega t+n\frac{2\pi}{3}\right), \quad (6)$$

где $E_m=kSB_0\omega$.

Тогда перепишем, формула (1) примет вид:

$$L\frac{di(t)}{dt}+Ri(t)=E_m\sin\left(\omega t+n\frac{2\pi}{3}\right)\cdot \quad (7)$$

Перейдем к символьной форме представления синусоидальной величины (6):

$$j\omega L I_m + R I_m = E_m e^{jn\frac{2\pi}{3}} \; ; \tag{8}$$

$$I_m = \frac{E_m}{Z} e^{j\left(n\frac{2\pi}{3} - \varphi\right)} \; , \tag{9}$$

где $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$;

$\varphi = arctg \dfrac{\omega L}{R}$.

Из (8) вернемся к записи во временной области

$$i(t) = \frac{E_m}{Z} \sin\left(\omega t + n\frac{2\pi}{3} - \varphi\right). \tag{10}$$

Запишем выражение силы Ампера для n-й фазы:

$$f_n(t) = i(t) B(t) l \sin\alpha \, , \tag{11}$$

где α - угол между вектором индукции и контуром;

l – длина обмотки, которую пересекает вектор индукции.

Подставим (2) и (10) в (11)

$$\begin{aligned} f_n(t) &= \frac{E_m}{Z} \sin\left(\omega t + n\frac{2\pi}{3} - \varphi\right) B_0 \cos\left(\omega t + n\frac{2\pi}{3}\right) l \sin\alpha = \\ &= F_0 \sin\left(\omega t + n\frac{2\pi}{3} - \varphi\right) \cos\left(\omega t + n\frac{2\pi}{3}\right), \end{aligned} \tag{12}$$

где $F_0 = \dfrac{E_m}{Z} B_0 l \sin\alpha$.

Сила Ампера, которая образует сопротивление движению магнитной системы вдоль обмоточной части, является переменной во времени величиной, поэтому общая сила сопротивления может быть определена, как сумма трех переменных сил с учетом угла сдвига между фазами электрической машины.

Коэффициент сдвига фаз трехфазной системы n будет равен: n = 0, для фазы А; n = 1, для фазы В; n = -1, для фазы С.

Запишем выражения силы Ампера для каждой из фаз:

$f_{\text{A}}(t) = F_0 \sin(\omega t - \varphi) \cos(\omega t)$;

$f_{\text{B}}(t) = F_0 \sin\left(\omega t + \dfrac{2\pi}{3} - \varphi\right) \cos\left(\omega t + \dfrac{2\pi}{3}\right)$;

$f_{\text{C}}(t) = F_0 \sin\left(\omega t - \dfrac{2\pi}{3} - \varphi\right) \cos\left(\omega t - \dfrac{2\pi}{3}\right)$.

Сложим силы и получим общую силу на штоке:

$$f(t) = F_0\left(-\frac{3}{2}\right) \sin\varphi \, , \tag{13}$$

где знак «–» означает, что сила направлена против движения магнитной части.

Как можно увидеть из (13) сила на штоке прямо пропорциональна значению синуса угла сдвига фаз между током и напряжением в кругу φ . Для увеличения значение $\sin\varphi$ внесем в круг дополнительную индуктивность $L_{\text{доп}}$ и активное сопротивление $R_{\text{доп}}$. Тогда значение для угла φ запишем как:

$$\varphi = arctg \frac{\omega\left(L + L_{\text{доп}}\right)}{\left(R + R_{\text{доп}}\right)} .$$

Полное сопротивление круга запишем как:

$$Z = \sqrt{\left(R + R_{\text{доп}}\right)^2 + \omega^2 (L + L_{доп})^2} \; .$$

Для случая, когда $k_{EPC} > 0$ в уравнении (1) необходимо учесть влияние дополнительного источника напряжения, которое будет обеспечивать повышение силы на штоке ЭМА. В соответствии с принципом наложения, ток в обмотке будет определяться не только составляющей ЭДС индукции, но и величиной приложенного напряжения, поэтому общая сила на штоке будет состоять из силы, возникающей благодаря ЭДС индукции и силы, вызванной приложенным напряжением.

Опираясь на разработанную математическую модель и исследования [5], для использования ЦЛМ в качества ЭМА было решено построить трехфазную многосекционную машину с комбинированной обмоткой (рисунок 2).

Рисунок 2 – Экспериментальный прототип ЭМА

Проведенные экспериментальные исследования показали, что разработанный ЭМА имеет свойство преобразовывать энергию механических колебаний в электрическую энергию с возможностью управления силой на штоке актуатора. Разработанная математическая модель ЦЛМ с квази-Халбах магнитной структурой позволяет исследовать пассивный и активный режимы работы ЭМА и определять конструкционные параметры опытного образца.

Заключение. Разработанная математическая модель колебаний центра масс автомобиля позволит рассчитывать динамические свойства подвески при проектировании и производстве новых автомобилей, а также при разработке систем управления подвеской. При построении модели вертикальных колебаний автомобиля учтено влияние фазовой задержки колебаний задней оси относительно передней на колебания центра масс, и получены аналитические зависимости вертикальных ускорений центра масс автомобиля от воздействия дорожной поверхности на оси. Разработанный электромагнитный амортизатор может быть использован, как управляемый демпфирующий элемент с функцией энергосбережения, на широком спектре автотранспортных средств.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники М.: Высшая школа. 1996. 638 с.
2. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм М: Наука. 1970 г. 384 с.
3. Хитерер М.Я., Овчинников И.Е. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. СПб.: КОРОНА принт. 2004. 368 с.
4. Gysen B., Jansen J., Paulides J., Lomonova E. Design aspects of an active electromagnetic suspension system for automotive applications //Industry Applications, IEEE transactions on, vol.45 – 2009 – pp. 1589–1597.
5. Gysen B., Paulides J., Encica L., Lomonova E.. Slotted tubular permanent magnet actuator for active suspension systems // The 7th International Simposium on Linear Drives for Industry Applications. Vol. 9 –2009 – pp. 292–295.

6. Salem I.B., Amraoui Ouni L.El,. Benrejeb M, Gillon F., Brochet P. Modelling and control strategies for a tubular permanent-magnet linear synchronous motor drive system // Electromotion EPE Chapter «Electric Drives» Joint Symposium, 1-3 July 2009. – 2009. – Lille.
7. Ioana-Cornelia Vese, Mircea M. Radulescu. Direct thrust control scheme for a tubular linear brushless permanent-magnet actuator //Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series. – 2010. –№34. – pp. 92 – 96.
8. J.A.Allen. Design of active suspension control based upon use of tubular linear motor and quarter-car model: master's thesis . Texas A&M University. 2008. 137 p.
9. J. Janssen. Design of active suspension using electromagnetic devices: master's thesis. Eindhoven University of Technology. 2006. 96 p.

References

1. Bessonov L.A. Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki M.: Vysshaya shkola. 1996. 638 s.
2. Zil'berman G.E. Elektrichestvo i magnetizm M: Nauka. 1970 g. 384 s.
3. Hiterer M.YA., Ovchinnikov I.E. Sinhronnye elektricheskie mashiny vozvratno-postupatel'nogo dvizheniya. SPb.: KORONA print. 2004. 368 s.
4. Gysen B., Jansen J., Paulides J., Lomonova E. Design aspects of an active electromagnetic suspension system for automotive applications //Industry Applications, IEEE transactions on, vol.45 – 2009 – pp. 1589–1597.
5. Gysen B., Paulides J., Encica L., Lomonova E.. Slotted tubular permanent magnet actuator for active suspension systems // The 7th International Simposium on Linear Drives for Industry Applications. Vol. 9 –2009 – pp. 292–295.
6. Salem I.B., Amraoui Ouni L.El,. Benrejeb M, Gillon F., Brochet P. Modelling and control strategies for a tubular permanent-magnet linear synchronous motor drive system // Electromotion EPE Chapter «Electric Drives» Joint Symposium, 1-3 July 2009. – 2009. – Lille.
7. Ioana-Cornelia Vese, Mircea M. Radulescu. Direct thrust control scheme for a tubular linear brushless permanent-magnet actuator //Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series. – 2010. –№34. – pp. 92 – 96.
8. J.A.Allen. Design of active suspension control based upon use of tubular linear motor and quarter-car model: master's thesis . Texas A&M University. 2008. 137 p.
9. J. Janssen. Design of active suspension using electromagnetic devices: master's thesis. Eindhoven University of Technology. 2006. 96 p.

Поступила в редакцию: 12.04.2019
Принята к публикации: 17.05.2019

УДК 631.33.022.6

РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ ОРГАНОВ К ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКЕ ДЛЯ ПОСЕВА ПО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Зубарев Андрей Геннадьевич,
аспирант
Ларюшин Николай Петрович,
доктор технических наук, профессор, e-mail: larushinnp@mail.ru
Шуков Александр Васильевич,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: Sashka-shukov@yandex.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет» г. Пенза

Реферат. *Наиболее распространенные в посевных машинах двухдисковые сошники не обеспечивают равномерную заделку семян по глубине и длине рядка. Для решения проблемы качественного посева семян зерновых культур в Пензенском ГАУ разработан, изготовлен и испытан экспериментальный двухдисковый сошник с направителем семян и бороздным прикатывающим катком. В работе описаны его конструкция и принцип работы. Испытания сошника, установленного на сеялке СЗ-5.4 в условиях КФХ «Антоново» Иссинского района Пензенской области в 2019 году на сорте яровой пшеницы «Архат» показали, что при его*

использовании формируется ровное дно борозды без засыпания почвой, семена укладываются на дно борозды с заданной глубиной их заделки, не раскатываясь по борозде. Вероятностные кривые распределения семян по длине рядка серийного и экспериментального сошников, построенные по экспериментальным данным, показали, что неравномерность распределения семян по длине рядка у экспериментальных сошников составила – 26,8%, у серийных – 39,5%. Количество участков у экспериментального и серийного сошников составляет, соответственно: пустых 1% и 2,5%; с одним семенем 50% и 22%, с 2 семенами по 35 %. Разработанный сошник позволит увеличить урожайность зерновых культур на 11%.

Ключевые слова: *сеялка, сошник, направитель семян, прикатывающий каток, урожайность*

DEVELOPMENT OF WORKING AUTHORITIES FOR GRAIN SEEDER FOR CROPS ON RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

Zubarev Andrei
postgraduate
Laryushin Nikolay
doctor of technical Sciences, Professor, e-mail: larushinnp@mail.ru
Shukov Alexander
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: Sashka-shukov@yandex.ru
FSBEI HE «Penza state agrarian University», Penza

Abstract. *Dual disc coulters, the most common in sowing machines, do not provide uniform seed embedding along the depth and length of the row. An experimental two-disc coulter with a seed guide and a furrowing roller is designed, manufactured and tested at the Penza State Agrarian University to solve the problem of high-quality sowing of grain crops. Its design and principle of operation are described in the work. Tests of the opener installed on the SZ-5.4 planter in the Antonovo farm in the Issinsky district of the Penza region in 2019 on the spring wheat variety "Arkhat" showed that the flat bottom of the furrow without falling asleep by the soil is formed when it is used, the seeds are stacked on the bottom of the furrow with the specified the depth of their embedment, not rolling along the groove. Probabilistic distribution of seeds along the row of serial and experimental coulters, based on experimental data, showed that the uneven distribution of seeds along the row of experimental coulters was - 26.8%, for serial - 39.5%. The serial number of plots in experimental and serial coulters is, respectively: empty 1% and 2.5%; with one seed 50% and 22%, with 2 seeds of 35%. The developed coulter will increase the yield of grain crops by 11%.*

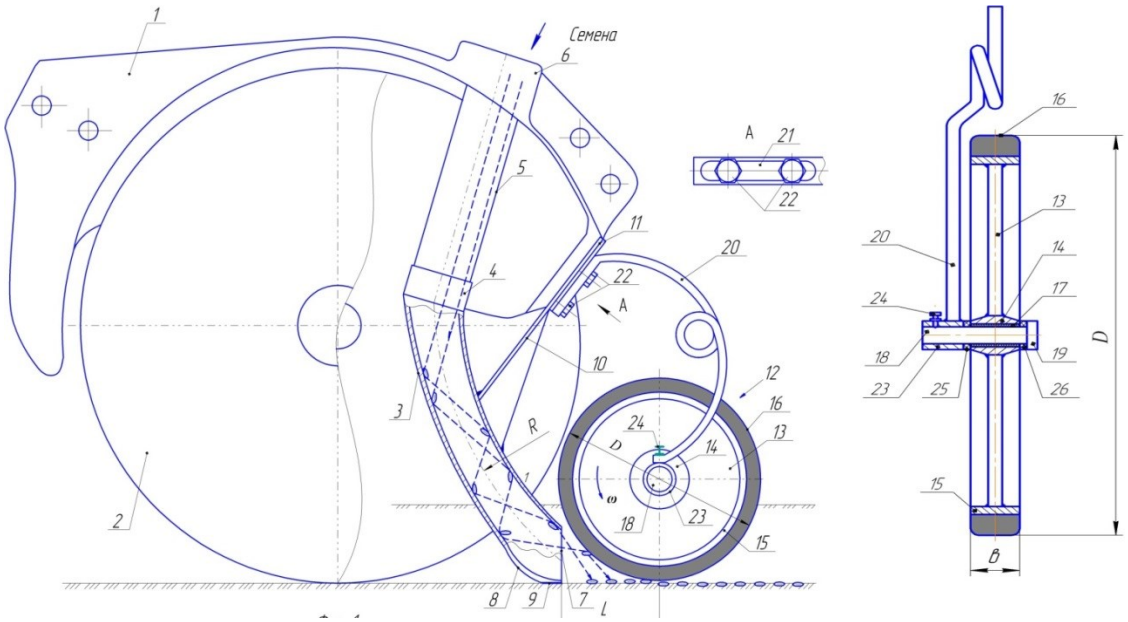
Keywords: *seeder, coulter, seed guide, press roller, yield.*

Введение. Решением проблем качественного посева семян зерновых культур и вопросами создания эффективных рабочих органов сеялок занимаются многие отечественные и зарубежные ученые. В настоящее время наибольшее распространение в посевных машинах нашли двухдисковые сошники, при исследовании которых не учитывалось образование дна борозды и раскатывание семян по дну борозды, в связи с этим, при их работе, они не в полной мере отвечают агротехническим требованиям к посеву.

Для решения проблемы качественного посева семян зерновых культур в Пензенском ГАУ разработан, изготовлен и испытан экспериментальный двухдисковый сошник с направителем семян и бороздным прикатывающим катком. На данную конструкцию высевающего аппарата подана заявка на патент РФ № 2018146243 от 24.12.2018 г.

Материалы и методы. Методика конструирования экспериментального двухдискового сошника разрабатывалась на основе анализа существующих технологических способов и технических средств механизации посева семян зерновых культур с учетом общепринятых методик оценки качества выполнения технологического процесса посевными машинами: ГОСТ 31345–2007 «Сеялки тракторные. Методы испытаний»; СТО АИСТ 5.6–2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения. Общие требования».

Результаты и их обсуждение. При использовании экспериментального двухдискового сошника получен следующий результат: формируется ровное дно борозды без засыпания почвой, семена укладываются на дно борозды с заданной глубиной их заделки, при этом семена не раскатываются по борозде. Все это приводит к улучшению качества высева семян, повышению урожайности культуры и снижению себестоимости продукции.



а) общий вид сошника *б) схема прикатывающего катка*

1 – корпус; 2 – диск; 3 – направитель; 4 – раструб; 5 – воронка; 6 – горловина; 7 – отверстие; 8 – криволинейный клин; 9 – пятка сброса,10 – кронштейн; 11 – чистики, 12- прикатывающий каток; 13- диск;14- ступица; 15 – обод; 16 – шина; 17 – подшипник; 18 – ось; 19 – головка оси; 20 – пружинная стойка; 21 – продольный паз; 22 – винтовое соединение

Рисунок 1 – Схема сошника

Сошник содержит корпус 1 (рисунок 1), два диска 2, установленные под углом друг к другу на корпусе 1, при этом направитель семян выполнен как единое целое из трубы 3 прямоугольного сечения, при этом труба 3 прямоугольного сечения отогнута в сторону противоположную движения сошника, при этом ось симметрии трубы 3 прямоугольного сечения выполнена радиусом *R*=150...160 мм, при этом продольно-вертикальная плоскость симметрии трубы 3 прямоугольного сечения совпадает с продольно-вертикальной плоскостью симметрии сошника, при этом ширина трубы 3 прямоугольного сечения равна 14 мм, а высота – 25 мм, при этом труба 3 прямоугольного сечения выполняет одновременно функции направителя семян и рыхлителя, при этом верхняя часть трубы 3 прямоугольного сечения присоединена неподвижно раструбом 4 к воронке 5 горловины 6 корпуса 1 сошника, при этом труба 3 прямоугольного сечения в нижней части имеет выходное отверстие 7 прямоугольной формы, при этом ширина выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения равна 11 мм, а высота – 30 мм, при этом зазоры между дисками 2 сошника и боковыми поверхностями трубы 3 прямоугольного сечения, замеренные около режущих кромок задней части дисков 2 сошника, не менее 12 мм с каждой стороны боковой поверхности трубы 3 прямоугольного сечения, при этом ниже выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения установлен, с помощью сварки, криволинейный клин 8, при этом ширина пятки 9 криволинейного клина 8 равна ширине трубы прямоугольного сечения 14 мм, при этом средняя часть трубы 3 прямоугольного сечения закреплена неподвижно к корпусу 1 сошника с помощью кронштейна 10, установленного по месту крепления внутренних чистиков 11 дисков сошника, при этом сзади выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения установлен бороздной прикатывающий каток 12 (Рис.1), при этом продольно-вертикальная плоскость симметрии бороздного прикатывающего катка 12 совпадает с продольно вертикальной плоскостью симметрии трубы 3 прямоугольного сечения, при этом бороздной прикатывающий каток 12 состоит из диска 13 со ступицей 14 и приваренного к нему обода 15, на котором прочно прикреплена, например, с помощью клея, шина 16 из каучукового массива, при этом бороздной прикатывающий каток 12 опирается шиной 16 из каучукового массива на дно борозды,

образованную дисками 2 сошника, при этом ширина шины 16, изготовленной из каучукового массива, равна ширине дна борозды *в*=12…14 мм, при этом диаметр бороздного прикатывающего катка 12 равен *D*=100…120 мм, при этом расстояние между поперечно-вертикальной плоскостью выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения и поперечно-вертикальной плоскостью симметрии бороздного прикатывающего катка 12, равно *L*=60…65 мм, при этом в ступице 14 бороздного прикатывающего катка 12 установлен подшипник 17 скольжения, выполненный в форме втулки из антифрикционного материала, при этом ступица 14 бороздного прикатывающего катка 12 опирается через подшипник 17 скольжения на ось 18, при этом ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 имеет с одной стороны головку 19, при этом бороздной прикатывающий каток 12 имеет пружинную стойку 20, при этом пружинная стойка 20 изготовлена из легированной пружинной стали, при этом верхняя часть пружинной стойки 20 имеет крепежную часть с продольным пазом 21 для размещения в нем винтового соединения 22, необходимого для крепления пружинной стойки 20 к корпусу 1 сошника по месту крепления внутренних чистиков 11 дисков 2 сошника, при этом к нижней части пружинной стойки 20 прикреплена неподвижно втулка 23, при этом втулка 23 одета на ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 и закреплена неподвижно с ней стопорным винтом 24, при этом ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 от осевого смещения относительно ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12, удерживается головкой 19 оси и торцом втулки 23, одетой на ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12, при этом осевой зазор в сопряжении ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 с головкой 19 оси 18 ступицы 14 прикатывающего катка 12 и торцом втулки 23, одетой на ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12, регулируется шайбами 25 и 26 из антифрикционного материала.

Сошник работает следующим образом. При движении сошника в направлении посева два диска 2 (рисунок 1) сошника, установленные под углом друг к другу на корпусе 1, нарезают в почве бороздку для семян и удобрений, при этом семена и удобрения попадают в воронку 5 горловины 6 корпуса 1 сошника, затем через раструб 4 поступают в трубу 3 прямоугольного сечения, далее из трубы 3 прямоугольного сечения удобрения и семена поступают в бороздку.

Для повышения всхожести семян сзади выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения установлен бороздной прикатывающий каток 12, при этом продольно-вертикальная плоскость симметрии бороздного прикатывающего катка 12 совпадает с продольно вертикальной плоскостью симметрии трубы 3 прямоугольного сечения. Бороздной прикатывающий каток 12 уплотняет семена на дне борозды на заданной глубине, при этом создаются условия для лучшего прорастания и развития всходов. Кроме того, что бы противостоять прилипанию и извлечению семян из борозды бороздным прикатывающим катком 12, бороздной прикатывающий каток 12 состоит из диска 13 со ступицей 14 и приваренного к нему обода 15, на котором прочно прикреплена, например, с помощью клея, шина 16 из каучукового массива, при этом бороздной прикатывающий каток 12 опирается шиной 16 из каучукового массива на дно борозды, образованную дисками 2 сошника, при этом ширина шины 16, изготовленной из каучукового массива, равна ширине дна борозды *в*=12…14 мм, при этом диаметр бороздного прикатывающего катка 12 равен *D*=100…120 мм, при этом в ступице 14 бороздного прикатывающего катка 12 установлен подшипник 17 скольжения, выполненный в форме втулки из антифрикционного материала, при этом ступица 14 бороздного прикатывающего катка 12 опирается через подшипник 17 скольжения на ось 18, при этом ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 имеет с одной стороны головку 19. Все это скажется на равномерности уплотнения семян на дне борозды и повышении урожайности культуры.

Для обеспечения формирования потока семян с минимальным отскоком их от стенок трубы прямоугольного сечения, что скажется на образовании более выравненного, равномерного, без пульсации, с минимальным травмированием семян, шириной потока на выходе из отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения, равной ширине дна борозды, а так же обеспечения снижения скорости вылета семян из отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения до величины скорости движения сошника, исключения при этом заторов семян в трубе 3 прямоугольного сечения направитель семян и рыхлитель выполнены как единое целое из трубы 3 прямоугольного сечения, при этом труба 3 прямоугольного сечения отогнута в сторону противоположную движения сошника, при этом продольная ось симметрии трубы 3 прямоугольного сечения выполнена радиусом *R*=150...160 мм, при этом продольно-вертикальная плоскость симметрии трубы 3 прямоугольного сечения совпадает с продольно-вертикальной плоскостью симметрии сошника, при этом ширина трубы 3 прямоугольного сечения равна 14 мм, а высота – 25 мм, при этом труба 3 прямоугольного сечения выполняет одновременно функции направителя семян и рыхлителя, при

этом верхняя часть трубы 3 прямоугольного сечения присоединена неподвижно раструбом 4 к воронке 5 горловины 6 корпуса 1 сошника, при этом труба 3 прямоугольного сечения в нижней части имеет выходное отверстие 7 прямоугольной формы, при этом ширина выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения равна 11 мм, а высота – 30 мм, при этом зазоры между дисками 2 сошника и боковыми поверхностями трубы 3 прямоугольного сечения, замеренные около режущих кромок задней части дисков 2 сошника, не менее 12 мм с каждой стороны боковой поверхности трубы 3 прямоугольного сечения, при этом ниже выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения установлен, с помощью сварки, криволинейный клин 8, при этом ширина пятки 9 криволинейного клина 8 равна ширине трубы 3 прямоугольного сечения 14 мм, при этом средняя часть трубы 3 прямоугольного сечения закреплена неподвижно к корпусу 1 сошника с помощью кронштейна 10, установленного по месту крепления внутренних чистиков 11 дисков 2 сошника. Все это скажется на качестве посева и повышении урожайности культуры.

Для исключения попадания почвенной осыпи на семена, при вылете их из отверстия трубы, расстояние между поперечно-вертикальной плоскостью выходного отверстия 7 трубы 3 прямоугольного сечения и поперечно-вертикальной плоскостью симметрии бороздного прикатывающего катка 12, равно L=60…65 мм.

Кроме того, для создания оптимального давления при уплотнении семян на дне борозды бороздным прикатывающим катком 12, в зависимости от почвенно-климатических условий, а так же исключения передачи колебаний сошника на бороздной прикатывающий каток 12, что скажется на улучшении равномерности уплотнения семян на дне борозды, и в результате на повышении урожайности культуры бороздной прикатывающий каток 12 имеет пружинную стойку 20, при этом пружинная стойка 20 изготовлена из легированной пружинной стали, при этом верхняя часть пружинной стойки 20 имеет крепежную часть с продольным пазом 21 для размещения в нем винтового соединения 22, необходимого для крепления пружинной стойки 20 к корпусу 1 сошника по месту крепления внутренних чистиков 11 дисков 2 сошника, при этом к нижней части пружинной стойки 20 прикреплена неподвижно втулка 23, при этом втулка 23 одета на ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 и закреплена неподвижно с ней стопорным винтом 24, при этом ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 от осевого смещения относительно ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12, удерживается головкой 19 оси 18 и торцом втулки 23, одетой на ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12, при этом осевой зазор в сопряжении ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12 с головкой 19 оси 18 ступицы 14 прикатывающего катка 12 и торцом втулки 23, одетой на ось 18 ступицы 14 бороздного прикатывающего катка 12, регулируется шайбами 25 и 26 из антифрикционного материала.

Сошник данной конструкции был установлен на сеялке СЗ-5.4 и испытан в условиях КФХ «Антоново» Иссинского района Пензенской области в 2019 году на сорте яровой пшеницы «Архат».

По результатам экспериментальных данных были построены вероятностные кривые распределения семян по длине рядка серийного и экспериментального сошников (рисунок 2).

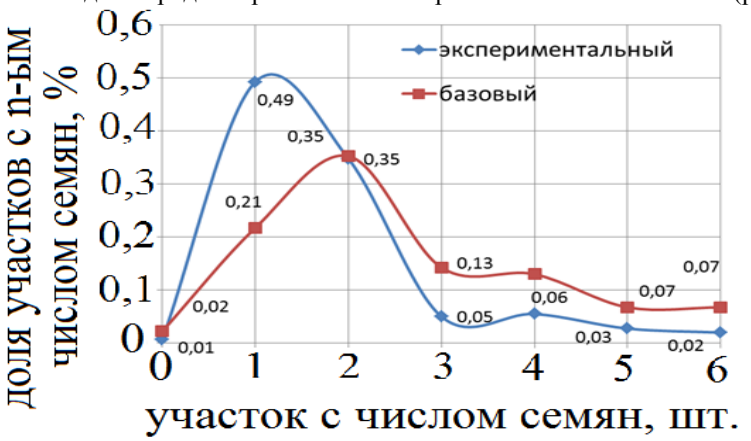


Рисунок 2 – Равномерность распределения семян по длине рядка экспериментальным и серийным сошниками

По оси абсцисс указано количество семян в учетных квадратах 5×5 см, а по оси ординат – частоты их появления, в процентах.

Как видно из графиков (рисунок 2), процент пустых участков у экспериментального сошника составил менее 1%, у серийного – 2,25%, число участков с одним семенем у экспериментального сошника составило почти 50%, у серийного – 21,75 %, а с двумя семенами у экспериментального – 35 %, у серийного – 35 %. Кроме того, суммарная частота участков с числом семян один и два равно 84 % для экспериментального сошника, находящихся в интервале среднего арифметического значения m=1,4, соответствующего норме высева 200 кг на га. Неравномерность распределения семян по длине рядка у экспериментальных сошников составила – 26,8%, у серийных – 39,5%.

Заключение. Разработанный сошник, позволит получить ровное дно борозды без засыпания его почвой, а так же исключить отскок семян от дна борозды, что обеспечит равномерную глубину заделки семян, равномерное распределение семян по дну борозды, при этом увеличивается урожайность культуры на 11%.

Список литературы

1. Ларюшин, Н.П. Посевные машины. Теория, конструкция, расчёт / Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, В.В. Шумаев [и др.] – Москва: Росинформагротех, 2010.- 292 с.
2. Петухов, Д.А. Современные посевные машины / Д.А. Петухов, В.В. Сер-дюк // Техника и оборудования для села. – 2012. – № 1. – С. 18–21.
3. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Москва: Изд-во стандартов, 2007. – 28 с.
4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с
5. Ларин, М.А. Экспериментальные исследования сошника с направителем-распределителем семян пневматической сеялки / Мачнев А.В., Шуков А.В., Мачнева В.В. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной

References

1. Laryushin, N.P. Posevnye mashiny. Teoriya, konstrukciya, raschyot / N.P. Laryushin, A.V. Machnev, V.V. SHumaev [i dr.] – Moskva: Rosinformagrotekh, 2010.- 292 s.
2. Petuhov, D.A. Sovremennye posevnye mashiny / D.A. Petuhov, V.V. Ser-dyuk // Tekhnika i oborudovaniya dlya sela. – 2012. – № 1. – S. 18–21.
3. GOST R 52778-2007. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody ekspluatacionno-tekhnologicheskoj ocenki. – Moskva: Izd-vo standartov, 2007. – 28 s.
4. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). – 5-e izd., dop. i pererab. – Moskva: Agropromizdat, 1985. – 351 s
5. Larin, M.A. Eksperimental'nye issledovaniya soshnika s napravitelem-raspredelitelem semyan pnevmaticheskoj seyalki / Machnev A.V., SHukov A.V., Machneva V.V. // Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj.

Поступила в редакцию: 30.04.2019
Принята к публикации: 10.06.2019

УДК 621.43-049.7

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Аюгин Николай Петрович,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: nikall85g@yandex.ru
Халимов Рустам Шамильевич,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: hrasp29@yandex.ru
Молочников Денис Евгеньевич,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: denmol@yandex.ru
Богданов Ильгизар Исмаилович
кандидат ветеринарных наук, доцент, e-mail: nicugsha@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», г. Ульяновск

Зазуля Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор, e-mail: zazulja_an@rambler.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов

Реферат. *Проанализирован процесс сгорания топлива в быстроходном дизельном двигателе по развёрнутой индикаторной диаграмме в координатах давление в цилиндре - угол поворота коленчатого вала. Показано, что процессом сгорания в дизеле можно управлять путём подбора соответствующих характеристик топливоподачи, поддержания оптимальных значений температуры охлаждающей жидкости в системе топлива и воздуха, поступающих в цилиндр двигателя. Установлено, что мощность и КПД дизеля достигают наибольшей величины, если положение максимума давления в цилиндре соответствует углу поворота кривошипного вала на 10 -15° после верхней мертвой точки, что соответствует работе исправного двигателя в номинальном режиме и температуре окружающей среды 288 -293 К. В подобных условиях автотракторные дизели работают 15-20 % общего времени их использования. Рассматривали влияние различных эксплуатационных факторов на процесс сгорания топлива в цилиндре: длительность первой фазы; угол опережения впрыска топлива; температуры охлаждающей жидкости; температуры и давления воздуха и топлива на впуске и режимов работы двигателя. Оптимальное значение мощности и экономичности работы дизеля можно установить, регулируя угол опережения впрыска топлива. Определили, что с повышением частоты вращения коленчатого вала возрастают значения оптимального угла опережения впрыска. Установили, что при температуре охлаждающей жидкости 50 -60 ºС нарушается процесс сгорания топлива, что приводит к повышенному расходу топлива и увеличению дымности отработавших газов (при неизменном угле начала впрыска топлива. Понижение температуры окружающей среды повышает вязкость топлива, увеличивает период самовоспламенения до 2,5 раз, что приводит к снижению индикаторного КПД, повышению расхода топлива, содержания углерода и продуктов неполного сгорания топлива.*

Ключевые слова: *топливо, сгорание, смесеобразование, мощность, заряд, низшая теплотворная способность топлива.*

FOR INVESTIGATING THE COMBUSTION OF DIESEL FUEL AT LOW TEMPERATURES

Ayugin Nikolay
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: nikall85g@yandex.ru
Khalimov Rustam,
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: hrasp29@yandex.ru
Molochnikov Denis,
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: denmol@yandex.ru
Bogdanov Ilgizar
candidate of veterinary Sciences, associate Professor, e-mail: nicugsha@yandex.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Ulyanovsk state agricultural University named after P. A. Stolypin", Ulyanovsk.
Zazulya Alexander,
Full Doctor of Technical Sciences, associate professor
e-mail: zazulja_an@rambler.ru
FGBNU " All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov.

Abstract. *The process of fuel combustion in a high-speed diesel engine was analyzed according to a detailed indicator diagram in the coordinates of the pressure in the cylinder - the angle of rotation of the crankshaft. It is shown that the combustion process in a diesel engine can be controlled by selecting the appropriate characteristics of the fuel supply, maintaining the optimum values of the coolant temperature in the fuel and air system entering the engine cylinder. It has been established that the power and*

efficiency of a diesel engine reach the highest value if the position of the maximum pressure in the cylinder corresponds to the angle of rotation of the crank shaft 10 -15 ° after the top dead center, which corresponds to the operation of a working engine in nominal mode and an ambient temperature of 288 - 293 K. In such conditions, automotive diesel engines operate 15 - 20% of the total time of their use. The influence of various operational factors on the combustion process of fuel in the cylinder was considered: the duration of the first phase; advance angle of fuel injection; coolant temperature; temperature and pressure of air and fuel at the inlet and engine operating conditions. The optimum value of power and efficiency of the diesel engine can be set by adjusting the fuel injection advance angle. It is determined that with increasing frequency of rotation of the crankshaft, the values of the optimal injection advance angle increase. It was found that when the temperature of the coolant is 50-60 ºC, the process of fuel combustion is disturbed, which leads to increased fuel consumption and an increase in the opacity of the exhaust gases (at a constant angle of the beginning of fuel injection). Lowering the ambient temperature increases the viscosity of the fuel, increases the auto-ignition period up to 2.5 times, which leads to a decrease in the indicator efficiency, increased fuel consumption, carbon content and products of incomplete combustion of fuel.

***Keywords**: Fuel, combustion, mixture formation, power, charge, lower calorific value of fuel.*

Введение. Сложные процессы смесеобразования и сгорания топлива в быстроходных дизельных двигателях происходят за очень короткий период времени (15-20° поворота коленчатого вала (п.к.в.)). Это примерно в 10 раз меньше, чем в двигателях с внешним смесеобразованием при одинаковой частоте вращения. Топливо впрыскивается в нагретый при сжатии воздух, имеющий температуру 773-873 К и давление 3,5-5 МПа. Подача топлива в цилиндр начинается до прихода поршня в верхнюю мертвую точку (в.м.т.) и заканчивается в зависимости от характеристики топливоподачи до в.м.т.

В процессе сгорания впрыскиваемого в цилиндр и распыленного с помощью форсунок топлива возникает как объёмное воспламенение, так и диффузионное горение. Очаг воспламенения зарождается по механизму объемного воспламенения, далее пламя распространяется по паровоздушному заряду, подготовленному к горению за период задержки воспламенения. Остальная часть топлива сгорает по механизму диффузионного горения [1].

Методы исследований. Проанализируем процесс сгорания в дизеле по развёрнутой индикаторной диаграмме в координатах Р (давление в цилиндре) - φ (угол поворота коленчатого вала) (рисунок 1).

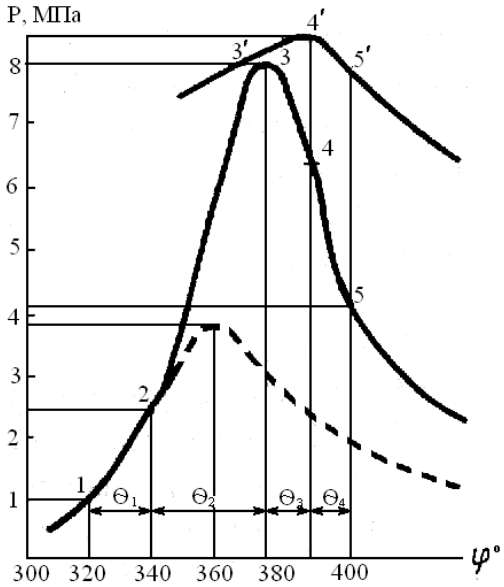


Рисунок 1 – Развёрнутая индикаторная диаграмма
(штриховая линия характеризует пропуск впрыска топлива в цилиндры)

При сгорании топлива в дизельном двигателе различают четыре фазы: Θ_1 – период задержки воспламенения; Θ_2 – фаза быстрого сгорания; Θ_3 – фаза диффузионного горения; Θ_4 – фаза догорания. Длительность первой фазы (период задержки воспламенения) измеряется отрезком времени τ_1 или углом п.к.в. Θ_1 от точки 1 до точки 2.

В течение некоторого времени после начала впрыскивания топлива горение не наступает – при этом происходит распад струи на капли, перемешивание капель по объёму камеры сгорания и их прогрев, частичное испарение и смешивание паров топлива с воздухом, протекают реакции распада углеводородов, образование активных центров, свободных радикалов, первичных продуктов окисления, возникают очаги самовоспламенения и давление начинает повышаться в результате некоторого выделения теплоты.

Вторая фаза – фаза быстрого сгорания. Длительность второй фазы измеряется отрезком времени или углом п.к.в. от момента воспламенения (рисунок 1, точка 2, которую условно принимают за начало сгорания) до момента достижения максимального давления цикла (точка 3). Во второй фазе сгорает большая часть топлива, впрыснутого за время задержки воспламенения, а также часть топлива, впрыскиваемого во второй фазе [2 - 5].

От очага воспламенения пламя быстро распространяется в зонах, где за время периода задержки впрыскиваемое топливо успевает испариться и образует смесь нужной концентрации.

Впрыск топлива обычно заканчивается во второй фазе. Однако в высокооборотных двигателях с целью повышения КПД вся доза топлива впрыскивается ещё в первой фазе. Давление и температура во второй фазе на участке 2-3 повышается вследствие сгорания значительной части заряда.

При работе дизеля на номинальном режиме в течение второй фазы выделяется примерно 1/3 теплоты от общей теплоты сгорания. При этом коэффициент активного тепловыделения составляет примерно 0,3. Максимальная скорость нарастания давления на участке 2-3 индикаторной диаграммы характеризует жёсткость процесса сгорания. Для автотракторных дизелей $\Delta P/\Delta\varphi$= 0,4-1,0 МПа/град.

Характеристика второй фазы сгорания - степень повышения давления $\lambda = P_3/P_2$ (P_3 – давление газов в точке 3, P_2 – давление газов в точке 2). Чем выше скорость нарастания давления и степень повышения давления, тем экономичнее работа дизеля. Однако при этом увеличивается жёсткость процесса сгорания, и как следствие, повышаются нагрузки на детали и их износ [1, 6-8].

На развитие и продолжительность второй фазы влияют: продолжительность первой фазы; количество топлива, поданного в цилиндр в течение периода задержки воспламенения τ_1, характер топливоподачи во второй фазе; качество распыливания топлива; скорость движения заряда в камере сгорания; скоростной и нагрузочные режимы работы двигателя. Чем продолжительнее период задержки воспламенения τ_1 и больше топлива подаётся во второй фазе при хорошем распыливании и перемешивании с воздухом, тем выше показатели $\Delta P/\Delta\varphi$, λ и жёстче работа дизеля. Третья фаза - фаза быстрого диффузионного сгорания (сгорание при почти постоянном или несколько понижающемся давлении).

Длительность третьей фазы сгорания измеряется отрезком времени τ_3 или углом поворота коленчатого вала Θ_3, от момента достижения максимального давления (точка 3) до момента достижения максимальной температуры (точка 4). Скорость сгорания в этой фазе, в основном, определяется скоростью смешивания паров топлива и воздуха [1, 3].

Объём камеры сгорания в течение третьей фазы при движении поршня от в.м.т. увеличивается и давление медленно снижается, однако, при этом происходит достаточно активное тепловыделение и средняя температура цикла продолжает возрастать, достигая максимального значения при п.к.в. на 15-25° после в.м.т. в точке 4, т.е. после достижения максимального давления цикла в точке 3. Сдвиг по фазе максимумов давления и температуры на индикаторной диаграмме объясняется тем, что при увеличении объёма температура заряда снижается в меньшей степени, чем давление.

При достижении максимальной температуры коэффициент активного тепловыделения составляет 0,7…0,8. На длительность третьей фазы влияют количество впрыскиваемого топлива после начала горения, а также качество его распыливания и скорость движения заряда. Четвёртая фаза - догорание топлива и продуктов его неполного сжигания. Длительность четвёртой фазы измеряется отрезком времени τ_4 или углом п.к.в. Θ_4, от момента достижения максимального давления температуры цикла до окончания тепловыделения (точка 5) [9-11].

Сгорание в этой фазе характеризуется постепенным замедлением скорости тепловыделения, т.к. скорость процесса догорания определяется скоростью диффузии и турбулентного смешивания

остатков топлива и продуктов его неполного сгорания с воздухом.

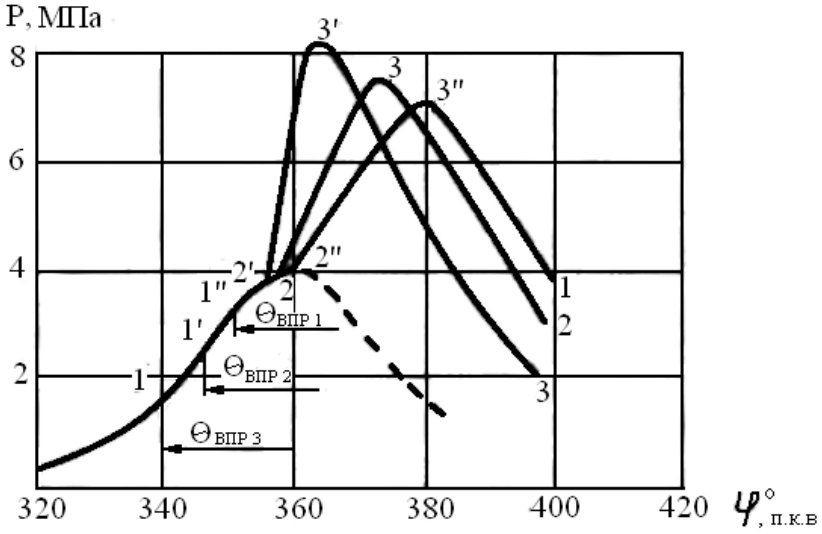
Фаза догорания составляет значительную часть такта расширения, и её завершение соответствует примерно 70-80° поворота коленчатого вала после в.м.т. При нарушении нормального протекания процесса сгорания (поздние углы опережения подачи топлива, плохое качество распыла и др.) может вообще не достигаться полного тепловыделения, и в отработавших газах наблюдается содержание сажи, окиси углерода и продуктов разложения жидкого топлива. При увеличении доли тепловыделения на такте расширения снижается эффективность использования выделяющейся теплоты в целом, повышается температура газов на выпуске и ухудшается экономичность двигателя.

Результаты и их обсуждение. Оценка процесса сгорания по индикаторной диаграмме показывает, что процессом сгорания в дизеле можно управлять путём подбора соответствующих характеристик топливоподачи, поддержания оптимальных значений температуры охлаждающей жидкости в системе, топлива и воздуха, поступающих в цилиндр двигателя [12].

Мощность и КПД дизеля достигают наибольшей величины, если положение максимума давления в цилиндре (на индикаторной диаграмме кривая 3’-4’-5’) соответствует углу поворота кривошипного вала на 10…15° после в.м.т. (рисунок 1). Подобную оптимальную диаграмму можно получить на исправном двигателе при работе на номинальном режиме и температуре окружающей среды 288…293 К. В подобных условиях автотракторные дизели работают в течение лишь 15…20 % общего времени их использования, а 80…85 % времени они работают с неполной загрузкой и температурах окружающей среды T_0 = 233…313 К, что сопровождается нарушением процесса сгорания, повышением расхода топлива и дымности отработавших газов.

С целью выявления резервов повышения экономичности и снижения дымности отработавших газов дизельного двигателя рассмотрим влияние различных эксплуатационных факторов на процесс сгорания топлива в цилиндре: длительность первой фазы; угла опережения впрыска топлива; температуры охлаждающей жидкости; температуры и давления воздуха и топлива на впуске и режимов работы двигателя [13].

Регулируя угол опережения впрыска топлива, можно воздействовать на вид индикаторной диаграммы и на положение максимума давления с тем, чтобы установить оптимальное значение мощности и экономичности работы двигателя. Однако, по мере увеличения угла опережения впрыска топлива в цилиндр начинается при всё более низкой температуре и давлении, в связи с чем длительность задержки самовоспламенения, а, следовательно, и фактор динамичности увеличивается. В итоге повышается максимальное давление цикла, возрастает скорость нарастания давления (рисунок 2, кривая 3) в цилиндре.



1 - $\Theta_{впр} = 10^0$; 2 - $\Theta_{впр} = 15^0$; 3 - $\Theta_{впр} = 20^0$

Рисунок 2 – Индикаторные диаграммы дизельного двигателя при трёх значениях угла опережения впрыска топлива

Это объясняется тем, что при чрезмерно длительном периоде задержки воспламенения большая часть топлива успевает испариться и смешаться с воздухом, в результате объёмного воспламенения образовавшегося заряда резко возрастает давление, динамические нагрузки на детали и шум. Очевидно, одним увеличением угла опережения нельзя компенсировать увеличение задержки самовоспламенения при работе на топливе с низким цетановым числом или при относительно низкой температуре газов в цилиндре в конце сжатия.

С повышением частоты вращения длительность задержки самовоспламенения (в угловых градусах) увеличивается, возрастает и оптимальный угол опережения впрыска.

Меньшей жёсткостью работы обладают дизели с плёночным смесеобразованием и с разделёнными камерами сгорания. В двигателях с плёночным смесеобразованием жесткость работы поддерживается регулированием температуры стенки камеры сгорания, на которой образуется плёнка топлива, и малой скорости воспламенения впрыснутого топлива.

При слишком позднем впрыске топлива период задержки уменьшается, но воспламенение начинается практически в в.м.т. (точка 2", рисунок 2), процесс сгорания переносится на линию расширения и протекает при относительно малой степени сжатия (поршень переместился на значительное расстояние от в.м.т.), площадь под кривой 1" - 2" - 3" (рисунок 2) значительно уменьшилась, следовательно, повысится расход топлива, т.к.

$$g_e = const/\eta_i \cdot \eta_м, \qquad \eta_i = L_ц/Q_Н = F/Q_н \text{ [4]},$$

где g_e - удельный расход топлива, г/кВт·ч; η_i и $\eta_м$ - соответственно индикаторный и механический КПД дизеля; $L_ц$ и F - цикловая работа и площадь под индикаторной диаграммой; $Q_н$ – низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг.

Тип камеры сгорания оказывает влияние на период задержки воспламенения в связи с разной организацией распределения топлива и температурой стенок. Причём температура стенок зависит в значительной степени от температуры охлаждающей жидкости и режима работы дизеля.

При пониженной температуре охлаждающей жидкости (50…60 °С) понижается температурный уровень камеры сгорания, что приводит к увеличению периода задержки воспламенения, к нарушению оптимального процесса сгорания, повышенному расходу топлива и увеличению дымности отработавших газов (при неизменном угле начала впрыскивания топлива).

При уменьшении нагрузки снижаются давление и температура заряда в момент впрыскивания топлива, что приводит к увеличению τ_1 и расхода топлива.

Значительное влияние на длительность периода задержки оказывает температура окружающей среды T_o ($T_к$ – температура воздуха после компрессора, при его наличии). С понижением температуры окружающей среды возрастает период задержки воспламенения в 2…2,5 раза [6, 7].

Рассмотрим несколько вариантов условий эксплуатации дизеля:

1 вариант - $N_e = (0,8…1,0) \cdot N_e^{НОМ}$; $T_0 = 243$ К;

2 вариант - $N_e = (0…0,7) \cdot N_e^{НОМ}$; $T_0 = 243$ К;

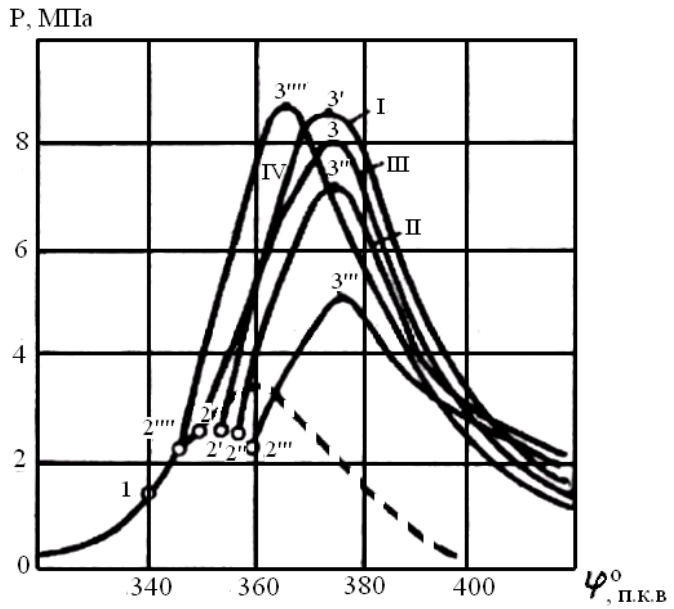
3 вариант - $N_e = (0,8…1,0) \cdot N_e^{НОМ}$; $T_0 = 293$ К;

4 вариант - $N_e = (0,8…1,0) \cdot N_e^{НОМ}$; $T_0 = 313$ К.

где N_e – текущая эффективная мощность двигателя соответствующая вариантам; $N_e^{НОМ}$ – номинальная мощность двигателя при номинальной частоте вращения коленчатого вала.

В зимних условиях, при полной загрузке двигателя и оптимальной температуре охлаждающей жидкости в двигателе, период воспламенения увеличивается в 1,5…2 раза. В цилиндре двигателя накапливается большая доза топлива к моменту его воспламенения, при этом улучшается однородность топливовоздушной среды и степень её химической "подготовки" к самовоспламенению взрывного характера и как следствие при воспламенении возникают ударные волны и на 10…15 % увеличивается давление в камере сгорания. Резкое повышение скорости нарастания давления (рисунок 3) на участке 2 - 3 и степени повышения давления λ (возрастание жесткости процесса сгорания) приводит к увеличению нагрузки на детали КШМ и износа на 60…70 % при незначительном повышении экономичности двигателя [8, 14].

Во втором варианте при снижении нагрузки снижается дополнительно температура и давление в момент впрыскивания топлива, снижается температура цикла и температура деталей камеры сгорания. Это приводит к дополнительному увеличению периода задержки воспламенения топлива на участке 1-2", процесс сгорания переносится на линию расширения.



I – $N_e = (0,8…1,0) \cdot N_e^{НОМ}$, $T_o = 243$ К; II – $N_e = (0…0,7) \cdot N_e^{НОМ}$, $T_o = 243$ К; III – $N_e = (0,8…1,0) \cdot N_e^{НОМ}$, $T_o = 293$ К; IV – $N_e = (0,8…1,0) \cdot N_e^{НОМ}$, $T_o = 313$ К

Рисунок 3 - Индикаторные диаграммы при различных значениях температуры окружающей среды

При этом процесс сгорания происходит в расширяющемся объёме с понижением максимального давления, площади индикаторной диаграммы, а следовательно сопровождается и значительным снижением индикаторного КПД и повышением расхода топлива. Причём в отработавших газах значительно увеличивается содержание углерода и продуктов жидкого топлива. Эти негативные явления, очевидно, будут усугубляться и ухудшением качества смесеобразования в связи с повышением вязкости топлива при снижении температуры окружающей среды.

В третьем варианте, т.е. при работе двигателя с высокой степенью загрузки и температуры окружающей среды, $T_o = 293$ К, процесс сгорания 1-2-3 (рисунок 3) оптимальный. При этом площадь индикаторной диаграммы довольно значительна, и, следовательно, экономичность дизеля высокая, жесткость процесса сгорания и износ деталей двигателя находятся в допустимых пределах.

В четвёртом варианте период задержки воспламенения уменьшается, процесс сгорания 1-2''''-3'''' сдвигается влево (рисунок 3), снижается удельный расход топлива, но значительно возрастает жёсткость процесса сгорания. При дальнейшем повышении температуры окружающей среды наблюдается повышение расхода топлива.

При работе на малых нагрузках и режиме холостого хода полное тепловыделение не достигается, так как воспламенение топлива происходит (может происходить) за в.м.т.

Заключение. Таким образом, регулируя угол опережения впрыска топлива можно установить оптимальное значение мощности и экономичности работы дизеля.

С повышением частоты вращения коленчатого вала возрастают значения оптимального угла опережения впрыска.

При пониженной температуре охлаждающей жидкости (50…60 ºС) нарушается процесс сгорания топлива, что приводит к повышенному расходу топлива и увеличению дымности отработавших газов (при неизменном угле начала впрыска топлива).

Понижение температуры окружающей среды повышает вязкость топлива, увеличивает период самовоспламенения до 2,5 раз, что приводит к снижению индикаторного КПД, повышению расхода топлива, содержания углерода и продуктов неполного сгорания топлива.

Список литературы

1. Аюгин П.Н., Молочников Д.Е., Сафаров Р.К. Улучшение эксплуатационных характеристик дизеля // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы VI Международной научно-практической конференции. – Ульяновск – 2015. – С. 157-159.

2. Аюгин П.Н., Молочников Д.Е. Лабораторный практикум по изучению и испытанию тракторов и автомобилей. Ульяновск. 2011. 44 с.

3. Данилов А.С., Аюгин П.Н., Сафаров Р.К., Молочников Д.Е. Лабораторный практикум по испытаниям двигателей внутреннего сгорания и топливным насосам высокого давления. Ульяновск. 2011. 91 с.

4. Уханов А.П., Уханов Д.А., Аюгин П.Н., Молочников Д.Е., Сафаров Р.К., Аюгин Н.П.; Под ред. А.П. Уханова. Автомобильные двигатели и автомобили. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие – 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск. 2012. 351с.

5. Сафаров Р.К., Аюгин П.Н., Молочников Д.Е. Оптимизация угла опережения впрыска топлива у автотракторных дизелей в неоптимальных условиях // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: материалы VI Международной научно-практической конференции. – Ульяновск. – 2015. – С. 187-189.

6. Цилибин Е.С., Тарасов Ю.С., Голубев В.А., Молочников Д.Е. Улучшение экологичности автотракторных двигателей // Молодежь и наука XXI века: материалы III-й Международной научно-практической конференции.– Ульяновск. – 2010. – с. 145-149.

7. Молочников Д.Е., Яковлев С.А. Стабилизация температуры свежего заряда в дизельном двигателе // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина. Ульяновск. – 2018. – С. 308-310.

8. Голубев С.В., Молочников Д.Е. Адаптация дизельного двигателя к использованию растительно-минерального топлива // Достижения техники и технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, 15 ноября 2018. – Ульяновск: Ульяновский ГАУ. – 2018. – С. 264-268.

9. Глущенко А.А., Молочников Д.Е., Салахутдинов И.Р., Прошкин Е.Н. Испытания автомобилей и тракторов: учебное пособие для студентов инженерного факультета. Ульяновск: УлГАУ. 2018. 384 с.

10. Молочников Д.Е., Голубев В.А., Аюгин П.Н. Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Тракторы и автомобили». Ульяновск. 2015. 55 с.

11. Быченин А.П., Володько О.С., Мингалимов Р.Р. [и др.]. Тракторы и автомобили. Ч. 3. Электрическое и гидравлическое оборудование: практикум. Кинель: РИО СГСХА. 2018. 169 с.

12. Быченин А.П., Володько О.С., Мингалимов Р.Р. [и др.]. Тракторы и автомобили. Ч. 2. Шасси: практикум. Кинель: РИО СГСХА. 2018. 169 с.

13. Быченин А. П., Володько О. С., Мингалимов Р. Р. [и др.].Тракторы и автомобили. Ч. 1. Двигатели внутреннего сгорания: практикум. Кинель: РИО СГСХА. 2016. 208 с.

14. Уханов А.П., Ухонов Д.А., Голубев В.А.; под ред. Уханова А.П. Конструкция автомобилей и тракторов – 3-е изд., доп. Ульяновск. 2016. 186с.

References

1. Ayugin P.N., Molochnikov D.E., Safarov R.K. Uluchshenie ekspluatacionnyh harakteristik dizelya // Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ih resheniya: materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Ul'yanovsk – 2015. – S. 157-159.

2. Ayugin P.N., Molochnikov D.E. Laboratornyj praktikum po izucheniyu i ispytaniyu traktorov i avtomobilej. Ul'yanovsk. 2011. 44 s.

3. Danilov A.S., Ayugin P.N., Safarov R.K., Molochnikov D.E. Laboratornyj praktikum po ispytaniyam dvigatelej vnutrennego sgoraniya i toplivnym nasosam vysokogo davleniya. Ul'yanovsk. 2011. 91 s.

4. Uhanov A.P., Uhanov D.A., Ayugin P.N., Molochnikov D.E., Safarov R.K., Ayugin N.P.; Pod red. A.P. Uhanova. Avtomobil'nye dvigateli i avtomobili. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie: uchebnoe posobie – 2-e izd., pererab. i dop. Ul'yanovsk. 2012. 351s.

5. Safarov R.K., Ayugin P.N., Molochnikov D.E. Optimizaciya ugla operezheniya vpryska topliva u avtotraktornyh dizelej v neoptimal'nyh usloviyah // Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Ul'yanovsk. – 2015.

– S. 187-189.
6. Cilibin E.S., Tarasov YU.S., Golubev V.A., Molochnikov D.E. Uluchshenie ekologichnosti avtotraktornyh dvigatelej // Molodezh' i nauka XXI veka: materialy III-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii.– Ul'yanovsk. – 2010. – s. 145-149.
7. Molochnikov D.E., YAkovlev S.A. Stabilizaciya temperatury svezhego zaryada v dizel'nom dvigatele // Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ih resheniya: Materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 75-letiyu Ul'yanovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni P.A. Stolypina. Ul'yanovsk. – 2018. – S. 308-310.
8. Golubev S.V., Molochnikov D.E. Adaptaciya dizel'nogo dvigatelya k ispol'zovaniyu rastitel'no-mineral'nogo topliva // Dostizheniya tekhniki i tekhnologij v APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 15 noyabrya 2018. – Ul'yanovsk: Ul'yanovskij GAU. – 2018. – S. 264-268.
9. Glushchenko A.A., Molochnikov D.E., Salahutdinov I.R., Proshkin E.N. Ispytaniya avtomobilej i traktorov: uchebnoe posobie dlya studentov inzhenernogo fakul'teta. Ul'yanovsk: UlGAU. 2018. 384 s.
10. Molochnikov D.E., Golubev V.A., Ayugin P.N. Metodicheskie ukazaniya dlya vypolneniya kursovoj raboty po discipline «Traktory i avtomobili». Ul'yanovsk. 2015. 55 s.
11. Bychenin A.P., Volod'ko O.S., Mingalimov R.R. [i dr.]. Traktory i avtomobili. CH. 3. Elektricheskoe i gidravlicheskoe oborudovanie: praktikum. Kinel': RIO SGSKHA. 2018. 169 s.
12. Bychenin A.P., Volod'ko O.S., Mingalimov R.R. [i dr.]. Traktory i avtomobili. CH. 2. SHassi: praktikum. Kinel': RIO SGSKHA. 2018. 169 s.
13. Bychenin A. P., Volod'ko O. S., Mingalimov R. R. [i dr.].Traktory i avtomobili. CH. 1. Dvigateli vnutrennego sgoraniya : praktikum. Kinel' : RIO SGSKHA. 2016. 208 s.
14. Uhanov A.P., Uhonov D.A., Golubev V.A.; pod red. Uhanova A.P. Konstrukciya avtomobilej i traktorov – 3-e izd., dop. Ul'yanovsk. 2016. 186s.

Поступила в редакцию: 22.05.2019
Принята к публикации: 24.06.2019

УДК 620.197.7:631.17

МАСЛЯНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ В РЕГИОНАХ С МОРСКИМ, СУБТРОПИЧЕСКИМ И ТРОПИЧЕСКИМ КЛИМАТОМ

Князева Лариса Геннадьевна,
доктор химических наук, доцент, e-mail: Knyazeva27@mail.ru,
Прохоренков Вячеслав Дмитриевич,
доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: viitin-10@mail.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов
Цыганкова Людмила Евгеньевна,
доктор химических наук, профессор, e-mail: vits21@mail.ru,
Бернацкий Павел Николаевич,
доктор химических наук, доцент, e-mail: vits21@mail.ru
Алехина Ольга Владимировна,
кандидат химических наук, e-mail: vits21@mail.ru
Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина

Реферат. *Атмосферную коррозию в регионах с морским, субтропическим и тропическим климатом имитировали ускоренными коррозионными испытаниями в термовлагокамере Г-4 с автоматическим регулированием параметров влажности и температуры и периодической конденсацией влаги на образцах и в 0,5 М растворе NaCl. Изучали защитную эффективность (Z) растительных (подсолнечного, рапсового, оливкового, кукурузного, льняного), нефтяных (ТКп, И-20 А, М10Г$_2$ (к)) и синтетических масел (Мобил-1).Исследования показали, что растительные маслав таких условиях обладают лучшими защитными свойствами, чем нефтяные. Нанесение по влажной поверхности всех исследованных масел практически не сказывается на их защитной*

эффективности. Водные эмульсии растительных масел (50:50) по защитной эффективности не уступают исходным растительным маслам. Наилучшие результаты получены для отстоев подсолнечного (ОПМ) и рапсового (ОРМ) масел:Z = ~ 100 %при испытаниях в термовлагокамере Г-4 (40 суток) и в 0,5 М растворе NaCl (от 14 суток до 5 месяцев), высокое последействие.Среди нефтяных продуктов близки к ним по защитной эффективностипродукты очистки отработанных моторных масел (ПООМ) карбамидом. Эффективность товарного синтетического масла Мобил-1 выше, чем у нефтяного М-10 $Г_2$(к), а для отработанных масел наблюдается обратная картина. Обводненные составы (50:50) нефтяных масел эффективнее необводненных. На защитную эффективность составов с концентрацией ПООМ выше 70 масс. % не оказывает влияние природа масла. Для защиты техники и оборудования в регионах с морским, субтропическим и тропическим климатом рекомендованы ОПМ, ОРМ, масляные композиции с содержанием ПООМ 70-100%, в том числе и обводненные (50:50)

Ключевые слова: *масла, растительные, нефтяные, синтетические, атмосферная коррозия, защитная эффективность, термовлагокамера, хлорид, тропический климат*

OIL COMPOSITIONS FOR PROTECTION AGAINST ATMOSPHERIC CORROSION IN THE REGIONS WITH MARINE, SUBTROPICAL AND TROPICAL CLIMATE

Knyazeva Larisa ,
Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher,
e-mail: Knyazeva27@mail.ru,
Prohorenkov Vyacheslav ,
FullDoctor of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: viitin-10@mail.ru,
Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov
Tsygankova Lyudmila,
Full Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: vits21@mail.ru,
Bernatsky Pavel.,
Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, e-mail: vits21@mail.ru
Alekhina Olga.
Candidate of Chemical Sciences, e-mail: vits21@mail.ru
Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov

Abstract. *Atmospheric corrosion in regions with a marine, subtropical and tropical climate was imitated by accelerated corrosion tests in a thermo-moisture chamber G-4 with automatic control of humidity and temperature parameters and periodic condensation of moisture on samples and in 0.5 M NaCl solution.The protective efficacy (Z) of vegetable (sunflower, rapeseed, olive, corn, linseed), petroleum (TKp, I-20 A, M10G_2(k)) and synthetic oils (Mobil-1) was studied.Studies have shown that vegetable oils in such conditions have better protective properties than petroleum oils.The application of all the studied oils on a wet surface practically does not affect their protective effectiveness.Aqueous emulsions of vegetable oils (50:50) are not inferior to the original vegetable oils for protective effectiveness.The best results were obtained for sucks of sunflower oil(OPM) and rapeseed (ORM) oils: Z = ~ 100% when tested in a thermogram G-4 (40 days) and in 0.5 M NaCl solution (from 14 days to 5 months), high aftereffect.The cleaning products of used motor oils (POOM) using urea are close to them in their protective effectiveness among petroleum oils.The effectiveness of commercial synthetic oil Mobil-1 is higher than that of petroleum M-10 G2 (k), and the opposite is true for used oils. Watered formulations (50:50) of petroleum oils are more effective than non-watered. The protective efficacy of formulations with a POOM concentration above 70 wt.% Is not affected by the nature of the oil. OPM, ORM, oil compositions with a POOM content of 70-100%, including watered (50:50), are recommended for protection of machinery and equipment in regions with maritime, subtropical and tropical climates*

Keywords: *oils, vegetable, petroleum, synthetic, atmospheric corrosion, protective efficacy, thermo moisture chamber, chloride, tropical climate*

Введение. Вопрос защиты от атмосферной коррозии в регионах с морским, субтропическим и тропическим климатом актуален для нашей страны, потому что имеются собственные субтропики,

а на Дальнем Востоке есть территории, в которых в летние месяцы климат очень близок к тропическому. К тому же, Россия активно поставляет технику и металлоконструкции в страны с тропическим климатом, в том числе и морским путем. Тропический климат характеризуется повышенной относительной влажностью воздуха, высокой температурой и большим количеством солнечной радиации на протяжении всего года. Агрессивность приморской атмосферы определяют высокие концентрации хлористых солей, прежде всего, NaCl. Известно, что приморская атмосфера наиболее насыщена хлоридами на небольшом расстоянии от берега (100-200 м), а далее концентрации хлоридов постепенно выходят на фоновые значения [1]. Ускорение коррозионных процессов в их присутствии связано с образованием растворимых продуктов, вместо нерастворимых гидроокисей, и препятствием образованию пассивирующих пленок на поверхности металлов.

Следует отметить, что для нашей страны регионы с морским, субтропическим и тропическим климатом, как показано в таблице 1, характеризуются не самой высокой коррозионной агрессивностью, по сравнению с Вьетнамом, Кубой, Венесуэлой, Индией [2], куда наша страна поставляет технику и металлоконструкции.

Известно, что коррозия зависит от типа стали. Наиболее подвержены коррозионным разрушениям углеродистые стали. Так, пятилетние испытания во влажном тропическом климате Вьетнама показали, что скорость коррозии стали 10Х18Н9Ттам составляет 0,08-0,09 мкм/год; 12Х13 - 4-12 мкм/год, а Ст3 -10-41 мкм/год[3]. В работе для исследований выбрана сталь Ст3, для которой ожидаемые коррозионные разрушения в тропическом климате максимальны.

Таблица 1 – Сравнение коррозионной агрессивности атмосферы

Характеристики атмосферы	Значения характеристик в различных регионах				
	РФ (г. Геленджик)	Вьетнам (г. Нячанг)	Куба (г. Гавана)	Венесуэлла (г. Ла Воз)	Индия (г. Шрихарикота)
Средняя температура, ^{0}С	15	27,5	26,1	27	27.5
Относительная влажность.%	74	82	81	82	74
Концентрация хлоридов в атмосфере, мг/м^{2}в сут.	35	30-60	104	568	5000
Коррозионная агрессивность (по ISO 9223)	С2 (низкая)	С3 (средняя)	С4-С5 (высокая-очень высокая)	СХ (экстремально высокая)	

Наиболее достоверные результаты по защитной эффективности противокоррозионных материалов можно получить при натурных климатических испытаниях. В нашей стране это можно сделать на климатической станции в г. Геленджик. Но получение достаточно достоверных данныхвозможно и при ускоренных коррозионных испытаниях в термовлагокамерах с автоматическим регулированием параметров влажности и температуры и периодической конденсацией влаги на образцах, имитирующих тропические условия, а также при исследованиях в 0,5 М растворе NaCl.

Нанесение масляных покрытий на металлические поверхности – один из наиболее простых способов защиты от атмосферной коррозии. В качестве масляной основы могут быть использованы нефтяные, синтетические и растительные масла. Нужно отметить, что многие защитные покрытия, эффективные в умеренном климате, могут оказаться непригодными в атмосферах с морским, тропическим и субтропическим климатом.

Консервационные материалы из сырья растительного происхождения особенно привлекательныдля противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования, так как сырье доступно сельхозтоваропроизводителям, относительно дешево, возобновляемо, характеризуется высокой биоразлагаемостью, относится к экологически безопасным [4-9]. Не случайно, сегодня на рынке присутствуют товарные продукты на растительной основе, такие как биоразлагаемое масло RAVELON Super Segekettenoel (Германия), пластичные смазки LGFP и Corr Lube Grease; Антикор Раст-Стоп (Канада)из смеси растительных масел с силиконами, ингибитор атмосферной коррозии ФМТ и др. Консервационные материалы на растительной основе могут быть получены децентрализовано, непосредственно у потребителей[9]. С этой целью могут быть использованы некондиционные масла, остаточные продукты их переработки, не осветленные осадки и т.п. [10, 11]

Доступны в условиях сельскохозяйственного производства и отработанные нефтяные и синтетические масла, имеющиеся, как правило, в каждом хозяйстве, которые также активно используются как компоненты консервационных материалов[12,13]

Материалы и методы. Исследовализащитные свойства растительных масел: подсолнечного (экструдерного давления), рапсового низкоэрукового (фермерское), оливкового (Delphi, ROMACE), кукурузного («Приокское»), льняного («Вологодское»), отстоев подсолнечного и рапсового масел, представляющих собой неосветленные осадки, получаемые как отходы при производстве масел. Изучали защитные свойства нефтяных масел (индустриального И-20А, трансформаторного ТКп, моторного М-10$Г_2$(к), отработанного моторного, ММО (~300 мото-ч) и синтетического Мобил-1 (на базе поли-α-олефинов), как товарного, так и отработанного (~190 мото-ч).

Проведены ускоренные коррозионные испытания в термовлагокамере Г-4 по ГОСТ 9.054-75и в 0,5 М растворе NaCl по ГОСТ 9.042-75.

Для электрохимических исследований использовалиэлектрохимический измерительный комплекс фирмы Solartron (Великобритания) с электрохимической ячейкой из стекла «Пирекс» с разделенным шлифом анодным и катодным пространствами. Использовали в качестве рабочего электрода углеродистую сталь Ст3, армированную в оправку из эпоксидной смолы ЭД-5 с отвердителем полиэтиленполиамином, электрода сравнения – насыщенный водный хлорид-серебряный, вспомогательного – гладкую платину[11]. Потенциалы пересчитаны по н.в.ш. Для расчета скорости коррозии использовали уравнение:

$$К = \gamma\ i_{кор},$$

где К – скорость коррозии, г/($м^2$час); $i_{кор}$ – ток коррозии, А/$м^2$; γ - электрохимический эквивалент железа с учетом его перехода в раствор (окисление) в виде Fe^{2+} (г/А-час);.

Защитную эффективность масляных композицийопределяли по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K}{K_0} \cdot 100\ \%\ , \qquad (2.4)$$

где K_0 и К – скорости коррозии металла в отсутствие и при наличии масляной пленки, соответственно.

Эффект последействия оценивали по потенциостатическим поляризационным измерениям на стали Ст3 после смыва масляных пленок в течение 1 минуты потоком дистиллированной воды со скоростью 1 л/мин

Результаты и их обсуждение. Исследования защитных свойств масел в термовлагокамере Г4 и в 0,5 М растворе NaCl показали, что растительные маслав таких условиях показывают лучшие защитные свойства, чем нефтяные (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты ускоренных коррозионных испытаний

N/N	Исследуемое масло	Толщина покрытия, мкм	Термовлагокамера Г-4.				0,5М раствор NaCl			
			сухая поверхность		влажная поверхность		сухая поверхность		влажная поверхность	
			$К \cdot 10^4$ г/($м^2$·час)	Z, %	$К \cdot 10^4$ г/($м^2$·час)	Z, %	$К \cdot 10^4$ г/($м^2$·час)	Z, %	$К \cdot 10^4$ г/($м^2$·час)	Z, %
1	Без покрытия	-	120,2	-	120.0	-	150,0	-	120	-
2	Оливковое	14	2,4	98	3,6	97	37,5	75	3,6	72
3	Кукурузное	20	6,0	95	8,4	93	37,5	75	8,4	73
4	Льняное	10	30,3	75	26,4	78	60,0	60	26,4	60
6	Подсолнечное	20	16,8	86	14,4	88	67,5	55	14,4	53
7	ОПМ	120	0	100	0	100	0	100	0	100
8	Рапсовое	15	6,0	95	8,4	93	45,0	70	8,4	69
9	ОРМ	120	0	100	0	100	0	100	0	100
10	М-10$Г_2$(к)	15	14,4	87	16,8	86	82,5	45	64,8	46
11	ММО (300 мото-ч)	20	3,6	97	6,0	95	75,0	50	57,6	52
12	ПООМ	150	2,4	98	3,6	97	15,0	90	12,0	90
13	Трансформаторное ТКп	7	72,1	40	73,2	39	159,0	-	150,9	-
14	И-20А	9	69,7	42	70,8	41	75,0	50	60,0	50
15	Мобил-1	19	6,0	95	6,0	95	85,5	43	87,0	42
16	ОСМ	21	12,0	90	13,2	89	108,0	28	111,0	26

Нанесение исследованных масел по влажной поверхности практически не сказывается на их защитной эффективности, что упрощает требования к предварительной подготовке металлической

поверхности. Для получения консервационных материалов можно использовать некондиционные продукты. В наших исследованиях наилучшие результаты по защитной эффективности при использовании растительного сырья получены для отстоев подсолнечного (ОПМ) и рапсового (ОРМ) масел.

Высокая защитная эффективность отстоев растительных масел связана, в частности, с повышенным содержанием в них фосфолипидов, обладающих ингибирующим действием [14].

Согласно ускоренным коррозионным испытаниям в термовлагокамере Г-4 и в 0,5 М растворе NaCl ОПМ и ОРМ, в отличие от самих растительных масел, позволяют полностью (Z = ~ 100 %) защитить стальную поверхность от коррозии. При нанесении ОПМ и ОРМ на ржавую поверхность (предварительно окисленную в течение 1 месяца), защитная эффективность пленок в 0,5 М растворе NaCl снижается до 77 % у пленки ОПМ и до 60 % у пленки ОРМ.

Основные физико-химические свойства отстоев подсолнечного (ОПМ) и рапсового (ОРМ) масел, исследованных в работе, представлены в таблице 3.

Таблица 3– Физико-химические свойства отстоев растительных масел

Показатель	ОПМ	ОРМ
Вязкость кинематическая при 100 ^{0}С, мм^2/с	28,0	19,2
Кислотное число, мг КОН/г	2,4	10,5
Температура вспышки, ^{0}С	250	250
Термоокислительная стабильность при 250 ^{0}С, мин.	25	38
Содержание примесей, %.	8,5	4,6
Содержание воды, %	1,2	0,5

Данные электрохимических исследований в 0,5М растворе NaCl подтверждают результаты, полученные при ускоренных коррозионных испытаниях. По данным поляризационных исследований, пленки ОПМ и ОРМ смещают потенциал коррозии в положительную сторону, снижают ток коррозии, по сравнению с незащищенной сталью Ст3 и самими маслами, обеспечивая большую защитную эффективность (рисунок 1, таблица 4).

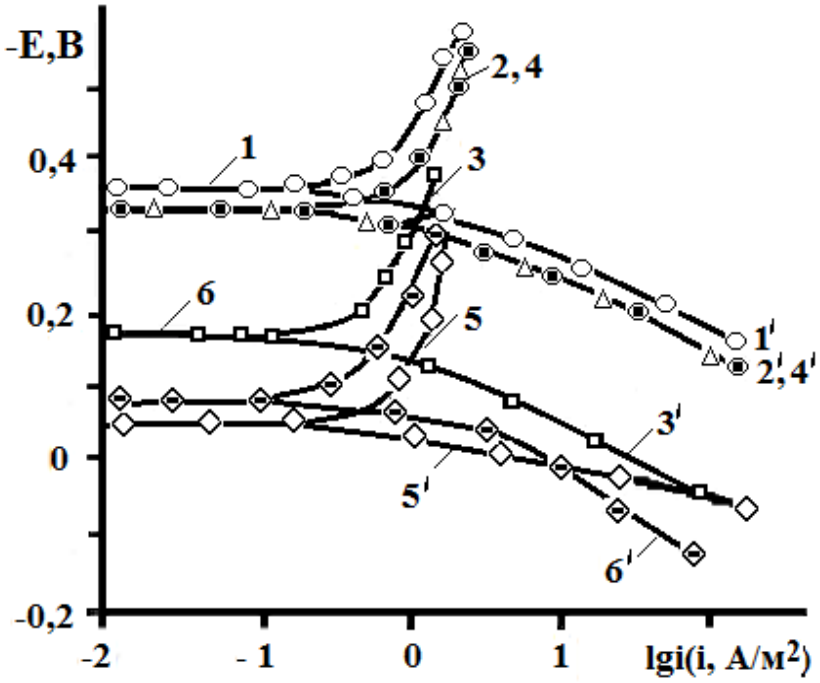


Рисунок 1 – Катодные (1,7) и анодные (1$^/$,-7$^/$) поляризационные кривые стали Ст3 в 0,5 М растворе NaCl без покрытия (1,1$^/$) и покрытых:2,2$^/$ - подсолнечным маслом; 3,3$^/$ - ОПМ; 4,4$^/$ - рапсовым; 5,5$^/$ - ОРМ; 6,6$^/$ - после смыва ОРМ

Таблица 4 – Результаты электрохимических исследований на стали Ст3 в 0,5 М растворе NaCl

Покрытие	Толщина пленки, мкм	$-E_{кор}$, В	$i_{кор}$, А/м^2	$K_{э/х}$, 10^3 г/(м^2·час)	$Z_{э/х}$, %
Без покрытия		0,360	0,500	0,52	-
Рапсовое масло (РМ)	13	0,35	0,357	0,37	29
После смыва РМ	-	0,30			28
ОРМ	20	0,03	0,220	0,23	55
После смыва ОРМ	-	0,04	0,223	0,23	55
Подсолнечное масло	12	0,37	0,400	0,41	21
ОПМ	18	0,16	0,140	0,15	71
После смыва ОПМ	-	0,17	0,145	0,15	71

Следует отметить, что, хотя подсолнечное масло обеспечивает меньшую защитную эффективность, чем рапсовое, для отстоев наблюдается обратная картина. Вероятно, это связано с разным количеством фосфолипидов, концентрирующихся в отстоях.

Деградацию покрытий под действием атмосферных осадков оценивали поэффекту последействия, под которым понимали наличие остаточного защитного эффекта после смыва или попытки смыва ламинированным потоком воды, подаваемым фиксированное время (1минута) с заданной скоростью (1 л в минуту) на масляное покрытие. После смыва защитная эффективность масляных покрытий ОРМ и ОПМ не изменилась, что свидетельствует о высоком последействии из-за высокой адгезии отстоев растительных масел. Наличие такого эффекта обусловлено оставшимися прочно адсорбированными молекулами активного начала, вероятно, в монослое, затормаживающими электродные реакции.

Стальные пластины Ст3, покрытые ОПМ и ОРМ, подвергали длительной выдержке в 0,5М растворе NaCl (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты ускоренных коррозионных испытаний в 0,5 М растворе NaCl

№ пп	Консервационный материал	Время выдержки в 0,5 М растворе NaCl, сутки									
		30		60		90		120		160	
		$K\cdot10^3$, г/м^{2}ч	Z, %	$K\cdot10^3$, г/м^{2}ч	Z, %	$K\cdot10^3$, г/м^{2}ч	Z, %	$K\cdot10^3$, г/м^{2}ч	Z, %	$K\cdot10^3$, г/м^{2}ч	Z, %
1	ОПМ	0	100	0	100	0	100	1,0	98	6	90
2	ОРМ	0	100	0	100	0	100	1,5	97	6,6	89
3	ПООМ	0	90	0	89	0	88	1,0	98	6,6	89
4	Контроль	18		23		37		50		60	
Примечания - Температура: нанесения пленки 20^{0}С; проведения эксперимента – комнатная. Толщина покрытия – 120 мкм.											

Как свидетельствуют полученные результаты, стальная поверхность под масляной пленкой лишь незначительно корродирует в течение 160 суток. Возможность обеспечения длительной противокоррозионной защиты металлоизделий в агрессивной солевой среде говорит о перспективности применения этих материалов в атмосфере морского климата или в морской воде.

Среди нефтяных масел наибольшей защитной эффективностью обладают отработанные моторные масла. Об этом свидетельствуют приведенные выше результаты ускоренных коррозионных испытаний в термовлагокамере Г-4 и в 0,5М растворе NaCl (таблица 1), а также данные электрохимических исследований (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты электрохимических измерений на стали, покрытой пленками исследуемых композиций в 0,5М растворе NaCl при комнатной температуре

№	Масло	Данные электрохимических исследований					
		до смыва			после смыва		
		$-E_{кор.}$, В	$K_Э\cdot10^{-3}$, г/м^{2}ч	Z,%	$-E_{кор.}$,В	$K_Э\cdot10^{-3}$,г/м^{2}ч	Z,%
	И-20А	0,340	0,734	29	0,420	-	-
	ТКп	0,380	0,926	11	0,450	-	-
1	Свежее М-10 $Г_{2(к)}$	0,385	0,749	28	0,410	1,020	1
2	ММО (~500 м-ч)	0,315	0,541	48	0,370	0,926	11
4	ПООМ	0,255	0,208	80	0,260	0,302	71
5	Мобил-1	0,270	0,645	38			
6	ОСМ	0,350	0,842	19			
6	Без покрытия	0,420	1,040	-	-	-	-

За повышенную ингибирующую способность ММО отвечают асфальто-смолистые соединения, появившиеся в них при окислении в процессе эксплуатации [15-17]. Они отвечают и за эффект последействия, который отсутствует для трансформаторного и индустриального масел.

Эффективность товарного синтетического масла Мобил-1 выше, чем у нефтяного М-10 $Г_{2(к)}$, как по ускоренным коррозионным испытаниям в термовлагокамере Г-4 и в 0,5 М растворе NaCl (таблица 1), так и по электрохимическим измерениям,что можно объяснить действием антикоррозионных присадок, а для отработанного синтетического масла наблюдается обратная картина (таблица 6).

Асфальто-смолистые соединения при очистке отработанного моторного масла с помощью разделяющего агента – карбамида (диамида угольной кислоты) [11,18] в концентрированном виде попадают в разряд отходов - продуктов очистки отработанных моторных масел (ПООМ). ПООМ активно защищает стальную поверхность в условиях ускоренных коррозионных испытаний (таблица1) и электрохимических исследований (таблица 6). Для композиций ПООМ с ММО защитная эффективность возрастает с ростом концентрации ПООМ, в том числе и при нанесении по ржавой поверхности (рисунок 2), мало зависит от того , по сухой или влажной не окисленной предварительно поверхности нанесено масляное покрытие.

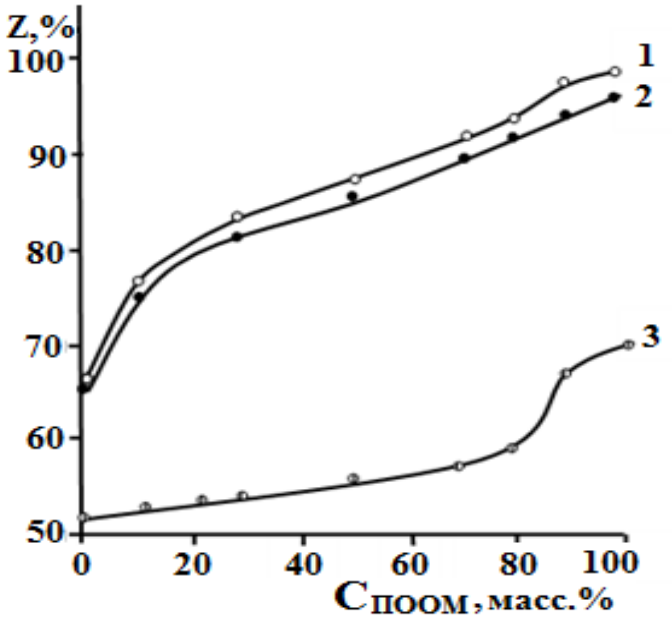


Рисунок 2– Зависимость защитной эффективности (Z) консервационных составов от содержания в них продуктов очистки (ПООМ) в 0,5 М растворе NaCl. Нанесение: 1 – по обезжиренной сухой шлифованной поверхности; 2 – по шлифованной влажной поверхности; 3 – по окисленной поверхности

Исследования показали, что на защитную эффективность составов с концентрацией ПООМ выше 50 масс.% не оказывает влияние природа масла [19].

Для тропического климата характерно большое количество осадков, во время выпадения которых возможно обводнение консервационных материалов [20]. Было исследовано влияние обводнения на защитную эффективность противокоррозионных материалов. Полученные результаты показали, что водные эмульсии растительных масел (50:50) по защитной эффективности не уступают исходным растительным маслам. При обводнении исследуемых трансформаторного, индустриального и отработанного синтетического масел вдвое на 10-12% возрастает их изначально низкая защитная эффективность.Обводненные составы на основе ПООМ и ММО эффективнее необводненных (таблица 7), и составы с концентрацией ПООМ 70-100 масс.% также можно рекомендовать для защиты техники и оборудования в регионах с морским, субтропическим и тропическим климатом.

Таблица 7 – Защитная эффективность составов на основе ПООМ и ММО

$C_{ПООМ}$ в ММО масс. %	Защитная эффективность, %:					
	Необводненные составы			Обводненные составы ($C_{КС}$:C_{H_2O} = 50 : 50)		
	Толщина покрытия	0,5 М NaCl (14 суток)	Термовлагокамера Г-4 (40 суток)	Толщина покрытия	0,5 М NaCl, (14 суток)	Термовлагокамера Г-4 (40 суток)
0	20	70	60	14	73	75
10	22	72	82	16	76	90
30	25	77	88	20	83	98
50	32	88	94	25	86	99
70	40	85	96	30	91	99
90	48	90	96	34	94	96
100	50	90	97	36	96	97
Примечания: Скорость коррозии незащищенной стали при испытаниях: в термовлагокамере Г-4 - 0,1085 г/(м^{2}ч); в 0,5 М NaCl – 0,164 г/(м^{2}ч)						

Заключение. Для защиты стальных поверхностей от атмосферной коррозии в регионах с морским, субтропическим и тропическим климатом можно рекомендовать отстои растительных масел, если принципиально важны аспекты экологической безопасности, а также материалы на основе ПООМ, в том числе и обводненные. Эти материалы показывают высокую защитную эффективность (до 90-100%) в условиях, имитирующих тропический климат.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 18-16-00006

Список литературы

1. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. Ч.1. Факторы влияния (обзор)// Коррозия: материалы, защита. – 2013. – № 12. – С. 6 – 15.
2. Каблов Е.Н., Старцев О.В. Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях// Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 4. – С.38-52.
3. Ву Динь Вуй. Атмосферная коррозия металлов в тропиках. М.: Наука.1994. 240 с.
4. Вигдорович В.И., Таныгин А.Ю., Таныгина Е.Д, Селеменев В.Ф., Назарова А.А. Составы на основе рапсового масла для защиты от атмосферной коррозии металлических конструкций. // Химия и технология топлив и масел. – 2009. – № 2. – С. 31 - 38.
5. Князева Л.Г., Прохоренков В.Д., Кузнецова Е.Г.Растительное сырье для защиты сельскохозяйственной техники/ Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства Сборник научных докладов XVI Международной научно-практической конференции. – 2011. – С. 366-369.
6. Князева Л.Г., Прохоренков В.Д. Растительные масла для противокоррозионной защиты//Практика противокоррозионной защиты. – 2009. –№ 2 (52). –С. 22-27.
7. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И., Князева Л.Г. Растительные масла против коррозии//Сельский механизатор. – 2009. – № 7. – С. 35.
8. Князева Л.Г., Петрашев А.И.Коррозионные свойства композиций на основе растительных масел/ Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции. Новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 239-242.
9. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Петрашев А.И., Кузнецова Е.Г. Использование растительных масел для защиты техники от атмосферной коррозии / Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием. под редакцией Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. – 2014. – С. 318-320.
10. Князева Л.Г., Прохоренков В.Д., Петрашев А.И. Использование некондиционных продуктов при защите сельскохозяйственной техники/ Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового

поколения для растениеводства и животноводства Сборник научных докладов XV Международной научно-практической конференции. Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве. – 2009. – С. 377-381.

11. Князева Л.Г.Научные основы создания антикоррозионных консервационных материалов на базе отработавших нефтяных масел и растительного сырья. диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук / ГОУВПО "Тамбовский государственный технический университет". Тамбов, 2012

12. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Кузнецова Е.Г., Урядников А.А., Остриков В.В., Зазуля А.Н.Антикоррозионная эффективность пленок нефтяных и синтетических масел и их физико-химические характеристики// Коррозия: материалы, защита. – 2014. – № 9. – С. 35-41.

13. Князева Л.Г., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Кузнецова Е.Г., Прохоренков В.Д. Антикоррозионная эффективность поверхностных защитных пленок товарных и отработанных синтетических масел на примере продукта МОБИЛ-1// Практика противокоррозионной защиты. – 2014. – № 2 (72). – С. 58-65

14. Коваль И.В., Кобзарь М.В. Исследование возможности использования фосфатидов подсолнечного масла в качестве ингибиторов кислотной коррозии металлов. // Вопросы химии и химической технологии. – 2004. – № 1. – С. 178 – 180.

15. Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Остриков В.В., Вигдорович В.И. Носители защитной эффективности отработавших моторных масел // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 1 (533). – С. 26-28.

16. Прохоренков В.Д., Остриков В.В., Князева Л.Г., Чернышева И.Ю. Противокоррозионные свойства отработанного моторного масла М10$Г_2$(к)//Практика противокоррозионной защиты. – 2003. – № 2 (28). – С. 7-11.

17. Вигдорович В.И., Шель Н.В., Князева Л.Г., Цыганкова Л.Е., Головченко А.О., Прохоренков В.Д.Защитная эффективность масляных композиций в условиях атмосферной коррозии углеродистой стали. Составы на основе отработавших масел//Практика противокоррозионной защиты. – 2010. – № 4 (58). – С. 15-26.

18. Прохоренков В.Д., Вигдорович В.И., Князева Л.Г., Епифанцев С.С. Состав и противокоррозионные свойства остаточных продуктов очистки и осветления отработанных моторных масел//Практика противокоррозионной защиты. – 2003. – № 3 (29). – С. 55-58.

19. Вигдорович В.И., Прохоренков В.Д., Князева Л.Г., Епифанцев С.С. Защита от атмосферной коррозии отработанными маслами, ингибированными продуктами их очистки. Сообщение 4. Защитная эффективность ингибированных ПООМ отработанных масел в условиях влагонасыщения// Практика противокоррозионной защиты. – 2006. – № 2 (40). – С. 41-47.

20. .Князева Л.Г., Кузнецова Е.Г., Прохоренков В.Д.Защитная эффективность обводненных композиций на основе отработанных моторных масел// Коррозия: материалы, защита. – 2016. – № 9. – С. 10-14.

References

1. Kablov E.N., Starcev O.V., Medvedev I.M., Panin S.V. Korrozionnaya agressivnost' primorskoj atmosfery. CH.1. Faktory vliyaniya (obzor)// Korroziya: materialy, zashchita. – 2013. – № 12. – S. 6 – 15.

2. Kablov E.N., Starcev O.V. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya korrozii i stareniya materialov v klimaticheskih usloviyah// Aviacionnye materialy i tekhnologii. – 2015. – № 4. – S.38-52.

3. Vu Din' Vuj. Atmosfernaya korroziya metallov v tropikah. M.: Nauka.1994. 240 s.

4. Vigdorovich V.I., Tanygin A.YU., Tanygina E.D, Selemenev V.F., Nazarova A.A. Sostavy na osnove rapsovogo masla dlya zashchity ot atmosfernoj korrozii metallicheskih konstrukcij. // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. – 2009. – № 2. – S. 31 - 38.

5. Knyazeva L.G., Prohorenkov V.D., Kuznecova E.G.Rastitel'noe syr'e dlya zashchity sel'skohozyajstvennoj tekhniki/ Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skohozyajstvennoj produkcii – novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva Sbornik nauchnyh dokladov XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – 2011. – S. 366-369.

6. Knyazeva L.G., Prohorenkov V.D. Rastitel'nye masla dlya protivokorrozionnoj zashchity//Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2009. –№ 2 (52). –S. 22-27.

7. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I., Knyazeva L.G. Rastitel'nye masla protiv korrozii//Sel'skij mekhanizator. – 2009. – № 7. – S. 35.

8. Knyazeva L.G., Petrashev A.I.Korrozionnye svojstva kompozicij na osnove rastitel'nyh masel/ Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skohozyajstvennoj produkcii. Novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva sbornik nauchnyh trudov HVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – 2013. – S. 239-242.

9. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Petrashev A.I., Kuznecova E.G. Ispol'zovanie rastitel'nyh masel dlya zashchity tekhniki ot atmosfernoj korrozii / Novye dostizheniya v himii i himicheskoj tekhnologii rastitel'nogo syr'ya Materialy VI Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. pod redakciej N.G. Bazarnovoj, V.I. Markina. – 2014. – S. 318-320.

10. Knyazeva L.G., Prohorenkov V.D., Petrashev A.I. Ispol'zovanie nekondicionnyh produktov pri zashchite sel'skohozyajstvennoj tekhniki/ Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skohozyajstvennoj produkcii - novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva Sbornik nauchnyh dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Rossijskaya akademiya sel'skohozyajstvennyh nauk, Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij i proektno-tekhnologicheskij institut po ispol'zovaniyu tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve. – 2009. – S. 377-381.

11. Knyazeva L.G.Nauchnye osnovy sozdaniya antikorrozionnyh konservacionnyh materialov na baze otrabotavshih neftyanyh masel i rastitel'nogo syr'ya. dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora himicheskih nauk / GOUVPO "Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet". Tambov, 2012

12. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., SHel' N.V., Kuznecova E.G., Uryadnikov A.A., Ostrikov V.V., Zazulya A.N.Antikorrozionnaya effektivnost' plenok neftyanyh i sinteticheskih masel i ih fiziko-himicheskie harakteristiki// Korroziya: materialy, zashchita. – 2014. – № 9. – S. 35-41.

13. Knyazeva L.G., Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., SHel' N.V., Kuznecova E.G., Prohorenkov V.D. Antikorrozionnaya effektivnost' poverhnostnyh zashchitnyh plenok tovarnyh i otrabotannyh sinteticheskih masel na primere produkta MOBIL-1// Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2014. – № 2 (72). – S. 58-65

14. Koval' I.V., Kobzar' M.V. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya fosfatidov podsolnechnogo masla v kachestve ingibitorov kislotnoj korrozii metallov. // Voprosy himii i himicheskoj tekhnologii. – 2004. – № 1. – S. 178 – 180.

15. Prohorenkov V.D., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Vigdorovich V.I. Nositeli zashchitnoj effektivnosti otrabotavshih motornyh masel // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. – 2006. – № 1 (533). – S. 26-28.

16. Prohorenkov V.D., Ostrikov V.V., Knyazeva L.G., CHernysheva I.YU. Protivokorrozionnye svojstva otrabotannogo motornogo masla M10G2(k)//Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2003. – № 2 (28). – S. 7-11.

17. Vigdorovich V.I., SHel' N.V., Knyazeva L.G., Cygankova L.E., Golovchenko A.O., Prohorenkov V.D.Zashchitnaya effektivnost' maslyanyh kompozicij v usloviyah atmosfernoj korrozii uglerodistoj stali. Sostavy na osnove otrabotavshih masel//Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2010. – № 4 (58). – S. 15-26.

18. Prohorenkov B.D., Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Epifancev C.S. Sostav i protivokorrozionnye svojstva ostatochnyh produktov ochistki i osvetleniya otrabotannyh motornyh masel//Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2003. – № 3 (29). – S. 55-58.

19. Vigdorovich V.I., Prohorenkov V.D., Knyazeva L.G., Epifancev S.S. Zashchita ot atmosfernoj korrozii otrabotannymi maslami, ingibirovannymi produktami ih ochistki. Soobshchenie 4. Zashchitnaya effektivnost' ingibirovannyh POOM otrabotannyh masel v usloviyah vlagonasyshcheniya// Praktika protivokorrozionnoj zashchity. – 2006. – № 2 (40). – S. 41-47.

20. .Knyazeva L.G., Kuznecova E.G., Prohorenkov V.D.Zashchitnaya effektivnost' obvodnennyh kompozicij na osnove otrabotannyh motornyh masel// Korroziya: materialy, zashchita. – 2016. – № 9. – S. 10-14.

Поступила в редакцию: 30.04.2019
Принята к публикации: 05.06.2019

УДК 621.941:539.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНО – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ ПО СХЕМЕ ТРЕНИЯ «ВАЛ – НЕПОЛНЫЙ ВКЛАДЫШ» ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Зазуля Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор, e-mail: zazulja_an@rambler.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов
Халимов Рустам Шамильевич,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: hrasp29@yandex.ru
Молочников Денис Евгеньевич
кандидат технических наук, доцент, e-mail: denmol@yandex.ru
Аюгин Николай Петрович
кандидат технических наук, доцент, e-mail: nikall85g@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрныйуниверситет им. П.А. Столыпина», г. Ульяновск
Гаязиев Ильнар Наилевич
кандидат технических наук, доцент, e-mail: gazel.81@mail.ru
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань

Реферат. *Важной задачей ремонтно-обслуживающих предприятий является решение вопросов технологического обеспечения и повышения долговечности машин. Для повышения износостойкости пары трения предложены комбинированные методы упрочнения поверхности с использованием электромеханической обработки (ЭМО) и применением антифрикционных полимерных материалов. Изучали вопросы комбинированной упрочняющей обработки поверхностей трения различных деталей с образованием направленного регулярного микрорельефа для улучшения работы прецизионных пар трения, за счет снижения износа. Выполнены лабораторно-экспериментальные исследования образцов из различных материалов при смешанном трении. Триботехнические свойства пар трения – скольжения из различных материалов оценивали на машине трения 2070 СМТ-1. Испытания проводили при различных режимах нагружения, скорости вращения образцов и измененных условий смазки. Полученные результаты показали, что у упрочненных электромеханической обработкой роликов момент силы трения имеет тенденцию к снижению во времени. У пар трения упрочненных роликов с полимерным материалом Ф4К15М5 наблюдается узкополосное снижение коэффициента трения и более ровный характер изменения на любом режиме трения. По гистограммам среднего износа установлено, что лучшей износостойкостью обладают упрочненные ЭМО ролики в контакте с полимерным материалом Ф4К15М5, износ уменьшается более, чем в 100 раз по сравнению с не упрочненными образцами. Предложены соответствующие рекомендации по практическому применению испытанных пар трения при ремонте сельскохозяйственной техники.*

Ключевые слова: *Электромеханическая обработка, триботехнические исследования, машина трения, коэффициент трения, величина износа*

RESULTS LABORATORY - EXPERIMENTAL RESEARCHES OF SAMPLES OF MATERIALS UNDER THE PLAN OF FRICTION «A SHAFT - THE INCOMPLETE LOOSE LEAF» AFTER ELECTROMECHANICAL PROCESSING

Zazulya Alexander,
Full Doctor of Technical Sciences, associate professor, e-mail: zazulja_an@rambler.ru
FGBNU "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov.
Khalimov Rustam,
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: hrasp29@yandex.ru
Molochnikov Denis,
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: denmol@yandex.ru

Ayugin Nikolay,
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: nikall85g@yandex.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Ulyanovsk state agricultural University named after P. A. Stolypin", Ulyanovsk
Gayaziev Ilnar
candidate of technical Sciences, associate Professor, e-mail: gazel.81@mail.ru
Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education Kazan State Agrarian University ", Kazan

Abstract. *An important task of the repair and service enterprises is to solve the issues of technological support and increase the durability of machines. Combined methods of surface hardening using electromechanical processing (EMO) and the use of antifriction polymeric materials have been proposed to improve the wear resistance of a friction pair. The issues of combined hardening treatment of friction surfaces of various parts with the formation of a directional regular microrelief to improve the operation of precision friction pairs, by reducing wear and tear, were studied. Laboratory and experimental studies of samples of various materials with mixed friction were performed. The tribotechnical properties of friction pairs - sliding from various materials were evaluated using a 2070 SMT-1 friction machine. Narrowband friction coefficient reduction and more even character of change in any friction mode is observed in friction pairs of hardened rollers with F4K15M5 polymer material. According to histograms of average wear, it was found that reinforced EMI rollers in contact with the F4K15M5 polymer material have the best wear resistance, wear is reduced by more than 100 times compared to non-reinforced samples. Relevant recommendations for the practical application of friction pairs tested in the repair of agricultural equipment have been proposed.*

Key words. *Electromechanical processing, dynamic characteristics, metal-cutting machines, movable joint " guides - carriage».*

Введение. Работу агропромышленного комплекса невозможно представить без ремонтно-обслуживающих предприятий, важной задачей которых является решение вопросов технологического обеспечения и повышения долговечности машин. При обработке деталей на металлорежущих станках трение подвижных узлов по направляющим в значительной мере определяет устойчивость технологической системы при резании и точность обработки, состояние поверхностного слоя направляющих отвечает за процессы изнашивания [7]. Для повышения износостойкости пары трения (направляющие станка – суппорт) могут применяться комбинированные методы упрочнения поверхности направляющих, с использованием электромеханической обработки (ЭМО) и применение антифрикционных полимерных материалов на контактирующей поверхности суппорта. [1, 5]. В ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ были проведены сравнительные триботехнические испытания различных пар трения скольжения: сырого и упрочненного материалов при сухом трении и трении со смазкой с примесью абразива.

Материалы и методы исследований. При исследовании моделировали условия пары трения направляющие - суппорт металлорежущих станков, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях (сухое трение, стружка на направляющих, большие нагрузки на направляющие, большая скорость перемещения суппорта по направляющим и т.д.). Испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1, в соответствии с существующими рекомендациями и инструкцией по эксплуатации [1, 2, 3, 4, 6].

Во время исследований, при помощи потенциометра КСП-4 с пределом измерения 0…10 мВ, фиксировался момент силы трения. Также замерялась температура в зоне трения стандартной термопарой, которая подключается к мультиметру. Для определения износа проводили взвешивание образцов до и после испытаний на весах WA-31 зав. № 40192 (Польша) с точностью измерения 0,0001 г.

Поверхность направляющих (см. рисунок 1) имитировали образцы в виде плоских цилиндрических дисков (ролики) – 2 из сырых и упрочненных марок: чугуна СЧ20, стали 45, 20Х13, 09Г2С, ХВГ (наружный диаметр 50 мм, толщина 12 мм) с центральным отверстием диаметром 16 мм для установки на вал машины трения. Режим упрочнения роликов выбран согласно [8]: величина силы тока I=700 – 800А, напряжение U=4В, частота вращения

упрочняемого ролика n=4 об/мин, подача 3 мм/мин. Ползун имитировали чугунные образцы 1 в виде параллелепипеда (45×30×10) с выемкой радиусом 25 мм. Так же в качестве ползуна использовались чугунные образцы с наклеенными на поверхность контакта лентами из полимерного материала Ф4К15М5 толщиной 2 мм, по методике [1].

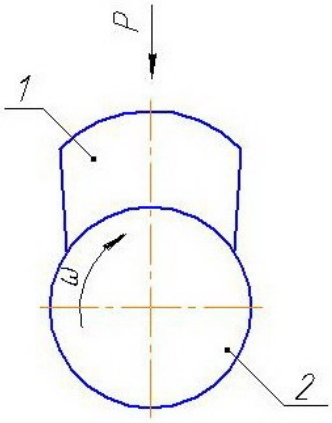


Рисунок 1 – Схема испытаний «вал – неполный вкладыш»

Исследование образцов по схеме “вал – неполный вкладыш” проводили на следующих режимах:

- нагрузка в зоне трения – 600 Н;
- скорость относительного скольжения – 28 м/мин;
- время истирания, в зависимости от режима трения и поверхностей трения – 5, 15, 30, 150, 180 мин;

При трении с абразивом для смазывания трущихся поверхностей образцов использовали индустриальное масло И-20, которое подавалось в зону трения по заданному режиму ~ 0,05 г, каждые 5 мин. В масло добавляли абразивные частицы с концентрацией 10% по массе.

Испытания по каждому виду трения и материала проводилась с трехкратным повторением, затем по трем испытаниям определялось среднее значение контролируемых параметров.

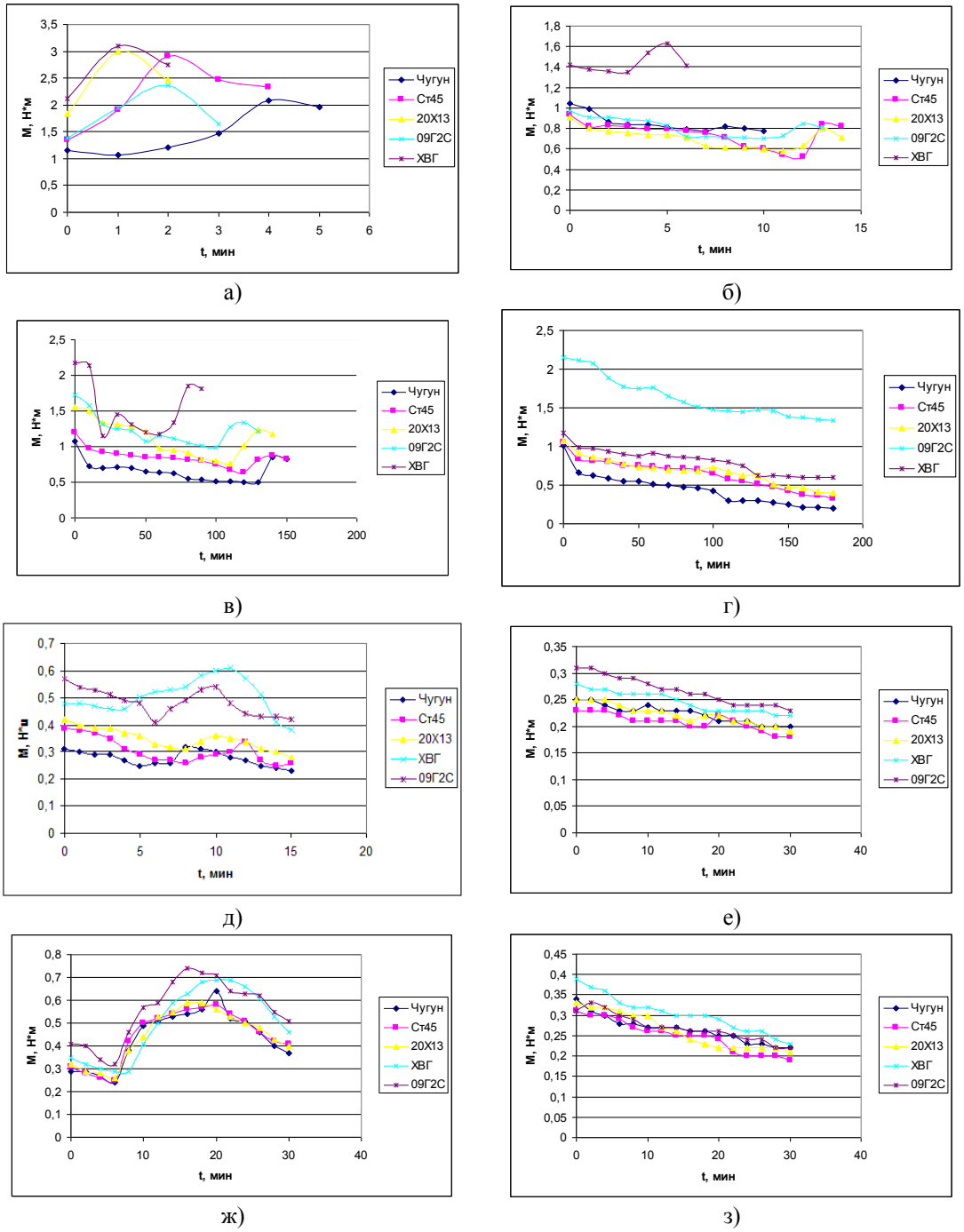
Результаты исследований и их обсуждение. По результатам исследований построены графики зависимости момента силы трения от времени, температуры в зоне трения, а также гистограмма среднего износа роликов за время испытаний, в зависимости от поверхности материала и от режима трения.

На рисунке 2 показано изменение момента силы трения за время испытаний.

Изменение температуры в зоне трения за время испытаний изображено на рисунке 3. На приведенных графиках видно, что у пар трения роликов с Ф4К15М5 изменение температуры по времени испытаний имеет однотипный характер, температура в зоне контакта повышается плавно и не превышает 32ºС за время испытаний.

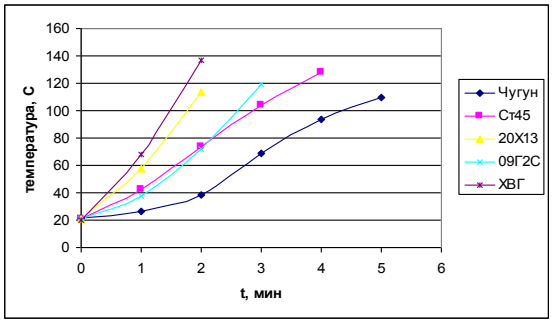
На рисунке 4 представлены гистограммы среднего износа роликов за время испытаний. По гистограммам видно, что меньшим износом, а следовательно, и лучшей износостойкостью обладают упрочненные ЭМО ролики в контакте с полимерным материалом Ф4К15М5.

Заключение. Представлены основные результаты лабораторно – экспериментальных исследований образцов материалов по схеме «вал – неполный вкладыш» в виде графиков и гистограмм, соответствующие тяжелым (черновым) режимам обработки на токарных станках среднего типоразмера. Образцы, упрочненные ЭМО, при контакте с полимерным материалом Ф4К15М5, показали более чем 2-х кратное снижение значений момента силы трения и ее стабильный характер, что свидетельствует о целесообразности применения таких пар в подвижных узлах (ползунах, суппортах, и т.п.) прецизионных металлорежущих станков. Полученные характеристики трения могут быть использованы для моделирования динамики перемещения суппорта токарных станков. Целесообразно выполнить дополнительные сравнительные исследования аналогичных образцов для чистовых режимов механической обработки.

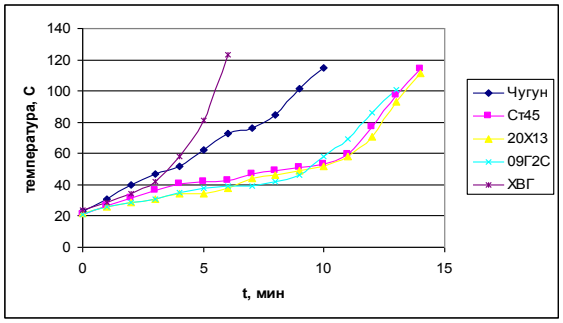


а) сырой материал роликов – чугун (сухое трение); б) ЭМО роликов – чугун (сухое трение); в) сырой материал роликов – чугун (смазка с абразивом); г) ЭМО роликов – чугун (смазка с абразивом); д) сырой материал роликов - Ф4К15М5 (сухое трение); е) ЭМО роликов - Ф4К15М5 (сухое трение); ж) сырой материал роликов - Ф4К15М5 (смазка с абразивом); з) ЭМО роликов - Ф4К15М5 (смазка с абразивом)

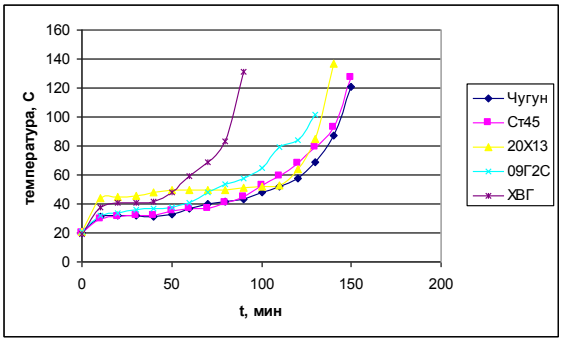
Рисунок 2 – Изменение момента силы трения за время испытаний.



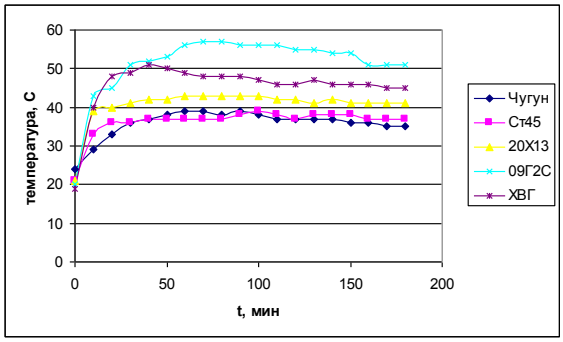
а)



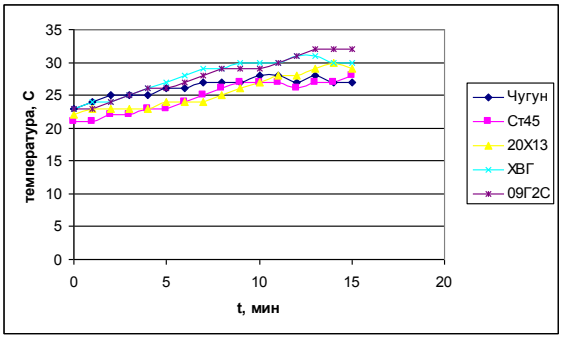
б)



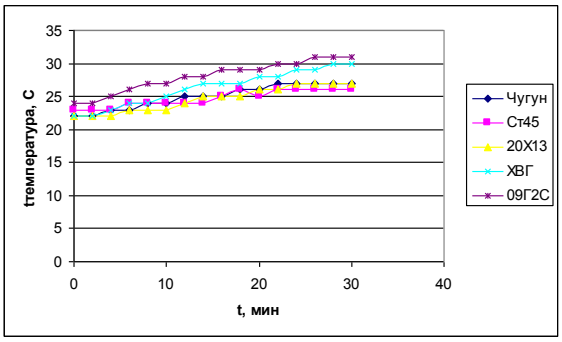
в)



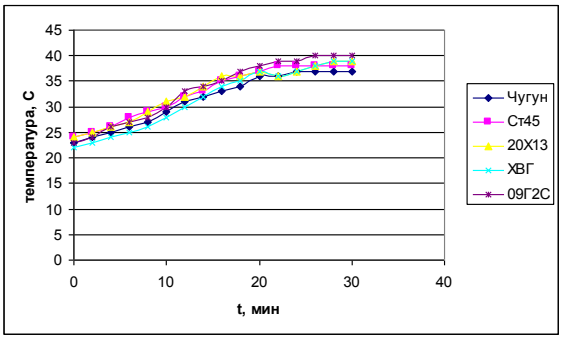
г)



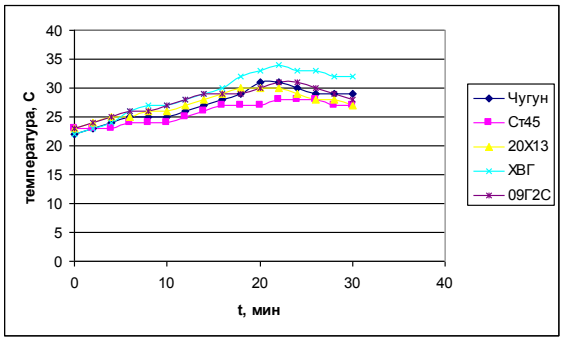
д)



е)



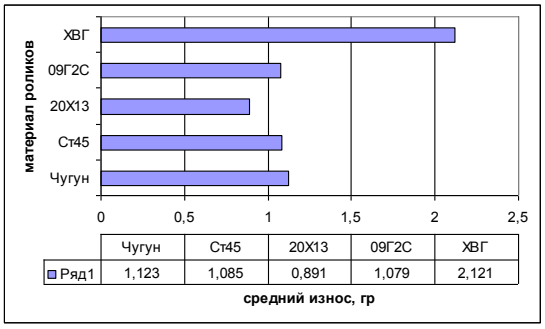
ж)



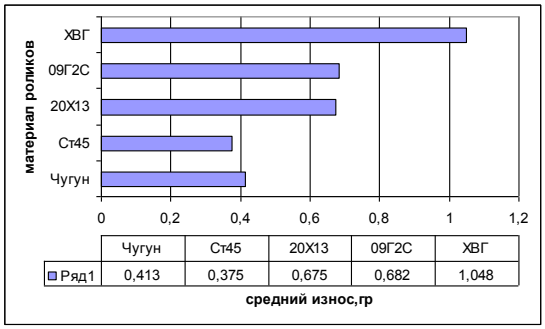
з)

а) сырой материал роликов – чугун (сухое трение); б) ЭМО роликов – чугун (сухое трение); в) сырой материал роликов – чугун (смазка с абразивом); г) ЭМО роликов – чугун (смазка с абразивом); д) сырой материал роликов - Ф4К15М5 (сухое трение); е) ЭМО роликов - Ф4К15М5 (сухое трение); ж) сырой материал роликов - Ф4К15М5 (смазка с абразивом); з) ЭМО роликов - Ф4К15М5 (смазка с абразивом)

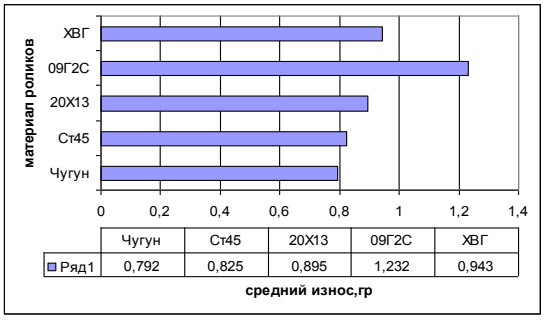
Рисунок 3 – Изменение температуры в зоне трения за время испытаний



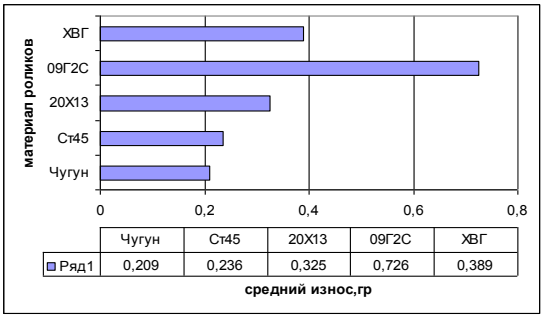
а)



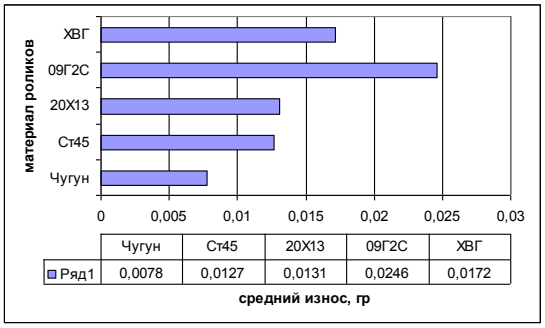
б)



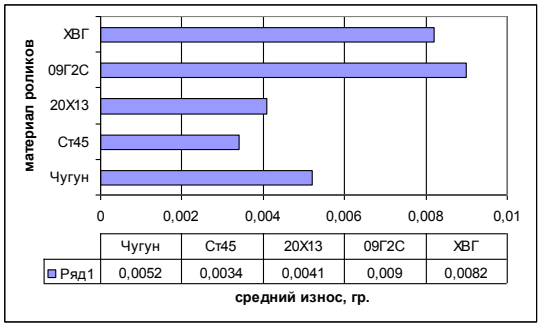
в)



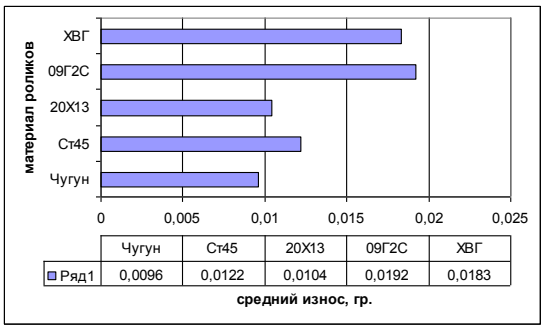
г)



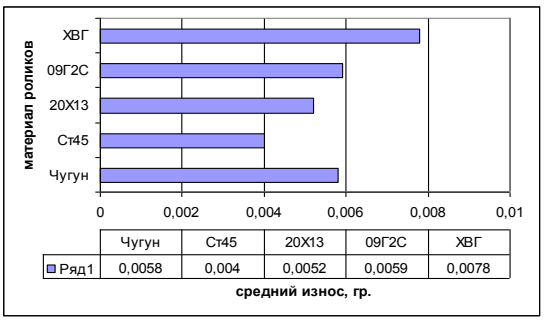
д)



е)



ж)



з)

а) сырой материал роликов – чугун (сухое трение); б) ЭМО роликов – чугун (сухое трение); в) сырой материал роликов – чугун (смазка с абразивом); г) ЭМО роликов – чугун (смазка с абразивом); д) сырой материал роликов - Ф4К15М5 (сухое трение); е) ЭМО роликов - Ф4К15М5 (сухое трение); ж) сырой материал роликов - Ф4К15М5 (смазка с абразивом); з) ЭМО роликов - Ф4К15М5 (смазка с абразивом)

Рисунок 4 – Гистограмма среднего износа роликов за время испытаний.

Список литературы

1. Жиганов, В.И. Новые методы получения направленного регулярного микрорельефа поверхностей трения / В.И. Жиганов, Р.Ш. Халимов // Материалы 10-й международной научно – практической конференции «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки». – Санкт – Петербург: СпГПУ (НПФ “Плазмацентр”), 2008. – С. 159 – 164.

2. Патент 2385212 РФ, МПК B24B Способ упрочнения поверхности деталей / В.И. Жиганов, Р.Ш. Халимов, Н.А. Смирнова; Заявл. 11.02.2008; Опубл. 27.03.2010.

3. Патент 2271919 РФ, МПК B24B 39/00. Инструмент для электромеханической обработки поверхности деталей / В.И. Жиганов; Заявл. 20.04.2004; Опубл. 20.03.2006.

4. Кудинов, В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.

5. Санкин, Ю.Н. Устойчивость токарных станков при резании / Ю.Н. Санкин, В.И. Жиганов, Н.Ю. Санкин // СТИН. – 1997. - № 7. – С. 20 – 23.

6. Санкин, Ю.Н. Влияние трения в направляющих скольжения на виброустойчивость прецизионного токарного станка при резании с учетом динамических характеристик заготовки / Ю.Н. Санкин, В.И. Жиганов, С.Л. Пирожков // СТИН. – 2009. - №7. – С. 2 – 6.

7. Жиганов, В.И. Исследование трения и разработка методов электромеханической обработки поверхностей направляющих скольжения металлорежущих станков / В.И. Жиганов, Р.Ш. Халимов // СТИН. – 2009. - №4. - С. 2 – 5.

8. Жиганов, В.И. Моделирование стыка пары трения “ползун - направляющие” и факторы определяющие точность расчета / В.И. Жиганов, Р.Ш. Халимов // Материалы всероссийской научно – практической конференции «Актуальные проблемы агропромышленного комплекса». – Ульяновск: УГСХА, 2008. – С. 148-156.

9. Khalimov, R.S. Vibrational stability of metal-cutting machines with modified frictional conditions in the slipping guides / R.S. Khalimov // Russian engineering research. – 2015. - №7. – pp. 539 – 540.

10. Определение динамических характеристик подвижных стыков машин / А.Н. Зазуля, Р.Ш. Халимов, Д.Е. Молочников, Н.П.Аюгин, Л.Г. Татаров // Наука в центральной России, № 5 (35), 2018. С. 11-17.

11. Яковлев, С.А. Новый способ упрочнения малоуглеродистых сталей // С.А. Яковлев, Д.Е. Молочников // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: материалы Национальной научно-практической конференции. Том II. Димитровград, ТИ - филиал УлГАУ, 2018. С. 296-300.

12. Глущенко, А.А. Испытания автомобилей и тракторов: учебное пособие для студентов инженерного факультета / А.А. Глущенко, Д.Е. Молочников, И.Р. Салахутдинов, Е.Н. Прошкин – Ульяновск: УлГАУ, 2018. – 384 с.

References

1. ZHiganov, V.I. Novye metody polucheniya napravlennogo regulyarnogo mikrorel'efa poverhnostej treniya / V.I. ZHiganov, R.SH. Halimov // Materialy 10-j mezhdunarodnoj na-uchno – prakticheskoj konferencii «Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya de-talej mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoj osnastki». – Sankt – Peterburg: SpGPU (NPF “Plazmacentr”), 2008. – S. 159 – 164.

2. Patent 2385212 RF, MPK V24V Sposob uprochneniya poverhnosti detalej / V.I. ZHi-ganov, R.SH. Halimov, N.A. Smirnova; Zayavl. 11.02.2008; Opubl. 27.03.2010.

3. Patent 2271919 RF, MPK V24V 39/00. Instrument dlya ehlektromekhanicheskoj obra-botki poverhnosti detalej / V.I. ZHiganov; Zayavl. 20.04.2004; Opubl. 20.03.2006.

4. Kudinov, V.A. Dinamika stankov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 360 s.

5. Sankin, YU.N. Ustojchivost' tokarnyh stankov pri rezanii / YU.N. Sankin, V.I. ZHi-ganov, N.YU. Sankin // STIN. – 1997. - № 7. – S. 20 – 23.

6. Sankin, YU.N. Vliyanie treniya v napravlyayushchih skol'zheniya na vibroustojchivost' precizionnogo tokarnogo stanka pri rezanii s uchetom dinamicheskih harakteristik zago-tovki / YU.N. Sankin, V.I. ZHiganov, S.L. Pirozhkov // STIN. – 2009. - №7. – S. 2 – 6.

7. ZHiganov, V.I. Issledovanie treniya i razrabotka metodov ehlektromekhanicheskoj ob-rabotki poverhnostej napravlyayushchih skol'zheniya metallorezhushchih stankov / V.I. ZHiganov, R.SH. Halimov // STIN. – 2009. - №4. - S. 2 – 5.

8. ZHiganov, V.I. Modelirovanie styka pary treniya “polzun - napravlyayushchie” i fakto-ry opredelyayushchie tochnost' rascheta / V.I. ZHiganov, R.SH. Halimov // Materialy vserossij-skoj nauchno – prakticheskoj konferencii «Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa». – Ul'yanovsk: UGSHA, 2008. – S. 148-156.

9. Khalimov, R.S. Vibrational stability of metal-cutting machines with modified frictional conditions in the slipping guides / R.S. Khalimov // Russian engineering research. – 2015. - №7. – pp. 539 – 540.

10. Determination of dynamic characteristics of mobile joints of machines / A. N. Zazulya, R. Sh. Halimov, D. E. Molochnikov, N. P.Ayugin, L. G. Tatarov // Science in Central Russia, № 5 (35), 2018. P. 11-17.

11. Yakovlev, S. A. a New method of strengthening low-carbon steels // S. A. Yakovlev, D. E. Molochnikov // Science in modern conditions: from idea to implementation: materials of the National scientific-practical conference. Volume II. Dimitrovgrad, T - branch, UlGAU, 2018. P. 296-300.

12. Glushchenko, A. A. Testing of vehicles and tractors: tutorial for students of the faculty of engineering / A. A. Glushchenko, D. E. Molochnikov, I. R. Salakhutdinov, E. N. Proshkin – UlGAU, 2018. – 384 p.

Поступила в редакцию: 30.04.2019
Принята к публикации: 05.06.2019

УДК 662.75

КОМПЛЕКСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНООБРАБОТКИ, ВИХРЕВЫХ ПОТОКОВ И ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ НА ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

Корнев Алексей Юрьевич
кандидат технических наук, e-mail viitinlab7@yandex.ru
Бусин Игорь Вячеславович
кандидат технических наук, e-mail viitinlab7@yandex.ru
Ликсутина Анна Павловна
кандидат технических наук, e-mail viitinlab7@yandex.ru
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Тамбов

Реферат. *Исследовали комплексное воздействие механообработки, вихревых потоков и химических реагентов на дизельное топливо. Исследования проводили на специально собранной экспериментальной установке. Методика исследований включала хроматографический анализ образцов с использованием аппаратно-программного комплекса «Кристалл 2000М» с пламенно-ионизационным детектором, определение физико-химических характеристик образцов по общепринятым методикам ГОСТ. Воздействие заключалось в пропускании исследуемого образца некондиционного дизельного топлива через статический смеситель-активатор с заранее внесенным реагентом, представляющим собой водный раствор гидроперита, содержащий 30 – 35 % пероксида водорода и не менее 25 % карбамида или спиртовой раствор карбамида. Установлено, что обработка дизельного топлива оказывает комплексное воздействие на жидкофазную систему, что способствует локальному подъему температуры, ускоряет процессы массопереноса и приводит к значительному повышению реакционной способности и, как следствие, к ускорению физико-химических процессов. В результате исследований отмечено изменение фракционного состава, снижение количества общей и меркаптановой серы, значительное снижение содержания фактических смол, улучшение смазывающей способности обрабатываемого топлива и незначительное снижение температур помутнения и замерзания.*

Наилучший результат получен при величине давления в системе 8 - 10 кгс/см^2 и 10 циклах обработки (15 минут). Использование результатов исследований позволит снизить ущерб от применения некачественных дизельных топлив, повысить качество используемого топлива.

Ключевые слова: *дизельное топливо, вихревые потоки, физико-химические показатели, химические реагенты, качество*

COMPLEX IMPACT OF MECHANICAL PROCESSING, VORTEX FLOWS AND CHEMICAL REAGENTS ON DIESEL FUEL

Kornev Aleksey
Candidate of Technical Sciences, e-mail viitinlab7@yandex.ru
Busin Igor
Candidate of Technical Sciences, e-mail viitinlab7@yandex.ru
Liksutina Anna
Candidate of Technical Sciences, e-mail viitinlab7@yandex.ru
FSBSI All-Russian Scientific Research Institute for the Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Tambov

Abstract. *The complex effect of mechanical treatment, vortex flows and chemical reagents on diesel fuel was investigated. Studies were performed on a specially assembled experimental setup. The research methodology included chromatographic analysis of samples using the Crystal 2000M hardware-software complex with a flame ionization detector, determination of the physicochemical characteristics of the samples according to standard GOST methods. The impact consisted in passing the test sample of non-conditioned diesel fuel through a static activator mixer with a pre-introduced reagent, which is an aqueous solution of hydrogen peroxide containing 30 - 35% hydrogen peroxide and at least 25% carbamide or alcohol solution of carbamide. It was established that the treatment of diesel fuel has a complex effect on the liquid-phase system, which contributes to a local temperature rise, accelerates mass transfer processes and leads to a significant increase in reactivity and, consequently, to acceleration of physical and chemical processes. A change in the fractional composition, a decrease in the amount of total and mercaptan sulfur, a significant decrease in the content of actual resins, an improvement in the lubricity of the fuel being processed, and a slight decrease in cloud point and freezing temperature were observed as a result of the study. The best result was obtained when the pressure in the system was 8–10 kgf / cm^2 and 10 treatment cycles (15 minutes). The use of research results will reduce the damage from the use of low-quality diesel fuels, improve the quality of fuel used.*

Keywords: *diesel fuel, vortex flows, physical and chemical parameters, chemical reagents, quality.*

Введение. Для рационального использования нефтепродуктов в АПК необходимо постоянное поддержание их качества на требуемом уровне во время транспортировки, хранения и использования. От этого зависит надежность, экономичность и экологичность сельскохозяйственных машин и механизмов, частота и трудоемкость их технического обслуживания.

Проблема некачественного топлива остается достаточно актуальной. Одной из причин этого является ориентированность потребителя на стоимость топлива на фоне постоянного роста акцизов и общей отпускной цены литра горючего, что позволяет отдельным недобросовестным поставщикам сбывать недоброкачественную продукцию привлекая потребителя низкой ценой.

В последнее десятилетие в агропромышленном комплексе России идет активное обновление парка сельскохозяйственной техники. Большой процент из обновляемой техники составляют сельскохозяйственные машины зарубежного производства, т.к. руководители предприятий руководствуются имеющейся в открытых источниках информацией о надежности данных машин. Обслуживание новых машин в гарантийный и послегарантийный период руководство предприятий возлагает на сервисные службы. Ответственность за обеспечение качественными смазочными материалами и своевременную их замену ложится на сервисные службы, а контроль качества топлив ложится непосредственно на инженерно-техническую службу.

Использование некондиционного дизельного топлива может привести к увеличению расхода топлива, снижения надежности работы двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры [1 – 4].

Кроме этого следует обратить внимание на недостаточный уровень готовности оборудования и резервуарного парка нефтебаз сельхозпредприятий к длительному хранению нефтепродуктов, распространенность закупки топлива «с колес», увеличенное число сливно-наливных операций. В таких условиях даже качественное топливо может быстро приходить в негодность.

В связи с этим, существует необходимость в совершенствовании и разработке новых способов повышения качества нефтепродуктов. Большой потенциал здесь имеют исследования по комплексному применению химических реагентов, средств обработки и активации жидких сред.

Материалы и методы. В качестве исследуемого топлива использовалось некондиционное дизельное топливо (ДТ) с нефтебазs одного из хозяйств Тамбовской области.

Исследования по комплексному воздействию на дизельное топливо выполнялись на лабораторной установке по методике, описанной ранее [5]. Отличие заключалось в пропускании исследуемого образца через смеситель активатор с заранее внесенным реагентом. В качестве реагента использовали водный раствор гидроперита, содержащий 30 – 35 % пероксида водорода и не менее 25 % карбамида, а также спиртовой раствор карбамида для сравнения [6].

После обработки отбирались пробы для определения физико-химических показателей топлива с использованием стандартных методик ГОСТ и количественного определения содержания индивидуальных органических и серосодержащих соединений хроматографическим методом.

Для хроматографического анализа используется аппаратно-программный комплекс «Кристалл 2000М» с пламенно-ионизационным детектором, с делением потока 1:30, диапазоном формируемых давлений 20-250 кПа.

Рисунок 1 – Общий вид аппаратно-программного комплекса на основе хроматографа «Кристалл 2000М» с колонкой ZB-1 (неполярная фаза) и колонкой FAPP (полярная фаза).

Результаты и их обсуждение. Как было установлено ранее, воздействие вихревых потоков не оказывает значительного влияния на светлые нефтепродукты [5, 7]. Однако, в процессе исследований было установлено, что при пропускании некондиционного дизельного топлива с реагентом через статический смеситель-активатор за счет разносторонней направленности потоков внутри смесителя происходит нагрев топлива, который стабилизируется при при длительности воздействия в 25 – 35 мин. При дальнейшем увеличении времени обработки значения температуры остаются стабильными в достигнутых пределах – 57 – 63 °С (рисунок 2).

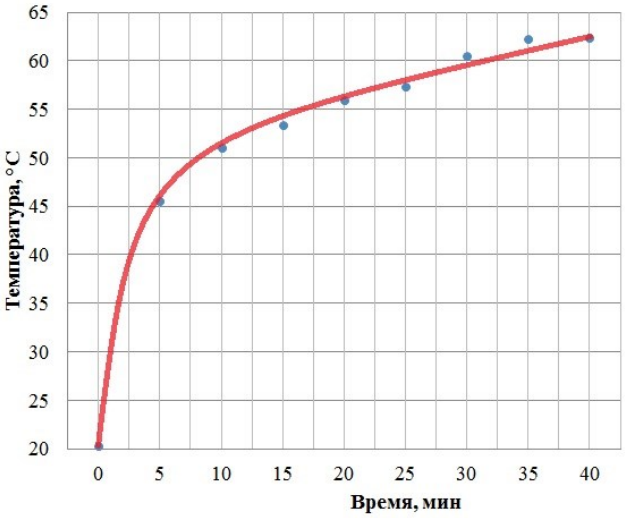


Рисунок 2 – Зависимость температуры исследуемых образцов от времени воздействия

Полученный эффект возрастания температуры пропускаемого через трубу топлива использовался в качестве дополнительного фактора при воздействии растворами реагентов.

После комплексного воздействия было зафиксировано изменение цвета обрабатываемой жидкости – дизельное топливо стало светлее (рисунок 3). Наилучший результат получен при величине давления в системе 8 - 10 кгс/см^2 и 10 циклах обработки (15 минут).

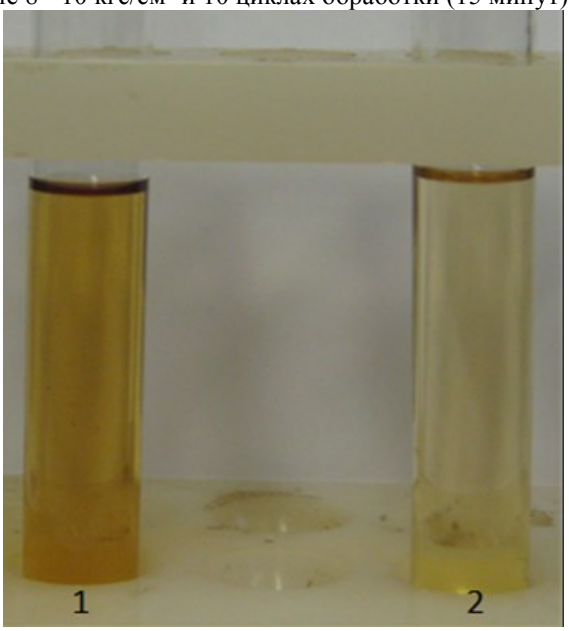


Рисунок 3 – Образцы дизельного топлива до (1) и после (2) обработки раствором реагента при давлении 10 кгс/см^2 и 10 циклах

В таблице 1 представлены результаты анализа физико-химических показателей исходного некондиционного дизельного топлива и топлива после комплексного воздействия разными реагентами. Как видно, происходит изменении фракционного состава – снижение температуры перегонки начиная с 30 % перегнанного топлива, что говорит об изменении углеводородного состава топлива, снижение количества общей и удаление меркаптановой серы, значительное снижение содержания фактических смол, улучшение смазывающей способности обрабатываемого топлива и незначительном снижении температур помутнения и замерзания.

Таблица 1 – Изменение физико-химических показателей исходного образца ДТ и после комплексного воздействия

Показатели	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Фракционный состав:			
ПК	132	128	140
10 % (по объему) перегоняется при t, ºС	197	191	195
20 % (по объему) перегоняется при t, ºС	219	215	217
30 % (по объему) перегоняется при t, ºС	233	229	231
40 % (по объему) перегоняется при t, ºС	247	245	245
50 % (по объему) перегоняется при t, ºС	264	258	256
60 % (по объему) перегоняется при t, ºС	278	271	274
70 % (по объему) перегоняется при t, ºС	290	288	289
80 % (по объему) перегоняется при t, ºС	315	310	312
90 % (по объему) перегоняется при t, ºС	340	337	331
95 % (по объему) перегоняется при t, ºС	357	354	350
до температуры 180 ºС (по объему), %	6	7	7
при температуре 250 ºС (по объему), %	42	47	47
до температуры 340 ºС (по объему), %	91	91	92
при температуре 350 ºС (по объему), %	93	94	95
Кинематическая вязкость при 20°С, мм^{2}/с	3,35	3,30	3,33
Температура помутнения, ºС	-9	-9	-10
Температура застывания, ºС	-14	-15	-17
Температура вспышки в закрытом тигле, ^{0}С	50	45	49
Плотность при 20^{0}С, кг/м^{3}	825	830	827
Кислотность, мг КОН/100 см^{3}	3,6	2,1	1,8
Содержание серы, мг/кг	149,3	129,1	118,7
Содержание меркаптановой серы, %	1,96	0,87	Отсутствие
Содержание фактических смол, мг/100 см^{3}	40	10	6
Диаметр пятна износа, мм	0,46	0,38	0,36

Следует отметить, что подобного эффекта с теми же реагентами не удалось достичь при обычном перемешивании с использованием механической мешалки, что свидетельствует о несомненном положительном влиянии механовоздействия на процесс перемешивания и массопереноса при использовании смесителя-активатора специальной конструкции.

Хроматографические исследования показали, количественные изменения углеводорододного состава у всех образцов топлив (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение углеводородного состава исходного образца ДТ и после комплексного воздействия

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Октан	2,59	-	-
Нонан	3,49	2,31	-
Декан	6,47	4,94	2,38
С11 – С 19	70,20	55,78	77,33
Фитан	2,96	2,12	1,99
Пристан	3,31	2,51	2,54
С20 – С25	10,98	8,18	6,78
Комплекс	-	24,16	8,98

Сравнивая применение в качестве реагента спиртового раствора карбамида и водного раствора гидроперита, можно отметить увеличение суммарного количества фракций С11 - С19 с одновременным уменьшением части более тяжелых фракций и появлением комплекса легких фракций, выходящий раньше остальных при использовании водного раствора гидроперита. В случае использования спиртового раствора карбамида наблюдается отчасти противоположный эффект для фракций С11 - С19, но с образованием большего объема комплекса легких фракций, что так же подтверждается данными определения фракционного состава топлив.

Хроматографическое определение серосодержащих соединений (таблица 3) показало снижение количества наиболее вредных меркаптановых и тиофеновых производных серосодержащих соединений по сравнению с исходным топливом.

Таблица 3 - Изменение серосодержащих соединений исходного образца ДТ и после комплексного воздействия

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Этилмеркаптан	1,96	0,38	-
3-метилтиофен	0,40	-	-
2,5-диметилтиофен	0,37	-	-
Изопропилметилсульфид	0,35	-	-
Бензотиофен	10,92	12,08	7,31
Дифенилсульфид	36,39	43,93	38,50
Дибензотиофен	35,45	27,73	39,69
4-метилдибензотиофен	14,60	15,87	14,43

Заключение. В процессе комплексного воздействия на светлые нефтепродукты происходит активация жидкой среды, часть затрачиваемой энергии, концентрируется в узловых точках молекулярных цепей, которые называются также особыми точкам. При использовании в качестве реагента раствора гидроперита их образование происходит в результате раздвоения молекулярных цепей, слипания двух цепей, внедрения атомов кислорода, Энергия, выделившаяся за счет образования новых молекулярных структур может частично тратится на разрыв молекулярных связей, в результате которого образуются еще более короткие молекулярные цепи, а частично идти на синтез новых, в том числе и отсутствующих в исходной структуре. [8].

Таким образом, обработка топлив вихревыми потоками с использованием растворов гидроперита оказывает комплексное воздействие на жидкофазные системы, что способствует локальному подъему температуры, ускоряет процессы массопереноса и приводит к значительному повышению реакционной способности и, как следствие, к ускорению физико-химических процессов. Это подтверждается полученными данными изменения физико-химических характеристик обрабатываемого топлива, его химического состава. Использование результатов исследований позволит снизить ущерб от применения некачественных дизельных топлив, повысить качество используемого топлива.

Список литературы

1. Чекмарев, П.А. О состоянии машинно-тракторного парка, совершенствовании работы инженерно-технических служб АПК и задачах в рамках реализации Госпрограммы на 2013-2020 годы. / П.А. Чекмарев [Электронный ресурс] — Режим доступа http://irkobl.ru/sites/agroline/02_Chekmarev_31_01_%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B3_.pdf. дата обращения 06.08.2018г.

2. Корнев, А.Ю. Ликсутина А.П., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Цыганкова Л.Е., Романцова С.В., Виноградов С.Д. Разработать научно обоснованный технологический процесс комплексной

обработки светлых нефтепродуктов, обеспечивающий сохранение и улучшение качества топлива. Отчет о научно-исследовательской работе. Тамбов 2018. 165 с.

3. Корнев, А.Ю. Контроль качества светлых нефтепродуктов на сельскохозяйственных предприятиях // А.П. Ликсутина, С.А. Нагорнов, И.В. Бусин, Б.Т. Алибаев // Современные задачи инженерных наук сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ - 2017». 2017. С. 80-85.

4. Корнев А.Ю. Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве / А.Ю. Корнев, А.Ю. Бектилевов, Б.Т. Алибаев // Наука в центральной России – 2016. - №4 (22). – С 15-26.

5. Бусин И.В. Исследование влияния эффектов механоактивации на характеристики дизельного топлива / Бусин И.В., А.Ю. Корнев, А.Ю. // Наука в центральной России – 2019. - № 2 (38). – С 123-129.

6. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Бектилевов А.Ю., Павлов С.С. Способ очистки дизельного топлива. Патент РФ № 2477303. 2013.

7. Корнев А.Ю., Романцова С.В., Бусин И.В., Ликсутина А.П. Влияние силовых полей различной природы на состав и свойства нефтепродуктов // Наука в центральной России. 2018. № 4(34). С. 44-54.

8. Чжао Фацзунь. Особенности и механизм извлечения тяжелых нефтей с помощью растворителя / Чжао Фацзунь, Лиу Юнцзянь, Чжао Синь, Тань Лунгжи, Гэн Чжиган //Химия и технология топлив и масел. – 2015. – № 1. – С. 21-24.

References

1. CHekmarev, P.A. O sostoyanii mashinno-traktornogo parka, sovershenstvovanii raboty inzhenerno-tekhnicheskih sluzhb APK i zadachah v ramkah realizacii Gosprogrammy na 2013-2020 gody. / P.A. CHekmarev [Elektronnyj resurs] — Rezhim dostupa http://irkobl.ru/sites/agroline/02_Chekmarev_31_01_%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B3_.pdf. data obrashcheniya 06.08.2018g.

2. Kornev, A.YU. Liksutina A.P., Nagornov S.A., Busin I.V., Cygankova L.E., Romancova S.V., Vinogradov S.D. Razrabotat' nauchno obosnovannyj tekhnologicheskij process kompleksnoj obrabotki svetlyh nefteproduktov, obespechivayushchij sohranenie i uluchshenie kachestva topliva. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. Tambov 2018. 165 c.

3. Kornev, A.YU. Kontrol' kachestva svetlyh nefteproduktov na sel'skohozyajstvennyh predpriyatiyah // A.P. Liksutina, S.A. Nagornov, I.V. Busin, B.T. Alibaev // Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk sbornik nauchnyh trudov VI-ogo Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo Simpoziuma «Sovremennye energo- i resursosberegayushchie tekhnologii SETT - 2017». 2017. S. 80-85.

4. Kornev A.YU. Prichiny snizheniya kachestva svetlyh nefteproduktov, ispol'zuemyh v sel'skom hozyajstve / A.YU. Kornev, A.YU. Bektilevov, B.T. Alibaev // Nauka v central'noj Rossii – 2016. - №4 (22). – S 15-26.

5. Busin I.V. Issledovanie vliyaniya effektov mekhanoaktivacii na harakteristiki dizel'nogo topliva / Busin I.V., A.YU. Kornev, A.YU. // Nauka v central'noj Rossii – 2019. - № 2 (38). – S 123-129.

6. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Nagornov S.A., Bektilevov A.YU., Pavlov S.S. Sposob ochistki dizel'nogo topliva. Patent RF № 2477303. 2013.

7. Kornev A.YU., Romancova S.V., Busin I.V., Liksutina A.P. Vliyanie silovyh polej razlichnoj prirody na sostav i svojstva nefteproduktov // Nauka v central'noj Rossii. 2018. № 4(34). C. 44-54.

8. CHzhao Faczun'. Osobennosti i mekhanizm izvlecheniya tyazhelyh neftej s pomoshch'yu rastvoritelya / CHzhao Faczun', Liu YUnczyan', CHzhao Sin', Tan' Lungzhi, Gen CHzhigan //Himiya i tekhnologiya topliv i masel. – 2015. – № 1. – S. 21-24.

Поступила в редакцию: 22.04.2019
Принята к публикации: 03.06.2019

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой».
Адрес типографии: 392032, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24.
E-mail: studiapechati@bk.ru.
Дата выхода в свет 28.06.2019. Заказ № 22.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 12.00 усл. печ. л. Тираж 100 экз.