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

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

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

№ 3 (51), 2021 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»

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Москов-ской области, зав. Отделом ФГБНУ «Росинформагротех»

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

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

ЗАЗУЛЯ Александр Николаевич – главный редактор, директор ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

КНЯЗЕВА Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник с возложением обязанностей Ученого секретаря ФГБНУ ВНИИТиН

КОВАЛЕВ Михаил Михайлович – доктор технических наук, научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ

ЛАРЮШИН Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, за-служенный работник сельского хозяйства, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»

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

МАШКОВ Алексей Николаевич – зам. главного редактора, кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВНИИТиН

МИЩЕНКО Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования, член Национального комитета по теплофизическим свойствам веществ РАН, ФГБОУ ВО ТГТУ

НАГОРНОВ Станислав Александрович – зам. главного редактора, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

СТРЕБКОВ Дмитрий Семенович – академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель председателя Российского комитета по использованию возобновляемых источников энергии, председатель рабочей группы Европейского бюро ЮНЕСКО по образованию в области солнечной энергии, главный научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

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

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

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

Редакция

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

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

Главный редактор: Зазуля А.Н.; заместители главного редактора: Нагорнов С.А., Машков А.Н.

№ 3 (51). Дата выхода в свет 30.06.2021. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.

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

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

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

© «Наука в центральной России», 2021

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

Научно-производственный периодический журнал **The research-production periodic magazine**
Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в международную базу данных Agris
№ 3 (51), 2021 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 – ведущий научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук

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

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

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

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

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

05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

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

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

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

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

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

ШУВАЛОВ Анатолий Михайлович – главный научный сотрудник лаборатории использования альтернативных источников энергии ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

© «Наука в центральной России», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Киреев И.М., Коваль З.М., Данилов М.В.
ДИСПЕРСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ КРАЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛЯ 5
Шварц А.А., Шварц С.А., Секретарев А.П., Ветров И.Ю.
ВЗАИМОСВЯЗЬ АЭРОДИНАМИЧЕСИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ..... 11
Шварц А.А., Шварц С.А., Полушин И.П., Филатов Н.Е., Кузнецов Н.С.
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЯЛОК И ПОКАЗАТЕЛИ ИХ РАБОТЫ..... 19
Шварц А.А., Башкирев А.П., Таныгин О.Ф., Лукин С.Г.
КРАТКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОРУДИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ 31
Старовойтов В.И., Коршунов А.В., Старовойтова О.А., Балабанов В.И., Манохина А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ МЕЖДУРЯДЬЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО КАРТОФЕЛЯ 40
Брусенков А.В., Капустин В.П.
ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ШНЕКЕ 47
Анашкин А.В., Емельянович С.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА 47
Аксенов И.И., Оробинский В.И., Корнев А.С.
АНАЛИЗ УРОВНЯ ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ ПРИ УСТАНОВКЕ РЕШЕТНОГО СТАНА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ГОФРИРОВАННЫЙ ПНЕВМОЦИЛИНДР 62
Завражнов А.И., Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Захарин А.В.
ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МТА 68
Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И., Мартынова Н.Б.
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН 78
Ли Р.И., Псарев Д.Н., Киба М.Р., Мельников А.Ю.
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ 87
Петрашев А.И., Клепиков В.В.
РЕАКТОР-СМЕСИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ В УСЛОВИЯХ АПК 96
Жерновников Д.Н., Ерохин Г.Н., Князева Л.Г., Остриков В.В., Забродская А.В.
ЗАЩИТА ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ КОРРОЗИИ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ 107
Сергеев К.Л., Бондарь Н.Ф., Дечко М.М., Родионов Ю.В., Никитин Д.В.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ, КОНЦЕНТРАЦИИ И РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ 113
Милушев Р.К., Жариков В.С., Шулаев Г.М., Доровских В.И.
ВЛИЯНИЕ РАЦИОНА, СОДЕРЖАВШЕГО КОНЦЕНТРАТ ИЗ СЕМЯН ЛЬНА, НА ПОКАЗАТЕЛИ АЗОТИСТОГО ОБМЕНА В КРОВИ КОРОВ 119
Мещерякова Ю.В., Бусин И.В., Мещеряков А.Г., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНОВОЗДЕЙСТВИЯ НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ТОПЛИВ 128
Маркелов С.В., Левина Е.Ю., ЛевинМ.Ю., Нагорнов С.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ БЕНЗИНА ПРИ ЕГО ХРАНЕНИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕЗЕРВУАРЕ 135

CONTENTS

Kireev I., Koval' Z., Danilov M.
DISPERSE INDICATORS FOR TECHNOLOGY FOR EDGE TREATMENT OF FIELD 5
Schwartz A., Schwartz S., Secretarev A., Vetrov I.
RELATIONSHIP OF AERODYNAMIC INDICATORS WITH DESIGN AND OPERATING PARAMETERS OF THE WORKING BODIES OF THE GRANULATED FERTILIZER SPREADER 11
Schwartz A., Schwartz S., Polushin I., Filatov N., Kuznetsov N.
CONSTRUCTION FEATURES OF SEEDERS AND INDICATORS OF THEIR PERFORMANCE 20
Schwartz A., Bashkirev A., Tanygin O., Lukin S.
BRIEF ANALYSIS OF BASIC TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR TILLAGE……31
Starovoitov V., Korshunov A., Starovoitova O., Balabanov V., Manokhina A.
RESEARCH OF THE INFLUENCE OF INTER-ROW WIDTH ON YIELD IN CULTIVATION OF FOOD POTATO 40
Brusenkov A., Kapustin V.
PHYSICAL MODEL OF THE MOVEMENT OF ROOT CROPS IN A VERTICAL AUGER ... 48
Anashkin A., Emelyanovich S.
IMPROVEMENT OF BENCH EQUIPMENT FOR THE STUDY OF TRIER GRAIN CLEANING PROCESSES 57
Aksenov I., Orobinsky V., Kornev A.
ANALYSIS OF THE OVERALL VIBRATION LEVEL DURING THE INSTALLATION OF THE GRATING MILL GRAIN CLEANING MACHINE FOR CORRUGATED PNEUMATIC CYLINDER 63
Zavrazhnov A., Lebedev A., Lebedev P., Zaharin A.
INPUT QUALITY CONTROL OF SPARE PARTS AS A METHOD OF INCREASING RELIABILITY OF MACHINE AND TRACTOR UNITS 69
Abdulmazhidov H., Balabanov V., Martynova N.
STRESS STATE ANALYSIS IN THE DEVELOPMENT OF NEW STRUCTURES WORKING EQUIPMENT FOR CONSTRUCTION AND RECLAMATION MACHINES 79
Li R., Psarev D., Kiba M., Melnikov A.
PROMISING POLYMER NANOCOMPOSITE FOR RESTORATION WORN-OUT BODY PARTS VEHICLES 88
Petrashev A., Klepikov V.
REACTOR-MIXER FOR PRODUCTIONPROTECTIVE COMPOSITIONS IN THE CONDITIONS OF AGROINDUSTRIAL COMPLEX 96
Zhernovnikov D., Erokhin G., Knyazeva L., Ostrikov V., Zabrodskaya A.
PROTECTING ENGINES AGAINST CORROSION DURING STORAGE OF GRAIN HARVESTERS 108
Sergeev K., Bondar N., Dechko M., Rodionov Yu., Nikitin D.
IMPROVING TURNING EFFICIENCY BY OPTIMAL COMBINATION OF PROCESS CONDITIONS, CONCENTRATION AND SIZE OF DROPLETS OF DISPERSED PHASE OF LUBRICANT-COOLING FLUID 113
Milushev R., Zharikov V., Shulaev G., Dorovskih V.
EFFECTS OF A DIET CONTAINING FLAX SEED CONCENTRATE ON INDICATORS OF NITROGEN EXCHANGE IN THE BLOOD OF COWS 120
Meshcheryakova Yu., Busin I., Meshcheryakov A., Alexey K., Nagornov S.
INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF MECHANICAL ACTION ON THE KINEMATIC VISCOSITY OF FUELS 129
Markelov S., Levina E., Levin M., Nagornov S.
SIMULATION OF CONVECTION OF GASOLINE DURING ITS STORAGE IN A HORIZONTAL CYLINDRICAL TANK 135

УДК 631.51:632.931.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-5-11

ДИСПЕРСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ КРАЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛЯ

[1]Киреев Иван Михайлович
[1]Коваль Зинаида Михайловна
[2]Данилов Михаил Владимирович
[1]Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ)
[2]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

Реферат. *Для аэрозольной технологии краевой обработки поля при защите растениеводческой продукции от сорняков и вредителей важное значение имеет экспериментальная оценка дисперсных показателей. Применялось дополнительное техническое средство к навесному штанговому опрыскивателю с трактором МТЗ 80, включающее вентилятор с гидравлическим насосом, коническое сопло со щелевыми распылителями и с системами обеспечения работоспособности гидронасоса и распылителей для подачи факелов распыла жидкости в воздушный поток. Исследовали процесс нанесения капель требуемого размера на предметные карточки из воздушно-дисперсной системы. При проведении испытаний технического средства в составе штангового опрыскивателя применялись щелевые распылители типов 015, 02, 03 и 04 с давлением жидкости 5 Бар. Опыты проводились при скоростях движения трактора 8, 10 и 12 км/ч на промежутке 60 м. Средние размеры и число капель/см^2 определялись методом сканирования карточек и с использованием компьютерной программы. Установлено, что для применения фунгицидов и инсектицидов при скорости движения технического средства 12 км/ч наиболее целесообразно использовать щелевые сопла типа 015 и 02. Размеры капель в пределах от 0 до 300 мкм распространяются в воздушном потоке дальше капель, размерами свыше 300 мкм по причине различных скоростей их витания. При больших расстояниях до объектов обработки рациональным является применение сопла типа 03 с аналогичной скоростью движения технического средства. Возможна и одновременная типичная гербицидная обработка сорной растительности, примыкающей к лесополосе, размерами капель от 250 мкм до 400 мкм. Для обеспечения рациональной технологии краевой обработки поля техническим средством требуется проведение дальнейших исследований по применению диспергирования жидкости щелевыми распылителями жидкости с различными ее давлениями и скоростями воздушного потока.*

Ключевые слова: *капли, диаметр, размер, число, доля капель, дисперсность.*

DISPERSE INDICATORS FOR TECHNOLOGY FOR EDGE TREATMENT OF FIELD

[1]Kireev Ivan
[1]Koval' Zinaida
[2]Danilov Michael
[1]Novokubansk branch FSBSI "Rosinformagrotekh"
[2]FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"

Abstract. *Experimental assessment of dispersed indicators is important for aerosol technology of edge processing of a field when protecting crop products from weeds and pests. An additional technical tool was used for a mounted boom sprayer with an MTZ 80 tractor, which includes a fan with a hydraulic pump, a conical nozzle with slot nozzles and systems for ensuring the operability of the hydraulic pump and sprayers for supplying liquid spray torches into the air stream. The process of applying drops of the required size to object cards from an air-dispersed system was investigated. Slot sprayers of types 015, 02, 03 and 04 with a liquid pressure of 5 Bar were used when testing a technical device as part of a boom sprayer. The experiments were carried out at tractor speeds of 8, 10 and 12 km / h at an interval of 60 m. Average sizes and number of droplets / cm2 were determined by scanning cards and using a computer program. It has been found that it is most expedient to use slotted nozzles of type 015 and 02 for the use of fungicides and insecticides at a speed of movement of a technical device of 12 km / h. Droplet sizes ranging from 0 to 300 µm spread in the air flow further than droplets larger than 300 µm due to their*

different speeds. The use of a nozzle of type 03 with a similar speed of movement of the technical means is rational at large distances to the objects of processing. And the simultaneous typical herbicidal treatment of weeds adjacent to the forest belt, droplet sizes from 250 microns to 400 microns, is possible. Further research on the application of liquid dispersion by slit liquid sprays with different pressures and air flow rates is required to provide a rational technology for edge processing of a field with a technical tool.

Keywords: *droplets, diameter, size, number, proportion of droplets, dispersion.*

Введение. Основной целью применения препаратов является поддержание численности вредителей, болезней и сорной растительности ниже ЭПВ (экономического порога вредоносности). Для осуществления такой цели принято использовать широко применяемые при традиционном опрыскивании растений щелевые распылители с плоским факелом распыла. Выбор оптимального распылителя обеспечивает повышение эффективности воздействия препарата на сорняки и вредителей. Идеальной точности в таких случаях добиться не очень просто, так как очень много различных внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на распределение полидисперсных капель [1 – 3].

Особенным фактором является боковое сопротивление воздуха воздушно-капельной струе при движения технического средства. Поэтому для аэрозольной технологии краевой обработке поля экспериментальная оценка дисперсных показателей имеет важное значение.

Цель исследований – получение дисперсных показателей для технологии краевой обработки поля при защите растениеводческой продукции от сорняков и вредителей.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели применялось разработанное техническое средство [4] для применения воздушно – капельной системы для борьбы с болезнями, вредителями и сорняками в краевой области поля. Получение дисперсной системы осуществлялось подачей факелов распыливаемой жидкости щелевыми распылителями (015; 02; 03; 04) [5] в начальный участок воздушной струи, создаваемой осевым вентилятором с соплом. Капли подкрашенной жидкости красителем в соотношении 1/9 улавливались их осаждением на предметные карточки [6], закрепляемые на планшетах по высоте с промежутком 15 см, как показано на рисунке.

Движение технического средства с боковым направлением, создаваемой воздушно-капельной струи (рисунок 1) при давлении жидкости в гидросистеме 5 атм., проводилось со скоростями 8, 10 и 12 км/ч. Давление жидкости определялось по показанию стрелочного манометра, расположенного в составе гидравлического распределителя жидкости опрыскивателя, скорость движения которого определялась на участке 60 м [6] определялась поверенным секундомером. Кассовые диаметры отпечатков капель и их число на предметных карточках определялось сканированием площади размером 7 х 5 см и обработкой по специальной программе. Диаметр капель определялся с учетом коэффициента растекания капель на предметных карточках, равным 0,4.

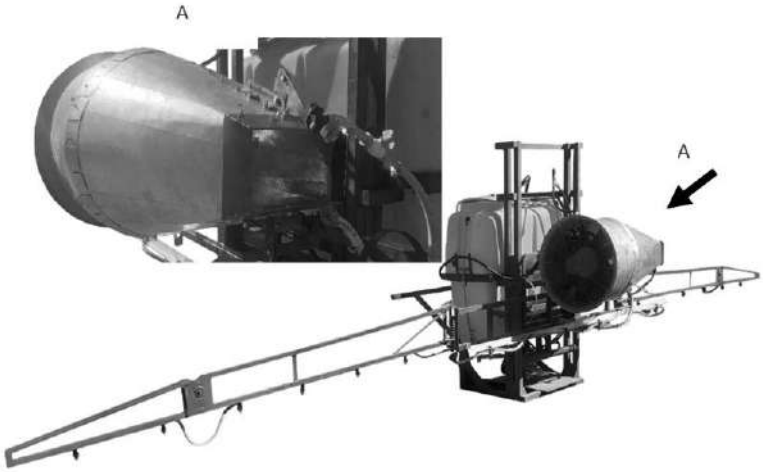


Рисунок 1 – Общий вид технического средства для краевой обработки поля в составе штангового опрыскивателя

Результаты и их обсуждение. При аэрозольной краевой обработке поля важными показателями являются размеры и число капель/см^2 на объектах обработки.

Диапазон размеров капель для применения пестицидов основным способом опрыскивания объектов обработки следующий. Медианно-массовые диаметры (ММД) капель при лиственной защитной обработке фунгицидами и инсектицидами имеют пределы от 226 мкм до 325 мкм. При почвенной обработке системным пестицидом интервал требуемых ММД капель увеличен от 326 мкм до 400 мкм. При применении гербицидов для лиственной послевсходовой обработке контактным пестицидом пределы ММД капель составляют от 226 мкм до 325 мкм. При применении гербицидов для лиственной послевсходовой обработке системным пестицидом пределы ММД капель составляют от 226 мкм до 400 мкм. Почвенная гербицидная обработка системным пестицидом требует увеличенный диапазон ММД капель от 401мкм до 500мкм и >500 мкм. Число капель/см^2 при применении фунгицидов имеет пределы от 50 до 70. Число капель/см^2 при применении инсектицидов имеет пределы от 20 до 30. Число капель/см^2 при применении гербицидов имеет пределы от 20 до 40.

Опытные показатели медианно-массовых диаметров капель и числа капель на 1 см^2 на предметных карточках при их опрыскивании воздушно-капельным потоком струи с расстояний 4 м, 5 м и 6,5 м со скоростью движения технического средства 8, 10 и 12, км/ч при применении щелевых распылителей жидкости с соплами типа 015, 02, 03 и 04, приведены в таблице 1.

Приведенные в таблице 1 численные значения медианно-массовых диаметров капель и их числа представлены шестикратным усреднением. Из данных таблицы 1 следует, что численные значения как ММД капель, так и их числа с увеличением расстояния опрыскивания карточек уменьшаются. Увеличение значений ММД капель при применении типов сопел 015, 02 и 03 для всех расстояний 4 м, 5 м и 6,5 м их улавливания обусловлено увеличением соответствующего расхода жидкости 0,78 л/мин, 1,01 л/мин и 1,52 л/мин при ее давлении в гидросистеме 5,0 Бар.

Таблица 1 – Опытные показатели медианно-массовых диаметров капель и числа капель на 1 см^2 на предметных карточках при их опрыскивании воздушно-капельным потоком струи с расстояний 4 м, 5 м и 6,5 м со скоростью движения технического средства 8, 10 и 12, км/ч при применении щелевых распылителей жидкости с соплами типа 015, 02, 03 и 04

Наименование показателя	Скорость движения технического средства, км/ч								
	8			10			12		
Тип сопла при опрыскивании карточек	Расстояния опрыскивания карточек воздушно-капельным потоком, м								
	4	5	6,5	4	5	6,5	4	5	6,5
	Медианно-массовые диаметры капель, мкм								
015	146,2	122,7	126,6	145,7	120,3	116,3	112,4	98,4	104,8
02	-	-	-	120,3	165,5	134,2	196,5	244,4	177,4
03	197,8	195,6	152,3	-	-	-	187,9	164,4	183,9
04	456,6	297,9	219,3	172,1	106,8	74,9	-	-	
04 турбопенное	307,19	104,8	-	307,2	104,8	-	-	-	-
	Число капель/см^2								
015	48,7	31,6	18,1	67,6	25,8	21,6	44,3	35	24
02	-	-	-	18,6	7,6	6	13,2	10,2	4
03	44	18,1	22,9	-	-	-	30,9	10,7	25
04	85,7	115,2	104,1	30,7	14,5	7	-	-	-
04 турбопенное	14,4	6,9	-	3,5	16,5	-	-	-	-

В тоже время, число капель в большинстве случаев имеет тенденцию к их уменьшению, обусловленное их коагуляцией в начально участке воздушно капельной струи при большой концентрации капель полидисперсной системы, а также снижением объемной концентрации капель в увеличивающемся объеме струи за счет присоединения в нее окружающего воздуха по мере удаления от начала образования [1]. При применении типа сопла 04 опытных данных достаточно для предположения об аналогичности происходящих процессов при применении сопел распылителей типа 015, 02, 03.

С учетом рекомендуемых ММД капель размерами 226-325 мкм для применения фунгицидов и инсектицидов наиболее целесообразно применение типа сопла 04 при скорости передвижения технического средства 8 км/ч или сопла типа 02 или – 03 при скорости передвижения технического средства 12 км/ч. Результаты проведенных исследований позволяют применять

количество распылителей до 4 штук для выполнения требований по дисперсности на большем расстоянии от начала ее образования. Отношение массовых расходов жидкости и воздуха также позволяет использовать закономерность распространения капель в воздушно-дисперсной системе к объектам обработки [1].

Дисперсность распыления жидкости в процессе опрыскивания объектов определяется в основном распределением капель по их размеру, которое варьирует в больших диапазонах в зависимости от типа распылителей и рабочих давлений в гидравлической системе опрыскивателя [5]**.** Требуемый средний размер капель, мкм для применения фунгицидов составляет пределы 50… 100 мкм и 145-225 мкм. Для применения инсектицидов – 50… 100 мкм (туман с крупными каплями) и 145-225 мкм. При применении гербицидов требуются повышенные размеры капель от 250 до 400 мкм (типичная гербицидная обработка).

При фунгицидной или инсектицидной обработках, требуется нанесение более высокой плотности капель на обрабатываемые объекты. Количество капель, оседающих на 1 см^2 обрабатываемых объектов при обычной гербицидной обработке, как правило, значительно превышает минимально достаточное количество для уничтожения вредителей растениеводческой продукции. Исследованиями установлено [4], что для краевых обработок поля наиболее целесообразно применение управляемой струйной воздушно-дисперсной системы «холодного аэрозоля». Экспериментальные исследования при этом лежат в основе всех теоретических моделей и методов расчета, используемых для анализа струйных течений, и всегда являются основным критерием правильности теоретических построений [7]. Однако достоверность получаемых опытных данных предопределяется особенностями и возможностями измерительной техники и методикой проведения исследований [7]. При испытании опрыскивателей в соответствии с ГОСТ применяют предметные карточки для определения размеров и числа капель/см^2 с применением программного обеспечения [6].

Размеры капель на предметных карточках при их опрыскивании полидисперсным аэрозолем щелевых распылителей типа -015, -02, -03 и -04 с расстояний 4 м, 5 м и 6,5 м при движении технического средства со скоростями 8 км/ч, 10 км/ч и 12 км/ч представлены данными таблицы 2.

Таблица 2 – Размеры капель на предметных карточках при их опрыскивании полидисперсным аэрозолем щелевых распылителей типа -015, -02,- 03 и -04 с расстояний 4 м, 5 м и 6,5 м при движении технического средства со скоростями 8 км/ч, 10 км/ч и 12 км/ч

Наименование показателя	Скорость движения технического средства, км/ч								
	8			10			12		
Диаметр капель, мкм в пределах:	Расстояния опрыскивания карточек воздушно-капельным потоком, м								
	4	5	6,5	4	5	6,5	4	5	6,5
	Сопло 015 (Щелевое)								
от 0 до 150	33,4	33,8	34,9	32,2	35,7	33,5	33,1	33.4	33,3
от 150 до 300	83,8	83,6	85,0-	83,5	83,8	84,6	84	82,1	83,5
свыше 300	717,7	615,5	595	766	637,8	609,8	255,4	248,5	183,9
	Сопло 02 (Щелевое)								
от 0 до 150	_	_	_	32,9	34,4	35,5	34,1	37	38
от 150 до 300	_	_	_	84,7	86,5	85,4	85,1	87,4	90,6
свыше 300	_	_	_	179,9	291	254,3	374,5	368,3	286,5
	Сопло 03 (Щелевое)								
от 0 до 150	27,4	34,6	35,7	_	_	_	32,6	37,1	34,5
от 150 до 300	86,9	85,8	84,6	_	_	_	86,4	73,4	86,6
свыше 300	336,6	332,5	274,1	_	_	_	340	251,6	338,3
	Сопло 04 (Щелевое)								
от 0 до 150	31,6	31,7	32,6	33,8	28,4	34,5	_	_	_
от 150 до 300	84,3	84,8	84,9	84,4	84,5	83	_	_	_
свыше 300	920,7	675,3	420,3	373,4	242,6	236,1	_	_	_
	Сопло 04 (Щелевое турбопенное)								
от 0 до 150	37,7	41,9	_	38,5	33,4	_	_	_	_
от 150 до 300	88,8	95	_	97,1	83,3	_	_	_	_
свыше 300	671,8	453,2	_	583,4	231,4	_	_	_	_

Из приведенных в таблице 2 данных следует, что для применения фунгицидов и инсектицидов при скорости движения технического средства 12 км/ч наиболее целесообразно использовать щелевые сопла типа 015 и 02 по причине производительности и экономии расходов препарата и рабочей жидкости. Размеры капель диаметрами в пределах от 0 до 300 мкм распространяются в воздушном потоке дальше капель, которые размерами свыше 300 мкм по причине различных скоростей их витания. Полезность мелких капель при борьбе с вредителями, обитающими в основании лесополос очевидна. При больших расстояниях до объектов обработки рациональным при выполнении требований по размеру капель является применение сопла типа 03 с аналогичной скоростью движения технического средства. Возможна и одновременная типичная гербицидная обработка сорной растительности, примыкающей к лесополосе, размерами капель от 250 мкм до 400 мкм.

Для целевого применения при краевых обработках поля важными являются доли капель, %, по размерным диапазонам, мкм в воздушно-дисперсной системе. Такие экспериментальные показатели приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Доли капель, %, по размерным диапазонам, мкм для целевого применения щелевых распылителей при краевых обработках поля

Наименование показателя	Скорость движения технического средства, км/ч								
	8			10			12		
Доля капель, %, по диапазонам, мкм:	Расстояния опрыскивания карточек воздушно-капельным потоком, м								
	4	5	6,5	4	5	6,5	4	5	6,5
	Сопло 015 (Щелевое)								
от 0 до 150	34,77	41,3	33,18	38,77	39,68	32,17	42,23	49,1	41,8
от 150 до 300	26,05	26,73	28,95-	24,82	27,82	24,4	28,82	27,5	29,82
свыше 300	39,2	31,97	37,87	36,43	32,52	26,75	28,88	23,38	28,22
	Сопло 02 (Щелевое)								
от 0 до 150	_	_	_	41,47	31,95	29,78	30,42	21,94	24,12
от 150 до 300	_	_	_	27,93	23,72	26,48	26,47	19,76	27,28
свыше 300	_	_	_	30,58	44,35	38,8	43,13	58,28	43,6
	Сопло 03 (Щелевое)								
от 0 до 150	26,83	26,75	30,75	_	_	_	30,52	27,92	30,8
от 150 до 300	22,5	21,42	25,75	_	_	_	22,7	25,28	23,95
свыше 300	50,68	51,83	43,48	_	_	_	46,82	45,62	45,25
	Сопло 04 (Щелевое)								
от 0 до 150	37,57	36,57	36,28	38,8	45,52	53	_	_	_
от 150 до 300	19,78	19,83	23,17	25,48	25	32	_	_	_
свыше 300	42,68	43,58	40,58	35,7	28	15	_	_	_
	Сопло 04 (Щелевое турбопенное)								
от 0 до 150	10,5	7,88	_	36,53	47,28	_	_	_	_
от 150 до 300	17,17	17,68	_	24,62	26,77	_	_	_	_
свыше 300	72,3	75,5	_	38,87	25,98	_	_	_	_

Представленные в таблице 3 данные доли капель % по диапазонам от 0 и свыше 300 мкм составляют:

- при применении щелевого сопла типа 015 с увеличением скорости движения технического средства с 8 км/ч до 12 км/ч доля самых мелких капель увеличивается на 1,06 %, а доля самых крупных капель уменьшается на 1,35 %.

- при применении щелевого сопла типа 02 доля крупных капель при скорости движения технического средства 12 км/ч составляет 48,32 %.

- при применении щелевого сопла типа 03 с увеличением скорости движения технического средства с 8 км/ч до 12 км/ч доля самых мелких капель увеличивается на 1,22 %, а доля самых крупных капель уменьшается с 48,66 % до 46 %, т.е на 1,06 %.

- при применении щелевых сопел типа 04 с происходят заметные увеличения доли мелких капель и уменьшения доли крупных капель с увеличением скорости движения технического средства.

Вывод. Результатами проведенных исследований показано, что показатели воздушно-дисперсной системы, создаваемой техническим средством, представляют основу дальнейших исследований по применению диспергирования жидкости щелевыми распылителями жидкости с различными ее давлениями и скоростями воздушного потока для закономерного целевого транспортирования капель с требуемыми ММД, средним размером и их числом на 1 см^2 при краевых обработках поля при защите от сорняков и вредителей растениеводческой продукции.

Список литературы

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй: репринтное воспроизведение издания 1960 г. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 720 с.

2. Свириденков А. А., Третьяков В. В. Влияние коагуляции капель на характеристики факела распыливания за форсунками // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С. П. Королева. − М., 2009. − № 3, ч. 2. − С. 157-161.

3. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии: учеб. для вузов.− 2-е изд., перераб. и доп. − Л.: Химия, 1984. − 368 с., ил.

4. Способ краевой обработки поля для уничтожения сорняков и вредителей, зимующих в полезащитных лесополосах / И.М. Киреев, М.В. Данилов, З.М. Коваль, Л.И. Высочкина, В.О. Марченко // Вестник АПК Ставрополья. – 2020. – № 4 (40). – С. 4-9.

5. Каталог TeeJet Technologies 50A-RU // TeeJet Technologies [Электронный ресурс]. – URL: http://teejet.it/russian/home /literature/catalogs/catalog-51a-ru.aspx (дата обращения 13.01.2021).

6. ГОСТ Р53053 – 2008 Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. – Введ. 2009–01–01. –М.: ФГУП «Стандартинформ»., 2009. – 41 с.

7. Турбулентное смешение газовых струй / под. ред. Г. Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1974. – 272 с.

References

1. Abramovich G.N. The theory of turbulent jets / reprint reproduction of the 1960 edition – M.: EKOLIT, 2011. – 720 p.

2. Sviridenkov A. A., Tretyakov V. V. Influence of coagulation of droplets on the characteristics of the spray plume behind the nozzles // Bulletin of the Samara State Aerospace University named after V.V. S. P. Koroleva. – M., 2009. – N 3, part 2. – S. 157-161.

3. Friedrichsberg, D.A. Colloidal chemistry course. Textbook. For universities. - 2nd ed., rev. and add. – L.: Chemistry, 1984. – 368 p., Ill.

4. A method of edge cultivation of a field for the destruction of weeds and pests wintering in field-protective forest belts / Kireev I.M., Danilov M.V., Koval' Z.M., Vysochkina L.I., Marchenko V.O. // Bulletin of APK Stavropol. – 2020. – No. 4 (40). – S. 4-9.

5. Catalog TeeJet Technologies 50A-RU // TeeJet Technologies [Electronic resource]. – URL: http://teejet.it/russian/home /literature/catalogs/catalog-51a-ru.aspx (date accessed 01/13/2021).

6. GOST R53053 – 2008. Plant protection machines. Sprayers. Test methods. – Introduction. – 2009-01-01. – M.: FGUP “Standartinform”., 2009. – 41 p.

7. Turbulent mixing of gas jets / under. ed. G. N. Abramovich. – M.: Nauka, 1974. – 272 p.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Киреев Иван Михайлович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Новокубанского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Росинформагротех» (КубНИИТиМ), Россия, г. Новокубанск, e-mail: Kireev.I.M@mail.ru.

Коваль Зинаида Михайловна – кандидат технических наук, главный научный сотрудник Новокубанского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Росинформагротех» (КубНИИТиМ), Россия, г. Новокубанск, e-mail: zinakoval@mail.ru.

Данилов Михаил Владимирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольского государственного аграрного университета», Россия, г. Ставрополь, e-mail: danilomaster80@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

Kireev Ivan – Full Doctor of Technical Sciences, leading researcher of Novokubansk branch of Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotekh", Russia, Novokubansk, e-mail: Kireev.I.M@mail.ru.

Koval' Zinaida – Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher of of Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotekh", Russia, Novokubansk, e-mail: zinakoval@mail.ru.

Danilov Michael – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Stavropol State Agrarian University", Russia, Stavropol, e-mail: danilomaster80@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 16.06.2021

УДК 681.3:631.333.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-11-19

ВЗАИМОСВЯЗЬ АЭРОДИНАМИЧЕСИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Шварц Сергей Анатольевич
[1]Секретарев Александр Петрович
[1]Ветров Иван Юрьевич

[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова»

Реферат. *Проблему комплексной механизации внесения органо-минеральных удобрений можно решить путем совершенствования существующих средств механизации для повышения качества внесения удобрений, расширения их функций; разработки недостающих средств механизации; разработки средств контроля, надзора и управления функциями разбрасывателей удобрений. Решали задачу усовершенствования отдельных узлов роторного разбрасывателя центробежного типа. Теоретические исследования показали, что оптимальное количество лопастей в роторном рабочем органе - пять. Для улучшения эксплуатационных характеристик выбран кузовной низкорамный разбрасыватель, состоящий из кузова, ленточного транспортера и центробежного роторного рабочего органа на горизонтальной оси вращения. Устанавливали влияние формы лопаток роторного рабочего органа (с бортами, желобообразными и комбинированные) на величину воздушного потока при частоте вращения ротора, мин$^{-1}$: 850; 900; 950. Положение дефлектора относительно плоскости разбрасывания: 0° (параллельно земле); 22°; 45°. Скорость воздушного потока определяли с помощью портативного анемометра AMTAST AMF001. Анализ экспериментальных данных позволил оценить теоретические, полученных на предыдущих этапах исследования. Полученные результаты подтвердили теоретически выведенную зависимость скорости воздушного потока от частоты вращения ротора рабочего органа. Наивысший показатель скорости воздушного потока был достигнут при частоте вращения в 950 мин$^{-1}$ и использовании пяти комбинированных лопаток.*

Ключевые слова: *гранулированные удобрения, разбрасыватель с горизонтальной осью вращения, воздушный напор, траектория движения, проведение эксперимента.*

RELATIONSHIP OF AERODYNAMIC INDICATORS WITH DESIGN AND OPERATING PARAMETERS OF THE WORKING BODIES OF THE GRANULATED FERTILIZER SPREADER

[1]Schwartz Anatoly
[1]Schwartz Sergey
[1]Secretary Alexander
[1]Vetrov Ivan

[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

***Abstract**. The problem of complex mechanization of the application of organic-mineral fertilizers can be solved by improving the existing means of mechanization to improve the quality of fertilization, expand their functions; development of missing means of mechanization; development of means of control, supervision and management of the functions of fertilizer spreaders. The problem of improving individual units of the rotary centrifugal spreader was solved. Theoretical studies have shown that the optimal number of blades in a rotary working body is five._A body-based low loader spreader, consisting of a body, a belt conveyor and a centrifugal rotor on the horizontal axis of rotation, was selected to improve performance. Influence of the shape of the blades of the rotor working body (with sides, grooved and combined) on the value of the air flow at the rotor speed, min-1: 850; 900; 950 have been installed. The deflector position relative to the spreading plane was 0º (parallel to the ground); 22º; 45º. The air flow rate was determined using an AMTAST AMF001 portable anemometer. The analysis of the experimental data made it possible to evaluate the theoretical ones obtained at the previous stages of the study. The results obtained confirmed the theoretically derived dependence of the air flow rate on the rotor speed of the working body. The highest airflow rate was achieved at 950 rpm with five combination blades.*

***Keywords:** granular fertilizers, spreader with horizontal axis of rotation, air pressure, trajectory of movement, experiment.*

Введение. По результатам данных, полученных путем проведения теоретических исследований технологического процесса поверхностного внесения органо-минеральных удобрений пневмомеханическим роторным кузовным разбрасывателем гранулированных удобрений, коллективом авторов обоснованы три различные формы рабочих лопаток, величина скорости напора воздушного потока, динамические параметры и режим работы разбрасывателя, повышающего показатели производительности и равномерности внесения минеральных удобрений [1, 4].

Следует отметить, что теоретических данных недостаточно для того, чтобы сделать окончательное заключение о том, что предлагаемое техническое и технологическое решение сможет достичь эксплуатационных характеристик работы, полученных методом математического расчета. Это связано с тем, что при моделировании процесса, с помощью теоретических данных и зависимостей, не удается учесть все многообразие факторов, влияющих на процесс внесения удобрений. Для решение возникшей ситуации было решено провести экспериментальные исследования на опытном образце [2, 5, 8].

Основная задача экспериментальных исследований заключалась в проверке корректности полученных теоретических зависимостей и выводов, полученных из них. Кроме того, были поставлены следующие задачи лабораторных испытаний:

- определить оптимальную форму и геометрические размеры рабочих лопаток, и степень влияния конструктивно-кинематических параметров на угол схода массы гранулированных удобрений с рабочих органов;
- определить корректность полученных зависимостей между конструктивно-кинематическим режимом работы рабочего органа и величины воздушного потока, который возникает во время работы разбрасывателя;
- определить рациональные режимы работы разбрасывателя органо-минеральных гранулированных удобрений.

Материалы и методы. Для исследования процесса внесения гранулированных органо-минеральных удобрений, с учетом анализа характеристик имеющихся машин, рабочих органов и схем работы, на базе лаборатории Курской ГСХА была проведена работа по усовершенствованию опытного образца установки по внесению удобрений (рисунок 1).

Для улучшения эксплуатационных характеристик выбран кузовной низкорамный разбрасыватель, который был разработан Репетовым А.Н. и в последствии усовершенствованн кандидатом технических наук Лепшеевым О.М. [1].

Теоретические исследования показали, что оптимальным количеством лопастей в роторном рабочем органе является пять. Это позволяет снизить нагрузку на рабочий орган, путем снижения объемной массы гранулированных удобрений. Вал с рабочим органом приводится в движение при помощи карданной передачи от вала отбора мощности трактора через редуктор.

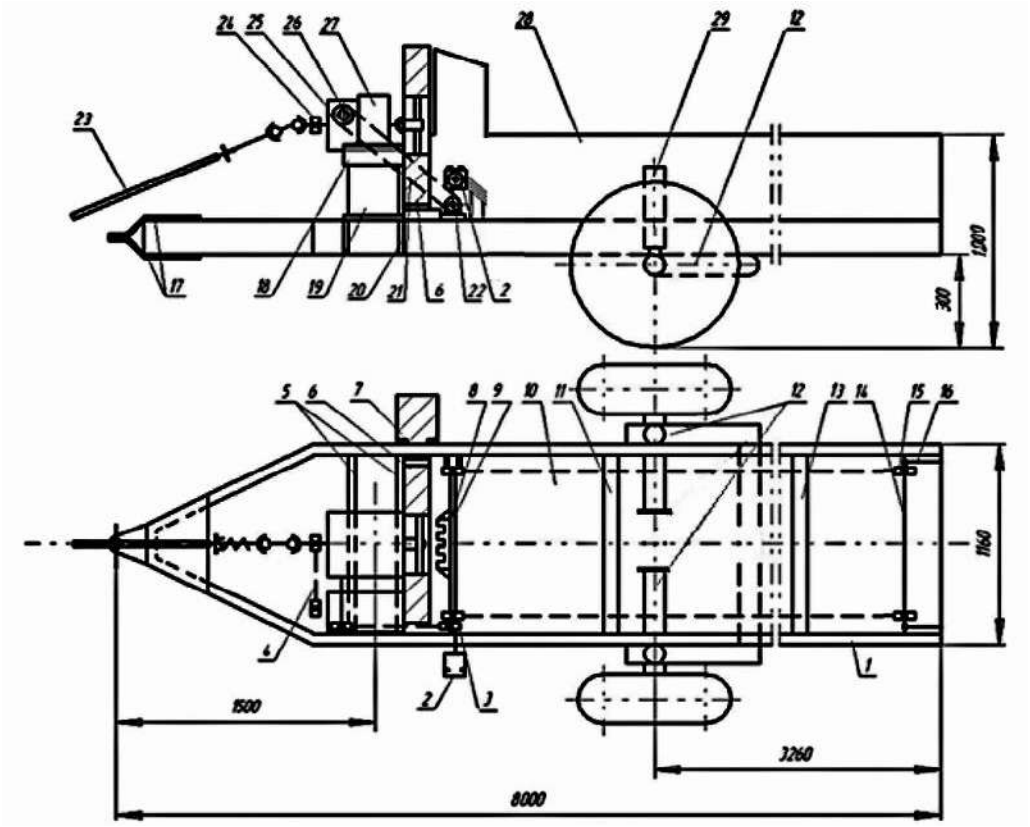


Рисунок 1. – Устройство разбрасывателя гранулированных удобрений

Внесение удобрений происходит через выгрузное окно геометрические размеры, которого 250 х 250 мм. Гидромотор 2 приводящий в движение ленточный транспортер, который позволяет регулировать скорость движения ленты из кабины трактора, и, следовательно, регулировать скорость подачи к рабочему органу массы гранулированных удобрений.

Удобрение с транспортера попадает непосредственно к рабочему органу с помощью шнекового вала 8, приводимого в движение цепной передачей 4 от вала редуктора. [1, 4, 6].

Для эксперимента были выбраны два типа форм лопаток рабочего органа: плоские с бортами (рисунок 2) и желобообразные (рисунок 3).

Рисунок 2 – Схема плоской лопатки с бортами

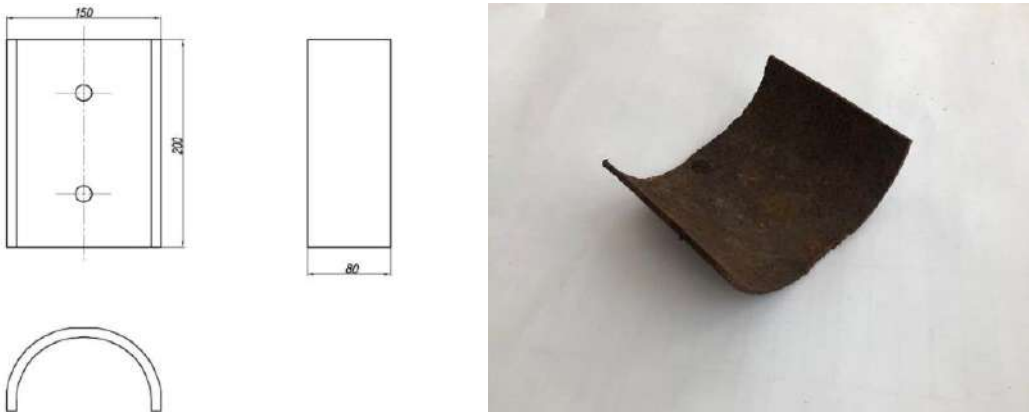


Рисунок 3 – Схема желобообразной лопатки

Однако в ходе проведения эксперимента была предложена третья форма, сочетающая в себе лучшие характеристики первых двух образцов – это желобообразная лопатка с площадкой в основании (в дальнейшем – комбинированные) (рисунок 4).

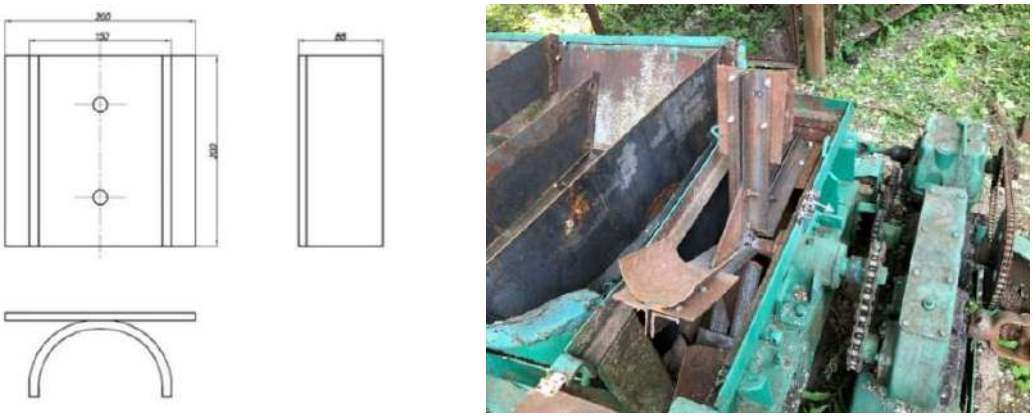


Рисунок 4 – Схема комбинированной лопатки

Лопатки изготовлены из листовой стали, толщина которой 3 мм. Габаритные размеры лопаток - 200 х 200 мм и 150х200, это позволяет достичь наилучших показателей захвата и плотности потока внесения подаваемый на них удобрений. Монтаж лопаток происходит с помощью болтов к кронштейну ротора. А для желобообразных лопаток необходимо применение дополнительного усиления с целью надежного крепления их к кронштейну ротора. [5, 10].

Скорость вращения гидрометра, а следовательно, и ленточного транспортера была выбрана исходя из данных, полученных во время теоретических расчетов и составила 0,009...0,014 м/с. Такая скорость подачи позволяет обеспечить равномерность перемещения удобрений к рабочему органу при нормах внесения 0,1...2 т/га. [7, 9].

Работа разбрасывателя велась на разных режимах с тремя видами лопаток (с бортами, желобообразными и комбинированные) для роторного рабочего органа. Устанавливали влияние формы лопаток на величину воздушного потока.

Для проведения эксперимента были выбраны следующие конструктивные и кинематические параметры:

1. Частота вращения ротора, мин$^{-1}$: 850; 900; 950.

2. Положение дефлектора относительно плоскости разбрасывания: 0° (параллельно земле); 22°; 45°.

Для фиксирования результатов скорости воздушного потока, с учетом специфики загрузки лопаток, измерения проводились без заполнения рабочих органов удобрениями, использовался портативный анемометр AMTAST AMF001. Измерения проводились в четырех точках относительно выгрузного окна: вплотную, на расстоянии 0,5; 1,0 и 2,0 м. Результаты замеров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость скорости воздушного потока от конструктивно-режимных параметров рабочих органов разбрасывателя удобрений

№ п/п	Частота вращения ротора, мин$^{-1}$	Положение анемометра, м	Положение дефлектора, град	Измеренная скорость воздушного потока, создаваемого лопатками разной формы, м/с		
				с бортами	желобообразные	комбинированные
1	850	вплотную	0	5,3	3,5	6,1
2			22	5,1	3,4	6,3
3			45	4,8	3,4	6,3
4		0,5	0	7,7	5,0	8,2
5			22	7,6	5,1	8,4
6			45	7,1	4,7	8,1
7		1,0	0	7,9	6,1	9,6
8			22	7,8	6,3	9,7
9			45	7,6	6,1	9,1
10		2,0	0	4,6	2,1	4,6
11			22	4,4	1,9	4,5
12			45	4,4	2,0	4,4
13	900	вплотную	0	15,9	9,9	15,6
14			22	15,8	10,0	16,7
15			45	15,9	9,7	16,8
16		0,5	0	18,1	12,3	19,2
17			22	17,8	12,2	19,4
18			45	17,6	12,0	18,9
19		1,0	0	18,2	12,9	20,2
20			22	18,1	13,0	21,1
21			45	18,2	12,8	20,1
22		2,0	0	7,6	5,7	6,1
23			22	7,5	6,2	6,4
24			45	7,7	5,5	5,8
25	950	вплотную	0	22,4	14,4	24,9
26			22	22,8	14,5	24,8
27			45	21,7	14,1	25,1
28		0,5	0	24,2	17,6	26,8
29			22	25,1	17,8	26,3
30			45	24,7	17,4	26,1
31		1,0	0	28,1	18,1	34,1
32			22	28,4	17,8	34,5
33			45	27,9	17,7	33,7
34		2,0	0	9,0	8,4	9,8
35			22	9,1	8,1	10,2
36			45	8,0	7,9	10,0

Для анализа полученных результатов были построены графики зависимости скорости воздушного потока от частоты вращения ротора, удаленности анемометра от выгрузного окна и угла атаки дефлектора.

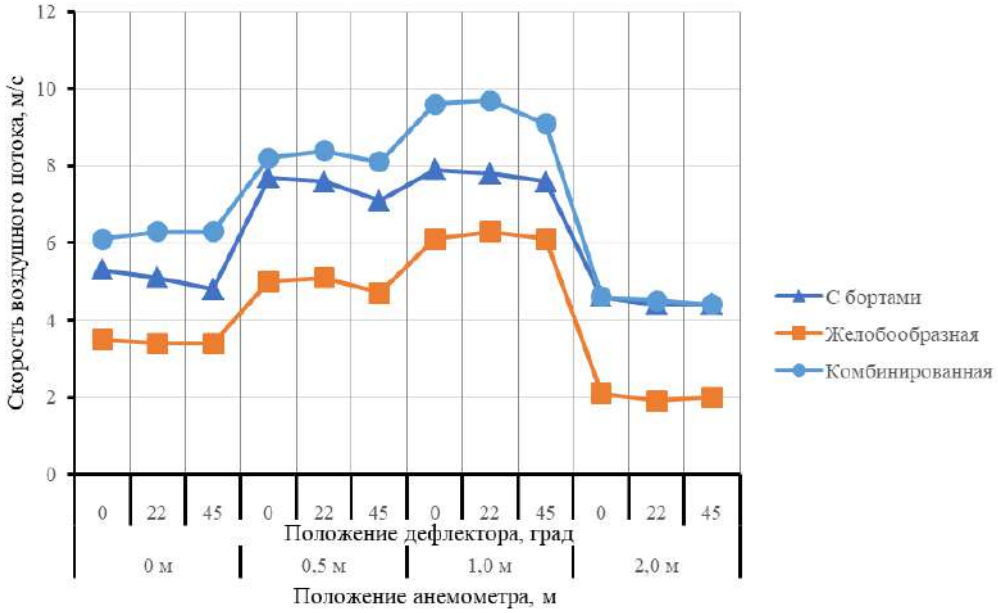


Рисунок 5 – График измерения скорости при 850 мин$^{-1}$

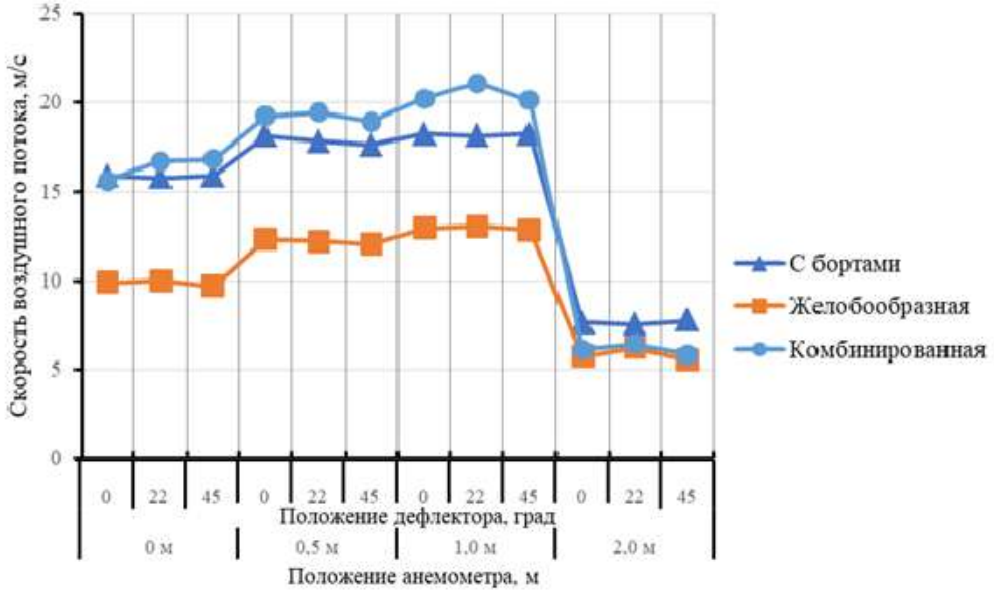


Рисунок 6 – График измерения скорости при 900 мин$^{-1}$

Значение средней составляющей ветрового давления определяется как

$$\omega_n = \omega_0 kc,$$

где ω_0 – ветровое давление на единицу поверхности (скоростной напор); $\omega_0 = \frac{\rho \upsilon_0^2}{2}$, где ρ – плотность воздуха, υ_0- скорость ветра, k – коэффициент, который учитывает изменение давления ветра по типу местному и высоте; c – коэффициент аэродинамического сопротивления.

Плотность воздуха зависит от давления и температуры. Для обычного диапазона температур и на уровне земли переменностью плотности воздуха можно пренебречь. Тогда формула преобразуется к виду $\omega_0 = 0{,}613\upsilon_0^2$, где скорость υ_0 измеряется в м/с, а напор ω_0 в Па.

Если скорость ветра измеряется с помощью флюгера Г. Вильда, дающим ошибку до 4 - 6 м/с, то используется поправка

$$a = 0{,}75 + \frac{5}{v_0},$$

и формула приобретает вид

$$\omega_0 = 0{,}613(av_0)^2.$$

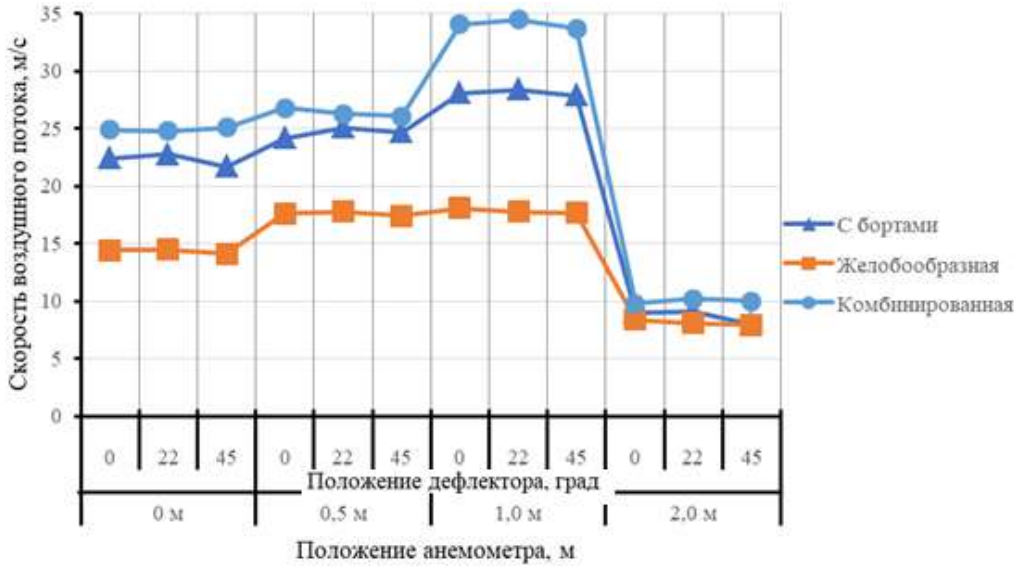


Рисунок 7 – График измерения скорости при 950 мин-1

В нашем же случае для измерений использовался малоинерционный анемометр, поэтому коэффициент α принимается равным 1.

Проанализировав полученные данные, можно говорить о подтверждении теоретически выведенной зависимости скорости воздушного потока от частоты вращения ротора рабочего органа. Наивысший показатель скорости воздушного потока был достигнут при частоте вращения в 950 мин$^{-1}$ и использовании комбинированных лопаток. Это объясняется тем, что данная форма лопатки совмещает в себе лучшие качества двух других вариантов, а именно от желобообразной лопатки мы получили высокий показатель плотности потока вносимого материала, а от лопатки с бортами – высокий показатель пневматической составляющей внесения за счет увлечения площади рабочей лопатки.

Выводы. Проанализировав полученные данные, можно говорить о подтверждении теоретически выведенной зависимости скорости воздушного потока от частоты вращения ротора рабочего органа.

Список литературы

1. Репетов А.Н., Лепшеев О.М. Машины для внесения минеральных удобрений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – №8. – С. 10- 11.

2. Влияние воздушного напора лопастного рабочего органа на траекторию движения частиц гранулированного удобрения / Шварц А.А., Шварц С.А., Секретарев А.П., Ветров И.Ю. // Наука в центральной России. – 2020. – №4. – С. 53-62.

3. Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесников Е.Ю. Конструктивные особенности и результаты работы разбрасывателя органо-минеральных удобрений // Вестник Курской ГСХА. – 2015. – №7. – С. 186-188.

4. Адлер Ю. П., Маркова Е. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 276 с.

5. Митков А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.

6. Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесниов Е.Ю. Обоснование конструктивно-режимных параметров рабочего органа низкорамного разбрасывателя удобрений // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета – 2015. – № 3. – С. 203-208.

7. Патент на полезную модель № 166958 U1 Российская Федерация. Двухбарабанный разбрасыватель минеральных удобрений: № 2016105365/13: заявл. 17.02.2016: опубл. 20.12.2016 / Колесников Е.Ю., Беседин Б.П., Шварц А.А.

8. Патент на полезную модель № 165224 U1 Российская Федерация. Рабочий орган разбрасывателя твердых минеральных и органоминеральных удобрений: № 2016100776/13: заявл. 12.10.206: опубл. 10.10.2016 / Беседин Б.П., Колесников Е.Ю., Шварц А.А.

9. Шварц А.А., Беседин Б.П. Аналитическое исследование движения удобрений по дефлектору разбрасывателя сыпучих минеральных и органоминеральных удобрений // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии – 2016. – №7. – С. 66-69.

10. Шварц А.А., Беседин Б.П. Стабилизация пространственного положения кузовного низкорамного разбрасывателя удобрений // Вестник Курской государсвтенной сельскохозяйственной академии – 2016. – № 7. – С 73-76.

References

1. Repetov A.N., Lepsheev O.M. Mashiny dlya vneseniya mineral'nyh udobrenij // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. – 1997. – №8. – S. 10- 11.

2. Vliyanie vozdushnogo napora lopastnogo rabochego organa na traektoriyu dvizheniya chastic granulirovannogo udobreniya / SHvarc A.A., SHvarc S.A., Sekretarev A.P., Vetrov I.YU. // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – №4. – S. 53-62.

3. SHvarc A.A., Besedin B.P., Kolesnikov E.YU. Konstruktivnye osobennosti i rezul'taty raboty razbrasyvatelya organo-mineral'nyh udobrenij // Vestnik Kurskoj GSKHA. – 2015. – №7. – S. 186-188.

4. Adler YU. P., Markova E. V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. – M.: Nauka, 1976. – 276 s.

5. Mitkov A. L. Statisticheskie metody v sel'hozmashinostroenii. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 360 s.

6. SHvarc A.A., Besedin B.P., Kolesniov E.YU. Obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov rabochego organa nizkoramnogo razbrasyvatelya udobrenij // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – 2015. – № 3. – S. 203-208.

7. Patent na poleznuyu model' № 166958 U1 Rossijskaya Federaciya. Dvuhbarabannyj razbrasyvatel' mineral'nyh udobrenij: № 2016105365/13: zayavl. 17.02.2016: opubl. 20.12.2016 / Kolesnikov E.YU., Besedin B.P., SHvarc A.A.

8. Patent na poleznuyu model' № 165224 U1 Rossijskaya Federaciya. Rabochij organ razbrasyvatelya tverdyh mineral'nyh i organo-mineral'nyh udobrenij: № 2016100776/13: zayavl. 12.10.206: opubl. 10.10.2016 / Besedin B.P., Kolesnikov E.YU., SHvarc A.A.

9. SHvarc A.A., Besedin B.P. Analiticheskoe issledovanie dvizheniya udobrenij po deflektoru razbrasyvatelya sypuchih mineral'nyh i organo-mineral'nyh udobrenij // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii – 2016. – №7. – S. 66-69.

10. SHvarc A.A., Besedin B.P. Stabilizaciya prostranstvennogo polozheniya kuzovnogo nizkoramnogo razbrasyvatelya udobrenij // Vestnik Kurskoj gosudarsvtennoj sel'skohozyajstvennoj akademii – 2016. – № 7. – S 73-76.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Шварц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, директор ООО «Меридиан», Россия, г. Курск, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Секретарев Александр Петрович – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Ветров Иван Юрьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Author credentials
Affiliations

Shvartz Anatoly – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Shvartz Sergey – Candidate of Technical Sciences, Director of LLC "Meridian", Russia Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Sekretarev Alexander – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Vetrov Ivan – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.05.2021

УДК 631.331.53
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-19-30

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЯЛОК И ПОКАЗАТЕЛИ ИХ РАБОТЫ

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Шварц Сергей Анатольевич
[1]Полушин Иван Павлович
[1]Филатов Николай Евгеньевич
[1]Кузнецов Николай Сергеевич

[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова»

Реферат. *Проведен краткий анализ истории развития высевающих аппаратов. Рассмотрены конструктивные особенности систем высева сеялок, состоящих из высевающего аппарата и системы доставки семян к сошнику. Отмечены факторы, влияющие на качественные показатели работы высевающего аппарата. Рассмотрены виды конструкций катушек высевающего аппарата, которые зависят от параметров высеваемой культуры, в том числе и сложные, состоящие из нескольких элементов. Проанализированы результаты исследований Поволжской МИС шести сеялок с различными конструкциями систем высева. Установлена взаимосвязь между параметрами машины и качественными показателями ее работы. Показано, что чем больше ширина захвата сеялки, тем выше процент дробления семян, отклонения нормы высева от заданной и неравномерности высева между сошниками. Установлено, что конструкция системы доставки семян оказывает существенное влияние на показатели работы машины. При использовании механической системы доставки (на сеялках СЗТ-4, СЗМ-800, D9 6000TC) превышение нормативов не наблюдается, а на сеялках с пневматической системой доставки (DMC 4500, СЗП-800, Condor-15000) замечены отклонения. У AMAZONE Condor-15000 с шириной захвата 15 м наблюдается дробление семян на уровне 14 % (при нормативе 0,3 %). Пневматическая система доставки семян имеет относительно сложную конструкцию: множество соединений и конструктивные элементы, приводящие к изменениям скорости движения и направления семенного потока. Это сопровождается повреждением семян и неравномерностью их распределения по сошникам. Более бережное отношение к посевному материалу обеспечивает использование механической системы доставки, по которой семена движутся под действием собственной силы тяжести и по наиболее короткому пути к сошнику, тем самым сводя взаимодействие с элементами системы доставки к минимуму. Но металлоемкость таких систем не позволяет использовать их на машинах с большой шириной захвата, что приведет к значительному увеличению их массы.*

Ключевые слова: *высевающий аппарат, катушка, система доставки семян, посевной блок.*

CONSTRUCTION FEATURES OF SEEDERS AND INDICATORS OF THEIR PERFORMANCE

[1]Schwartz Anatoly
[1]Schwartz Sergey
[1]Polushin Ivan
[1]Filatov Nikolay
[1]Kuznetsov Nikolay

[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract. *A brief analysis of the history of the development of seeding devices is carried out. Design features of the seeding systems of seeders, consisting of a seeding device and a system for delivering seeds to the opener, are considered. The factors influencing the quality indicators of the seeding apparatus are noted. The types of designs of the sowing apparatus coils, which depend on the parameters of the sown crop, including complex ones, consisting of several elements, are considered. The results of studies of the Volga MIS of six seeders with different designs of seeding systems are analyzed. The relationship between the parameters of the machine and the quality indicators of its work has been established. So, the graphs show that the wider the seeding width of the seeder, the higher the percentage of seed crushing, the deviation of the seeding rate from the specified one and the uneven seeding between the bipods. It was also found that the design of the seed delivery system has a significant impact on the performance of the machine. When using a mechanical delivery system (on the SZT-4, SZM-800, D9 6000TC seeders), the standards are not exceeded, and deviations are noticed on seeders with a pneumatic delivery system (DMC 4500, SZP-800, Condor-15000). The AMAZONE Condor-15000 with a working width of 15 m shows a crushing of seeds at a level of 14% (with a standard of 0.3%). The pneumatic seed delivery system has a relatively complex design: many connections and structural elements, leading to changes in the speed and direction of the seed flow. This is accompanied by damage to the seeds and uneven distribution over the coulters. A more careful attitude to the seed material is ensured by the use of a mechanical delivery system, along which the seeds move under its own gravity and along the shortest path to the opener, thereby reducing interaction with the elements of the delivery system to a minimum. But the metal consumption of such systems does not allow them to be used on machines with a large working width, which will lead to a significant increase in their weight.*

Keywords: *sowing device, reel, seed delivery system, sowing unit.*

Введение. На начальном этапе развития растениеводства семена закладывались в почву вручную, что приводило к неравномерности распределения семенного материала по площади поля, затягиванию сроков посева и перерасходу семян [1].

Первые шаги к механизации процесса посева были сделаны в Китае примерно в 6 в. до н. э. Люди несли по полю ящик с решетчатым дном и трясли его, благодаря чему семена сыпались на рыхлую землю [2]. В 16 веке в Европе наблюдается бурное развитие промышленных центров, которое привело к значительному росту плотности городского населения. Это превратило продукцию сельского хозяйства в высокорентабельный товар, что послужило стимулом для развития высокопроизводительного сельского хозяйства. Итальянский ремесленник Джовани Каваллина использовал для дозирования семян воронку, которая представляла из себя сужающийся ко дну ящик со щелевидным дном на полозьях (рисунок 1), из которого семена сыпались на поверхность поля под действием возникающих при движении колебаний. Сеялка не получила широкого распространения из-за перерасхода семенного материала [3, 4].

Англичанин Джейкоб Кук в 1782 г. сконструировал сеялку с ложечковым высевающим аппаратом (рисунок 2 – а). Этот аппарат обладал повышенной точностью высева, но имел низкую производительность и сильно зависел от рельефа и уклона поверхности поля. Один из первых высевающих аппаратов с ячеистым валом был реализован в сеялке Дукета (рисунок 2 – б). В деревянном валу по спирали сделаны отверстия, что обеспечивало беспрерывную подачу семян и относительную равномерность распределения семян в рядке, однако производительность оставалась на очень низком уровне. К тому же деревянный вал часто повреждал семена. Австрийский изобретатель Франц Удвар заменил ячейки на желобки и поместил высевающий вал

в нижнюю часть бункера, попытавшись использовать активную зону истекающего слоя семян, что увеличило производительность и снизило чувствительность сеялки к уклонам рельефа поля (рисунок 2 – в) [2].

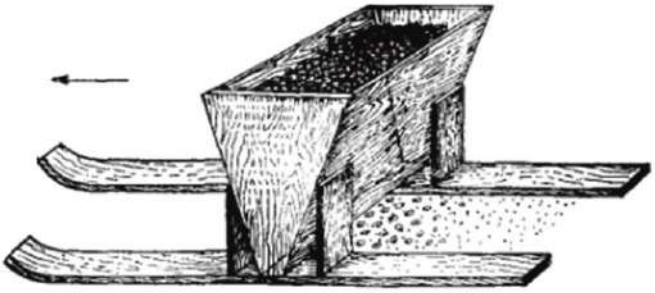


Рисунок 1 – Сеялка Джовани Каваллины

а – ложечный аппарат Кука

б – ячеистый аппаратДукета

в – спирально-желобчатый аппарат Удвара

Рисунок 2 – Высевающие аппараты

В 1805 г. немецкий ученый Альбрехт Тэер предложил высевающий аппарат, состоящий из валика с закрепленными на нем металлическими катушками, которые вращались от опорного колеса посредством шестеренной передачи (рисунок 3). Для различных культур использовались катушки с определенной глубиной и формой желобков, что давало большое преимущество. Норму высева регулировали подбором необходимого передаточного числа в механизме привода. Аппаратами этого типа являются катушечно-штифтовые и катушечные высевающие аппараты с разными формами желобков, которые в дальнейшем получили самое широкое распространение (рисунок 3).

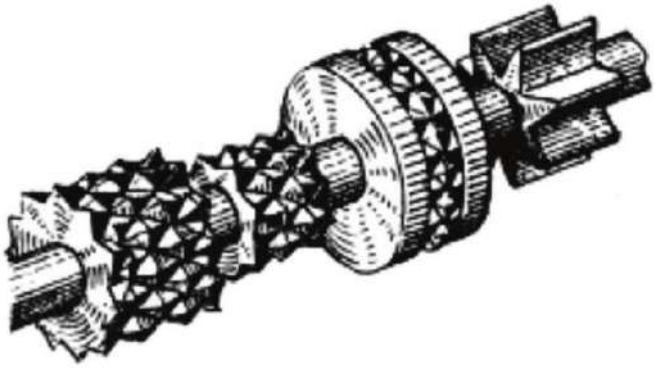


Рисунок 3 – Набор катушек высевающего аппарата Тэера

Некоторыми конструкторами предпринимались попытки использования вакуума. В 1943 г. И.Л. Слуцкий предложил пневматический высевающий аппарат, который состоит из полого цилиндра с отверстиями [5]. В полости вращающегося диска создается вакуум, и семена присасываются к отверстиям с наружной стороны и транспортируются из бункера в зону выгрузки. Высокая точность, низкая производительность и сложность конструкции таких аппаратов поспособствовали их перепрофилированию под высев культур, требующих точных параметров распределения их по площади поля, таких как сахарная свекла, кукуруза, и т.д.

В России массовое производство сеялок началось в конце 19 века. Известна сеялка с широкой колеей «Россия» (рисунок 4), снабженная катушечными высевающими аппаратами, которая выпускалась до 1927г. [6]. К 1913 году Россия вышла на третье место в Европе по производству сельхозмашин, объем выпуска – 59 тыс. шт. в год. В 1929 году начато производство тракторных сеялок. В результате работы по универсализации и унификации сеялок на основе новейших достижений науки было создано семейство комбинированных сеялок с пневматическими колесами и гидравлическим механизмом подъема сошников. Базовой моделью стала сеялка СЗ-3,6, запущенная в производство в 1971 году (рисунок 5). На ее основе были созданы модификации: СЗУ-3,6 (узкорядная), СЗП-3,6 (прессовая), СЗА-3,6 (анкерная), СЗО-3,6 (однодисковая) и др. В 1980-х было модернизировано семейство сеялок СЗ и созданы новые: широкозахватные стерневые СЗС-14 и СЗС-8, сеялки культиваторы СЗС-12 и СЗС-6, комбинированная СЗК-3,3 (таблица 1) [7].

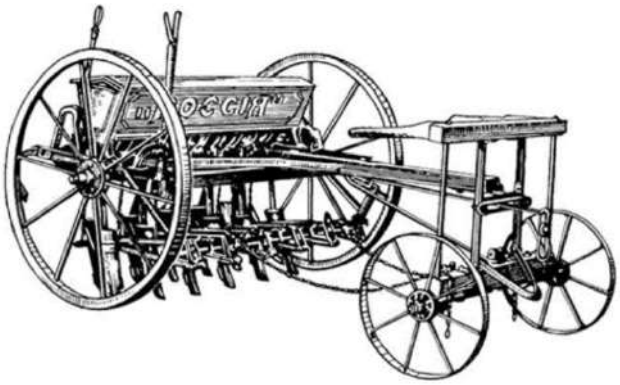


Рисунок 4 – Зерновая анкерная сеялка «Россия»

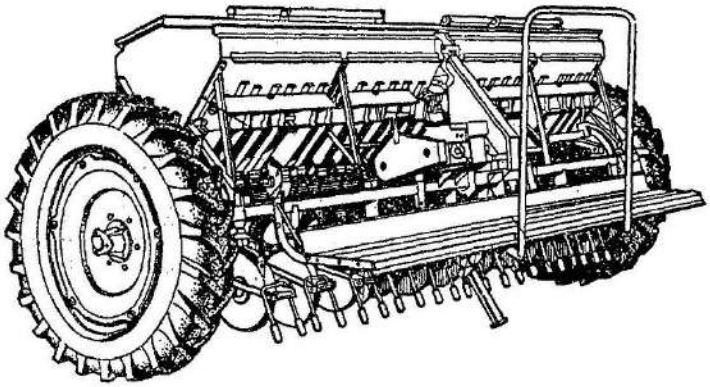


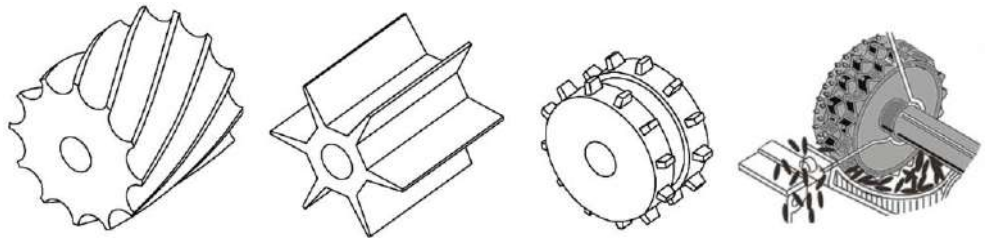
Рисунок 5 – Сеялка зерновая СЗ-3,6

Таблица 1 – Рост уровня механизации

Год	1933	1940	1950	1955	1965
Уровень механизации, %	7	56	74	94	100

Анализ и обсуждение. Ключевой особенностью посевной машины является тип применяемого в ней высевающего аппарата. Он является наиболее важным органом сеялки и служит для отбора определенного количества семян из общей массы и формирования потока с заданными параметрами. Разработано большое количество различных конструкций высевающих аппаратов, что продиктовано физико-механическими свойствами семян разнообразных сельскохозяйственных культур, такими как размер, форма, состояние поверхности [8]. От качественного функционирования высевающего аппарата зависит технологический процесс возделывания сельскохозяйственных культур. От совершенства конструкции, технического состояния и правильной регулировки в значительной мере зависит качество посева, и, как следствие, урожайность. К высевающим аппаратам предъявляют следующие основные агротехнические требования: равномерная подача семян в сошник, независимо от уровня заполнения семенного бункера, угла наклона сеялки, скорости движения агрегата, вибрации, рельефа поля, низкий показатель травмирования семян.

В настоящее время самое большое распространение получили сеялки с катушечными высевающими аппаратами. Они используются для высева культур, не требующих равномерного распределения семян в рядке. Главным элементом такого аппарата является катушка, которая, вращаясь, перемещает семена и выгружает их в семяпровод. Из-за большого разнообразия физико-механических и геометрических параметров семян сельскохозяйственных культур разработано немало конструкций катушек. В основном это желобчатые (для высева мелких семян), штифтовые (для средних по размеру семян) и лопастные (для высева крупных семян и удобрений) катушки (рисунок 6).



а – желобчатая б – лопастная в – штифтовая г – комбинированная AMAZONE-D9

Рисунок 6 – Конструкции катушек

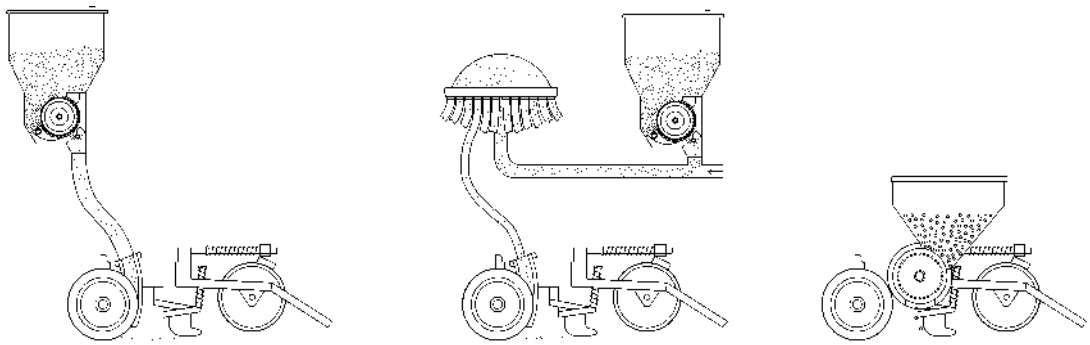
Иногда используют сразу два вида катушек. Так, в сеялке AMAZONE-D9 комбинируют два диска, которые могут работать как одновременно, так и по одному: в случае посева некоторых зерновых и бобовых культур стандартная катушка и катушка для мелкосеменных соединяются с помощью шплинта и вращаются одновременно, а при высеве мелкосеменных стандартная катушка отсоединяется и не вращается (рисунок 6 – г) [9]. Высевающие аппараты сеялки AMAZONE Condor 15001 оснащены сменными дозирующими катушками, которые состоят из нескольких элементов: разделительных металлических пластин, дозирующего и пустого колеса (рисунок 7).

а – дозирующее колесо б – пустое колесо в – разделительная пластина г – катушка в сборе

Рисунок 7 – Дозирующая катушка высевающего аппарата сеялки AMAZONE Condor 15001

Набор элементов такой катушки зависит от параметров семян и нормы высева [10]. Катушечные высевающие аппараты конструктивно относительно просты, но главным недостатком является неравномерность подачи высеваемого материала, что делает невозможным точный высев.

Доставка семян от высевающего аппарата к сошнику может осуществляться механически и пневматически. У некоторых сеялок система доставки исключена конструкцией, например, у Kverneland Monopill e-drive II высевающий аппарат установлен непосредственно над сошником (рисунок 8 – в).



а – механический б – пневматический в – без системы доставки

Рисунок 8 – Способы доставки семян

Механический способ широко распространен у российских фермеров. Это обусловлено надежностью, простотой конструкции и несложной настройкой. К недостаткам этого способа можно отнести повышение процента поврежденных семян, так как они более активно контактируют с жесткими деталями высевающего аппарата и семяпроводом, что приводит к их истиранию и крошению. Но эта проблема частично решается за счет совершенствования параметров катушки и использования в конструкции деталей, выполненных из полимерных материалов.

При пневматическом способе доставки используется воздушный поток, который увлекает семена и переносит их к сошнику. Это наиболее эффективно в широкозахватных сеялках. Такая система доставки имеет сравнительно простую конструкцию, невысокую материалоемкость и вес. Имеются и недостатки: повреждение семян из-за частых столкновений с внутренними поверхностями гофрированных семяпроводов и делительной головки, наблюдается неравномерность распределения семян между сошниками, особенно при высеве мелкосеменных культур, воздушный поток может сносить мелкие семена при малой глубине заделки из-за неровностей почвы.

В борьбе за увеличение качества и объема урожаев производители вынуждены решать вопросы связанные с созданием техники, требования к которой постоянно растут. Это производительность и безотказность, ведь очень важно соблюдать агротехнические сроки, равномерное распределение семян в каждом рядке и по ширине захвата, заделка семян на одинаковую глубину в плотное ложе. А также снижение стоимости машины, повышение универсальности путем расширения диапазона регулировки нормы высева, низкий процент травмирования семян при транспортировке по семяпроводу и простоту при настройке, ремонте и эксплуатации.

На Поволжской МИС были проведены испытания шести образцов посевных машин, в которых реализованы как механический (рисунок 9, таблица 2), так и пневматический (рисунок 10, таблица 3) способы доставки семян к сошникам. Испытания проводились на культурах с различными по физико-механическим свойствам семенами (масса, размер, сыпучесть и др.) [11].

а – «БДМ-Агро» СЗТ-4 б – «Агромашхолдинг» СЗМ-300 в – Amazone D9 6000-TC

Рисунок 9 – Сеялки с механической системой доставки семян

Таблица 2 – Сеялки с механической системой доставки семян

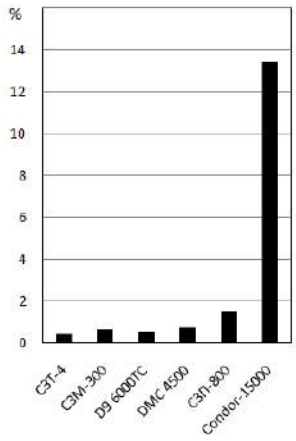
Наименование	«БДМ-Агро» СЗТ-4	«Агромашхолдинг» СЗМ-300	Amazone D9 6000-TC
Рабочая ширина, м	4	3	6
Количество рядов, шт.	24	23	36/48
Междурядье, см	17,5	13	16,6/12,5
Объем бункера семян/удобрений, л	1000/1000	620/-	1640/1640
Масса, кг	3250	730	4100
Агрегатирование, л. с.	100-130	85-100	80
Удельная металлоемкость, кг/м	813	243	683

а – «Агромашхолдинг» СЗП-800 б – Amazone Primera DMC-4500 в – Amazone Condor-15000

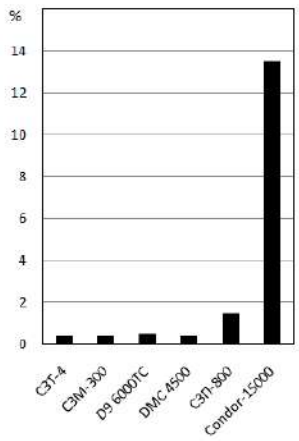
Рисунок 10 – Сеялки с пневматической системой доставки семян

Таблица 3 – Сеялки с пневматической системой доставки семян

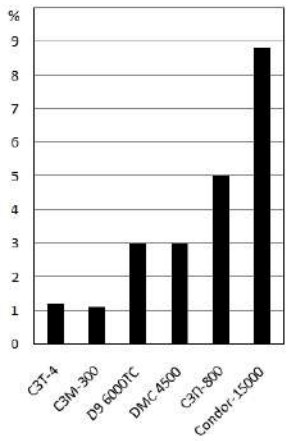
Наименование	Amazone Primera DMC-4500	«Агромашхолдинг» СЗП-800	Amazone Condor-15000
Рабочая ширина, м	4,5	8	15
Количество рядов, шт.	24	64	60/48
Междурядье, см	18,75	12,5	25/31,3
Объем бункера семян/удобрений, л	4000/2000	1500/-	5000/3000
Масса, кг	5600	3190	10500
Агрегатирование, л. с.	95-130	150-180	270
Удельная металлоемкость, кг/м	1244	399	700



а – дробление семян



б – отклонение фактической нормы высева от заданной



в – неравномерность высева между аппаратами

Рисунок 11 – Результаты испытаний

Как видно из графиков (рисунок 11), у агрегатов с пневматической системой доставки семян имеются недостатки. У сеялки «Агромашхолдинг» СЗП-800 наблюдается незначительное превышение дробления семян гороха (1,3%) и озимой пшеницы (0,4%). У сеялки AMAZONE Condor-15000 (рисунок 11 – а) при высеве проса значение дробления семян существенно превышает (до 14%) допустимый предел (0,3%), это происходит из-за обрушивания семян. Также наблюдается неравномерность высева между семяпроводами при высеве сои до 8,9% при нормативе 6%. Чем больше ширина захвата сеялки, тем больше значение неравномерности, что хорошо видно на графике (рисунок 11 – в). Высокая металлоемкость сеялки СЗТ-4 (813 кг/м) объясняется наличием посевных и почвообрабатывающих секций. Однако это позволяет осуществлять посев по стерневому фону. Большое значение имеет размер семян: как правило, чем больше семена, тем более они подвержены дроблению. Обрушивание и дробление семян происходит в основном при столкновении потока с крышкой распределительной головки сеялки (рисунок 12).

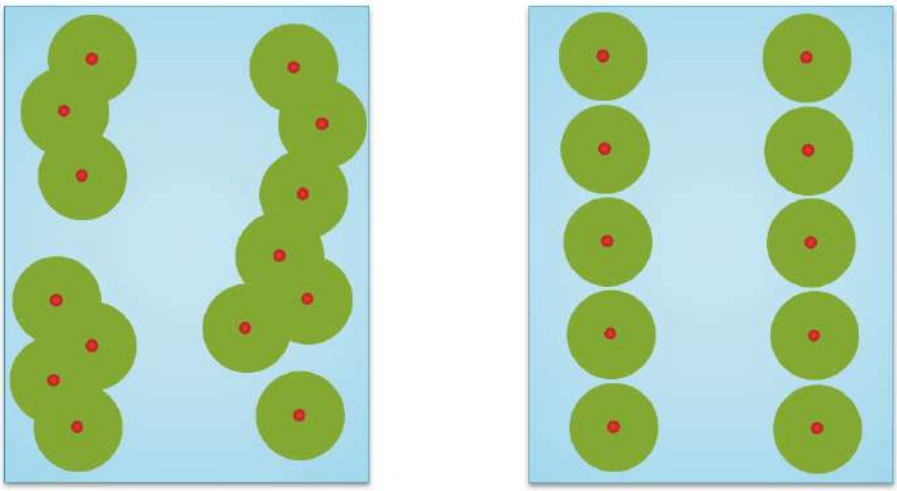
Рисунок 12 – Распределительная головка AMAZONE Condor-15000

При большой ширине захвата агрегата и центральном расположении высевающих аппаратов неизбежно использование длинных семяпроводов, а для обеспечения необходимого потока воздуха нужно увеличивать давление. Скорость движения семян в таком потоке увеличивается, также увеличивается и повреждение семян при столкновениях с распределительной головкой, в

которой происходит резкая смена направления движения потока. Механические повреждения семян приводят к потере всхожести и составляют 5–10% от общего объема. Это не так опасно для озимых культур, которые могут восстанавливать количество стеблей за счет дополнительного кущения, чего нельзя сказать о яровых, которые не обладают такой способностью.

Анализируя результаты проведенных испытаний можно выделить некоторые существенные отличия между сеялками с механическим и пневматическим высевом. Первые имеют более высокую надежность и ремонтопригодность из-за своей относительно простой конструкции. Но из-за невозможности доставки семян по длинному и изогнутому семяпроводу конструкторам приходится размещать высевающие аппараты над сошниками, что затрудняет создание машин с большой шириной захвата. Однако такое расположение высевающих аппаратов дает более равномерное распределение семян между рядками. Поэтому чаще всего такие сеялки используются в хозяйствах с небольшими посевными площадями. В сеялках с пневматическим высевом чаще всего реализован принцип центрального дозирования. Наличие одного большого бункера существенно сокращает время на загрузку посевного материала, обслуживание и настройку агрегата, что повышает производительность труда на посеве. Доставка семян в сошник осуществляется потоком воздуха, поэтому семяпроводы могут быть расположены под любым углом к горизонту, что делает возможным доставку семян на большее, по сравнению с механическим высевом, расстояние. Таким образом, можно конструировать сеялки с большой шириной захвата, но стоит помнить о том, что чем больше длина семяпровода, тем выше скорость движения семян по нему. Из-за особенностей конструкции распределительной головки, в которой происходит разделение потока по сошникам, семена сталкиваются с ее внутренними элементами и повреждаются, чего нельзя сказать о механическом высеве, где семена падают в сошник под действием собственного веса и повреждаются в меньшей степени. К тому же такой способ разделения семян приводит к неравномерности высева между рядками. Каждая сеялка имеет свои достоинства и недостатки, и при выборе стоит учитывать вышеизложенные факторы.

Стоит упомянуть, что покупатели сельхозпродукции предъявляют определенные требования к товарности. Например, для капусты белокочанной это определенный размер кочана (в зависимости от сорта), полнота формирования, плотность и др. [12]. Такие требования не позволяют производителям использовать для посева зерновые сеялки с катушечными высевающими аппаратами, смешивая семена капусты с балластом, так как они не обеспечивают точный высев, что приводит к пересечению зон питания растений, и, как следствие, неравномерному развитию кочанов и потере товарности (рисунок 13).



а) б)

Рисунок 13 – Зоны питания растений при высеве а) катушечным высевающим аппаратом б) аппаратом точного высева

К тому же производители семян указывают рекомендуемые параметры высева (ширина междурядий и шаг высева) и калибруют семена. Все это подталкивает фермеров к переходу на сеялки с аппаратами точного высева. Решением проблемы может стать модульный посевной блок (рисунок 14), который устанавливается на сеялку с катушечными высевающими аппаратами (СЗ-3,6) и позволяет производить посев пунктирным способом [13, 14, 15].

Рисунок 14 – Модульный посевной блок

Некоторые производители устанавливают на свои сеялки электроприводы для высевающих аппаратов. Это позволяет на ходу регулировать норму высева в зависимости от скорости движения агрегата, также упрощает настройку и контроль с помощью дистанционного управления из кабины трактора. Например, Lemken Saphir 8 (рисунок 15) имеет электропривод общего вала высевающих аппаратов [16]. Сеялка Monopill e-drive II (рисунок 16) производителя Kverneland имеет электропривод для каждого высевающего аппарата в отдельности, что позволяет выключать часть аппаратов из работы для полей с неправильной формой или напротив, увеличить норму высева в рядке, примыкающему к технологической колее [17].

Рисунок 15 – Lemken Saphir 8

Рисунок 16 – Kverneland Monopill e-drive II

В последнее время наблюдается тенденция на смену предпочтений в пользу комбинированных посевных агрегатов. Такая машина может за один проход выполнять несколько операций, обычно это подготовка почвы и посев. Существуют прицепные и навесные агрегаты. Прицепные имеют меньшую точность, но большую ширину захвату (от 12 метров). Навесные более точны, особенно, при использовании GPS, но имеют меньшую производительность [18].

Вывод. Совершенствуя существующие конструкции аппаратов и систем доставки семян к сошникам, можно улучшить результат их работы и, как следствие, повысить урожайность и равномерность созревания сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Халанский В.М. Экскурсия за плугом. – М.: Колос, 1974. – С. 15.

2. Безрукий Л.П., Макеев Н.К. От серпа до комбайна. – Минск: Ураджай, 1984. – С. 44.

3. Ценч Ю.С., Несмиян А.Ю., Хомутова Н.С. История развития конструкции высевающих аппаратов зерновых сеялок // Вопросы истории естествознания и техники. –2020. – Т. 41, №1. –С. 106.

4. Стрижов В.А. История создания посевных машин и перспективы их развития. – Челябинск: ЧГАУ. – 2004. – С. 12.

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

6. Артоболевский И.И., Благонравов А.А. Очерки истории техники в России (1861-1917). –М.: Наука, 1975. – С. 397.

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

8. Халанский В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины: учеб. пос. – М.: Колос, 2004. – 624 с.

9. Зерновая сеялка AMAZONE-D9. / URL: http://hitagro.ru/zernovaya-seyalka-amazone-d9/ (дата обращения 4.02.2021).

10. Руководство по эксплуатации AMAZONE Сеялка для обработки больших площадей Condor-12001-C Condor-15001-C. / URL: https://et.amazone.de/files/pdf/MG6041.pdf (дата обращения 4.02.2021).

11. Акишина Е.М. Муки выбора. Тест Agroreport // AGROREPORT. –2017. –№ 4. – С. 12-19.

12. ГОСТ 26768-85 Капуста белокочанная свежая, реализуемая в розничной торговой сети. Технические условия (с Изменениями N 1-4). –М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. –с. 48-54.

13. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Schwartz A.A., Baskatov I.V. Improving the efficiency of apparatus of exact seeding of small-seeded crops // Journal of Fundamental and Applied Sciences. –2018. –V10. –P. 1226-1241.

14. Шварц А.А., Шварц С.А. Повышение качества посева и универсальности аппаратов точного высева // Техника в сельском хозяйстве. –2005. –№3. – С. 43-44.

15. Патент № 2718529 Российская Федерация, МПК C2, A01C 7/04. Модульный блок к зерновой сеялке для точного посева мелкосеменных культур: опубл. 2020.04.08 / Шварц С.А., Полушин И.П., Шварц А.А., Кузнецов Н.С.

16. Посевная техника LEMKEN. / URL: https://lemken.com/ru/posevnaja-tekhnika (дата обращения 4.02.2021).

17. Сеялки Kverneland. / URL: https://ru.kverneland.com/Ceyalki (дата обращения 4.02.2021).

18. Кочелягин Н. Рынок сеялок в ожидании подъема // Агроинвестор. – 2016. – №3. –С. 16-19.

References

1. Halanskij V.M. Ekskursiya za plugom. – M.: Kolos, 1974. – S. 15.

2. Bezrukij L.P., Makeev N.K. Ot serpa do kombajna. – Minsk: Uradzhaj, 1984. – S. 44.

3. Cench YU.S., Nesmiyan A.YU., Homutova N.S. Istoriya razvitiya konstrukcii vysevayushchih apparatov zernovyh seyalok // Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki. –2020. – T. 41, №1. –S. 106.

4. Strizhov V.A. Istoriya sozdaniya posevnyh mashin i perspektivy ih razvitiya. – CHelyabinsk: CHGAU. – 2004. – S. 12.

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

6. Artobolevskij I.I., Blagonravov A.A. Ocherki istorii tekhniki v Rossii (1861-1917). –M.: Nauka, 1975. – S. 397.

7. Nesmiyan A.YU., Cench YU.S. Tendencii i perspektivy razvitiya otechestvennoj tekhniki dlya poseva zernovyh kul'tur // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. –2018. –T. 12, № 3. – S. 45

8. Halanskij V.M., Gorbachev I.V. Sel'skohozyajstvennye mashiny: ucheb. pos. – M.: Kolos, 2004. – 624 s.

9. Zernovaya seyalka AMAZONE-D9. / URL: http://hitagro.ru/zernovaya-seyalka-amazone-d9/ (data obrashcheniya 4.02.2021).

10. Rukovodstvo po ekspluatacii AMAZONE Seyalka dlya obrabotki bol'shih ploshchadej Condor-12001-C Condor-15001-C. / URL: https://et.amazone.de/files/pdf/MG6041.pdf (data obrashcheniya 4.02.2021).

11. Akishina E.M. Muki vybora. Test Agroreport // AGROREPORT. –2017. –№ 4. – S. 12-19.

12. GOST 26768-85 Kapusta belokochannaya svezhaya, realizuemaya v roznichnoj torgovoj seti. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami N 1-4). –M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1997. –s. 48-54.

13. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Schwartz A.A., Baskatov I.V. Improving the efficiency of apparatus of exact seeding of small-seeded crops // Journal of Fundamental and Applied Sciences. –2018. –V10. –P. 1226-1241.

14. SHvarc A.A., SHvarc S.A. Povyshenie kachestva poseva i universal'nosti apparatov tochnogo vyseva // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. –2005. –№3. – C. 43-44.

15. Patent № 2718529 Rossijskaya Federaciya, MPK S2, A01C 7/04. Modul'nyj blok k zernovoj seyalke dlya tochnogo poseva melkosemennyh kul'tur: opubl. 2020.04.08 / SHvarc S.A., Polushin I.P., SHvarc A.A., Kuznecov N.S.

16. Posevnaya tekhnika LEMKEN. / URL: https://lemken.com/ru/posevnaja-tekhnika (data obrashcheniya 4.02.2021).

17. Seyalki Kverneland. / URL: https://ru.kverneland.com/Ceyalki (data obrashcheniya 4.02.2021).

18. Kochelyagin N. Rynok seyalok v ozhidanii pod"ema // Agroinvestor. – 2016. – №3. –S. 16-19.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Шварц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, директор ООО «Меридиан», Россия, г. Курск, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Полушин Иван Павлович – аспирант Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: darthbane@inbox.ru.

Филатов Николай Евгеньевич – аспирант Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: filatova2312@mail.ru.

Кузнецов Николай Сергеевич – аспирант Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск.

Author credentials

Affiliations

Shvartz Anatoly – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Shvartz Sergey – Candidate of Technical Sciences, Director of LLC “Meridian”, Russia Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Polushin Ivan – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: darthbane@inbox.ru.

Filatov Nikolay – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: filatova2312@mail.ru.

Kuznetsov Nikolay – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk.

Поступила в редакцию (Received): 15.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 28.05.2021

УДК 631.319:631.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-31-39

КРАТКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОРУДИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

[1]Шварц Анатолий Адольфович
[1]Башкирев Анатолий Петрович
[1]Таныгин Олег Федорович
[1]Лукин Сергей Геннадьевич
[1]ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова»

Реферат. *Дан анализ различных технологий обработки почв, рассмотрены конструктивные и технологические характеристики почвообрабатывающих орудий на примере отвальной, безотвальной и поверхностной технологий, отмечена тенденция снижения роли энергоемкой плужной обработки, показаны качественные показатели работы орудий с пассивными и активными рабочими органами. Бесприводные ротационные орудия с горизонтальной осью вращения, представляющие собой, две батареи игольчатых дисков, соединенных между собой цепной передачей с передаточным коэффициентом около 3, и являются предметом изучения. Они выполняют агротребования поверхностной обработки почвы с минимальным тяговым сопротивлением. Исследована динамика и физическая сущность работы рыхлителя. Рассмотрены силы, действующие на него. Установлено, что касательная сила реактивного момента, обеспечивающего равновесие системы, у орудий с пассивными рабочими органами увеличивает тяговое сопротивление необходимое для перемещения рыхлителя, а у рыхлителя - уменьшает. Ротационные орудия, работающие на принципе движения со скольжением, позволяют снизить тяговое усилие, необходимое для перемещения орудия как за счет снижения скорости резания в сравнении с поступательной, так и изменением направления действия касательной силы реактивного момента. Установлено, что для более широкого использования орудий с ротационными рабочими органами, движущимися со скольжением необходимо идти по пути усовершенствования конструкции рабочих органов.*

Ключевые слова: *обработка почвы, технологии, орудия, рабочие органы, ротационный бесприводный рыхлитель-измельчитель.*

BRIEF ANALYSIS OF BASIC TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR TILLAGE

[1]Schwartz Anatoly
[1]Bashkirev Anatoly
[1]Tanygin Oleg
[1]Lukin Sergey
[1]FSBEI HE "Kursk State Agricultural Academy"

Abstract*. An analysis of various soil cultivation technologies is given, the design and technological characteristics of tillage tools are considered using the example of moldboard, moldboardless and surface technologies, a tendency towards a decrease in the role of energy-intensive plowing is noted, and the qualitative indicators of the work of tools with passive and active working bodies are shown. Non-powered rotary tools with a horizontal axis of rotation, which are two batteries of needle discs connected by a chain drive with a gear ratio of about 3, are the subject of study. They fulfill the agricultural requirements for surface tillage with minimal traction resistance. The dynamics and physical nature of the work of the ripper have been investigated. The forces acting on it are considered. It has been established that the tangential force of the reactive moment, which ensures the equilibrium of the system, increases the traction resistance required for the ripper movement for tools with passive working bodies, and decreases for the ripper. Rotary tools, operating on the principle of sliding motion, can reduce the tractive effort required to move the tool both by reducing the cutting speed in comparison with the translational one, and by changing the direction of the tangential force of the reactive moment. It has been established that for a wider use of tools with rotary working bodies moving with sliding, it is necessary to follow the path of improving the design of working bodies.*

Keywords*: tillage, technologies, implements, working bodies, rotary non-power ripper-chopper.*

Введение. В настоящее время в практике сельскохозяйственного производства появился целый комплекс технологий: экстенсивные, интенсивные, индустриальные, почвозащитные, влагосберегающие, интегрированные, альтернативные, биологические, адаптивные, экологически чистые и другие.

Однако при любой технологии присутствует обработка почвы, основные задачи которой состоят в создании благоприятных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур.

Исходя из агротехнологического назначения, различают следующие группы почвообрабатывающих машин:

- машины и орудия для основной обработки (отвальной, безотвальной);
- орудия для поверхностной обработки почв (включающие бороны дисковые, культиваторы и ротационные орудия);
- комбинированные орудия (машины).

Самую обширную группу для отвальной обработки почв составляют плуги общего назначения, которые могут быть прицепные, навесные и полу- навесные, а количество корпусов различной конструкции — от одного до 9.

Анализ материала показал, что отечественные образцы плугов практически не уступают зарубежным по технико-экономическим показателям.

Положительные качества, позволившие плугу занять ведущее место среди почвообрабатывающих орудий, заключается в удовлетворительном крошении пласта почвы, борьбе с засоренностью полей, сравнительно небольшом тяговом сопротивлении, высокой надежности, малой материалоемкости, простоте конструкции и т.д.

Однако, плуг имеет ряд как технологических, так и конструктивных недостатков. Плуг не выполняет основного требования почвозащитного земледелия — не оставляет стерню на поверхности поля. Ассиметричное расположение рабочих органов приводит к нерациональному использованию тягового усилия тракторов и увеличению длины орудия. Техническим несовершенством плугов является незначительная ширина захвата и большая длина, что не позволяет создавать на их базе комбинированных агрегатов, совмещающих 4-5 и более операций.

Известно, что ни одно из орудий с пассивными рабочими органами не может подготовить почву под посев за один проход. После них, как правило, требуется дополнительное изменение верхнего слоя пахотного горизонта на глубину заделки семян.

Например, исследования, проводимые в донском зональном НИИСХ [1] показали, что ни одно из испытываемых орудий серийного производства - плуги, плоскорезы и тяжелые дисковые бороны не дали требуемой обработки.

Из-за некачественной обработки почвы сошники сеялки не обеспечивают заделку семян на заданную глубину. Семена, попадая между крупными комками, плохо контактируют с почвой, что приводит к снижению всхожести семян и урожайности. Поэтому, как у нас в стране, так и за рубежом ставится вопрос о сокращении плужной обработки [2, 3].

Предпринимаются попытки устанавливать на плужные корпуса свободно вращающиеся рабочие органы. Результаты исследований не выявили преимущества комбинированных плугов с рабочими органами пассивного вращения ни по тяговому сопротивлению, ни по качеству обработки почвы[4].

Более совершенным направлением признано применение на плугах ротационных рабочих органов с активным приводом, что способствует снижению тягового сопротивления и более полной загрузке современных энергонасыщенных тракторов.

Низкое качество изготовления рабочих органов влияет на технологические показатели обработки почвы. Особенно это заметно на примере плугов. В период приработки отвалов корпусов, которые в нашей стране изготавливают из черного проката, из-за залипания рабочей поверхности корпусов расход топлива повышается на 15-20 %, а пласт плохо оборачивается. Период приработки отвалов на сырых глинистых почвах может растянуться на весь пахотный сезон [5, 6].

Для снижения энергоемкости вспашки эффективно применение шлифованных отвалов, изготовляемых из твердых специальных сталей. Это позволяет снизить тяговое сопротивление рабочих органов плуга до 10%. Перспективно применение полимерных отвалов типа фторопласт обеспечивающих уменьшение тягового сопротивления плуга на 30%.

Ведутся работы по созданию фронтальных и оборотных плугов. В отечественном машиностроение наметилась тенденция создания модульно-блочных унифицированных узлов и

агрегатов, что позволяет упростить как изготовление различных типов машин, так и их эксплуатацию и ремонт. Так по данным ВИМа только применение модульных унифицированныгх плугов и комбинированных безотвальных агрегатов позволит сократить номенклатуру машин до 50%, уменьшить трудоемкость техобслуживания на 30% и снизить расход топлива на 12%[7].

Для безотвальной обработки почвы выпускаются дисковые орудия, чизельные плуги и культиваторы, глубокорыхлители, плоскорезы и фрезы. Орудия, применяемые для безотвальной обработки, экономичнее и производительнее отвальных плугов.

Все большее распространение получает чизельная обработка почвы. Чизельные орудия менее энергоемки, более производительны и обеспечивают существенную экономию прямых затрат при возделывании сельскохозяйственных культур.

На базе ранее серийно выпускаемого чизельного плуга ПЧ-4,5 производится семейство чизельных глубокорыхлителей, обрабатывающих безотвально почву на глубину до 0,7 м.

Английская фирма «Ай-Си-Ай» разработала оригинальную конструкцико плуга-рыхлителя для безотвальной обработки «Параплау», представляющего собой комбинацию чизеля и плуга

Плуг-рыхлитель получил наибольшее распространение на почвах, подверженных водной и ветровой эрозии и там, где внедрение интенсивного земледелия, с использованием плужной обработки, привело к снижению плодородия почв вследствие разрушения их структуры. Эффективность работы данного орудия проверена в условиях ОППХ ВНИИЗ и ЗПЭ[8,9].

Орудия для безотвальной обработки в основном оснащены плоскорезными рабочими органами. В отличие от плугов плоскорезы обладают меньшей длиной при значительно большей ширине захвата.

Широкое внедрение плоскорезов в практику земледелия сдерживается рядом проблем, возникающих при их эксплуатации. Это повышенная засоренность посевов, недостаточное крошение и неустойчивость хода рабочих органов по глубине обработки при работе на тяжелых почвах.

Проведенные нами исследования и внесенные конструктивные изменения в широкозахватные шарнирно-сочлененные культиваторы позволили повысить устойчивость глубины хода рабочих органов боковых секций [9].

Для поверхностной (мульчирующей) обработки почвы в нашей стране и за рубежом нашли применение орудия, оснащенные дисковыми рабочими органами. Они с успехом используются как для лущения стерни, так и для подготовки почвы под посев. Положительной особенностью дисковых орудий являются их малые габариты и возможность совмещения нескольких технологических операций

Рабочими органами борон являются сферические диски сплошные или вырезные и игольчатые диски.

В качестве противоэрозийного орудия в системе почвозащитного земледелия используется дисковая игольчатая борона БИГ-ЗА.

Большую группу почвообрабатывающих машин как для основной, так и дополнительной обработки почвы составляют прицепные и навесные культиваторы с рабочей шириной захвата до 10 м. В зависимости от возделываемой культуры и агрофона севооборота используются клиновидные, стрельчатые и долотообразные рабочие органы на жестких, подпружиненных или пружинных стойках и органично сочетаются в комбинированных орудиях[10,11,12].

Высокое качество крошения почвы обеспечивают орудия с активными рабочими органами. Однако, они обладают высокой энергоемкостью процесса. Дисковые рабочие органы, имеющие большую площадь скалывания и перемещение частиц по рабочей поверхности оказывают значительное влияние на разрушение почвенной структуры и до 70% измельчают и засыпают стерню и способствуют развитию эрозионных процессов[13,]. Кроме этого, применение дисковых борон не снижает трудозатрат на единицу обрабатываемой площади.

Орудие с пассивными рабочими органами имеет высокую энергоемкость. Например, плоскорезные лапы шириной 35 см при глубине обработки 22 см и скорости движения 1,45 м/с обладают удельным тяговым сопротивлением 6,4 Н/см^2 [14]. Борона БИГ-3 при скорости 2,64 м/с имеет удельное тяговое сопротивление 3,96 Н/см^2 [15,16].

Удельное тяговое сопротивление таких орудий незначительно увеличивается с увеличением скорости. Например, по данным Р.Ф. Зиязетдинова [17] тяговое сопротивление с увеличением скорости движения увеличивается в среднем на 5,0-6,5% на каждый метр увеличения скорости, в то время как у плуга это приращение равно 53% [18, 19].

Таким образом, орудия с игольчатыми дисками обладающие малой энергоемкостью, способны обеспечивать высокое качество крошения почвы. Степень крошения почвы бороной БИГ-3 достигает 75-86% [20].

Все более широкое применение при поверхностной обработке находят ротационные орудия с вертикальной и горизонтальной осью вращения рабочих органов. Однако привод вертикальных рабочих органов, осуществляемый от ВОМ трактора, усложняет конструкцию и снижает его надежность. Кроме того, это орудие используется только для дополнительной обработки легких и средних почв.

Особый интерес представляет конструкция ротационного бесприводного орудия с горизонтальной осью вращения игольчатых дисков. Конструкция включает две батареи игольчатых дисков соединенных между собой цепной передачей с передаточным коэффициентом около 3. Это позволяет добиться высокой степени крошения почвы [21, 22].

Простота конструкции, технологическая надежность, высокая производительность позволяют предположить, что такие орудия займут прочное положение среди почвообрабатывающих орудий как за рубежом, так и в нашей стране [23]

Анализ и обсуждение. Одним из основных направлений развития почвообрабатывающих машин является повышение их производительности и снижение механических воздействий на почву. Как правило, производительность зависит от ширины захвата орудия и скорости его движения, а качество крошения - от способа воздействия рабочих органов на почву. Повышение производительности агрегатов путем увеличения ширины захвата орудия связано с увеличением материалоемкости агрегатов, что снижает их эксплуатационные качества. Повышение производительности путем роста скоростей, вызывает резкое увеличение тягового сопротивления. В этом случае сопротивление почвы действию рабочего органа обусловлено не только деформацией пласта, но и сообщение ему кинетической энергии. Увеличение тягового сопротивления рабочего органа с ростом скорости происходит за счет силы Ra [24]

$$Ra = \varepsilon_{\circ} a в V^2 b \qquad (1)$$

где ε - скоростной коэффициент, зависящий от свойств и параметров рабочего органа; a и $в$ - высота и ширина подрезаемого пласта; V - скорость движения рабочего органа.

Из этой зависимости следует, что с увеличением скорости сопротивление Ra растет по параболе.

Создание скоростных рабочих органов путем совершенствования их геометрической формы позволило, в отдельных случаях, повысить рабочие скорости с 5-6 до 8-9 км/ч [25,26] .

В настоящее время существуют орудия, рабочие органы которых воздействуют на почву со скоростью, равной поступательной скорости агрегата (пассивные) или со скоростью превышающей ее (активные). Например, энергоемкость фрезерования почвы в 2-3 раза выше, чем при вспашке [27]. Кроме того рабочие органы фрезерных почвообрабатывающих орудий, при высоком качестве крошения почвы, быстро изнашиваются. Пассивные рабочие органы не обеспечивают высокого качества крошения почвы и требуют выполнения нескольких технологических приемов[28].

Одним из перспективных направлений развития почвообрабатывающих машин могут служить орудия с ротационными рабочими органами, в виде игольчатых дисков, движущимися со скольжением [29].

По данным предыдущих исследований ВНИИЗиЗПЭ безприводные орудия с ротационными рабочими органами, движущимися со скольжением, обладают высоким качеством крошения почвы и относительно малой энергоемкостью процесса. Это снижает механическое воздействие на почву. Орудие подобного типа впервые включено в систему на 1981-1990гг. Возможности таких орудий использованы далеко не полностью и требуют тщательной теоретической и экспериментальной проверки.

Установлено, что скорость резания при движении со скольжением уменьшается, с уменьшением коэффициента торможения. Это обусловливает снижение энергоемкости процесса [30]. Из анализа динамики рыхлителя следует, что сила P, необходимая для перемещения рыхлителя равна (рисунок 1),

$$\mathrm{P} = \frac{1}{2g}\left[3P_1 + 3P_2\left(\frac{1}{\eta}\right)^2 + 2P_{об}\right]\ddot{x} + \frac{N_1 f x_1}{r_1} + \frac{N f x}{r_1}\cdot\frac{1}{\eta} + F_p\left(1-\frac{1}{\eta}\right) - F_p\left(1-\frac{1}{\eta}\right)\frac{1}{\eta}\cdot K, \qquad (2)$$

где первое слагаемое представляет собой силу F_u инерции рыхлителя; второе и третье – силы $F'_{тк}$ и $F_{тк}$ трения качения, соответственно, передней и задней батарей; выражение $F_p\left(1-\frac{1}{\eta}\right)$ характеризует усилие F_p , возникающее на рабочей батарее при обработке почвы; последнее выражение $F_p\left(1-\frac{1}{\eta}\right)\frac{1}{\eta}\cdot$ К -есть касательное усилие F' , обеспечивающее реактивный момент для торможения рабочей батареи, вектор силы F' направлен в сторону движения и снижает общее тяговое сопротивление рыхлителя необходимое для его перемещения.

Экспериментальные исследования показали, что величина силы F' составляет 8-12% от общего сопротивления на рабочей батарее.

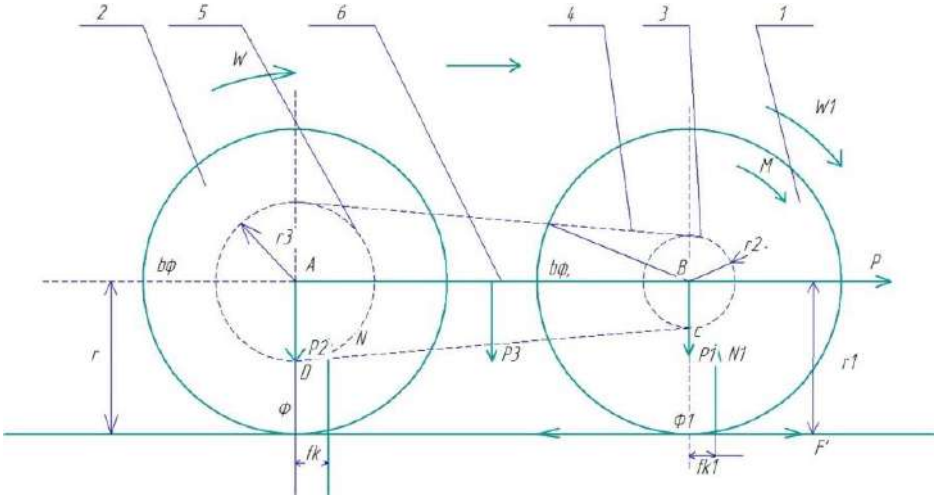


Рисунок 1 – Схема к определению сил, возникающих при кинематическом несоответствии колёс

Рассмотрим физическую сущность работы рыхлителя.

Установлено, что усилие на рабочую батарею 2 в результате действия силы P передается по нижней ветви СД цепи. Тогда рама 6, звездочки 3 и 5 и нижняя ветвь СД цепи образуют четырехзвенный механизм АВСД (см. рисунок 1).

Поскольку сопротивление перекатыванию батарей представляет меньший интерес и с целью наглядности представим игольчатые диски в виде отдельных вертикально расположенных зубьев 1 и 2 длиной r_1 и r (рисунок 2).

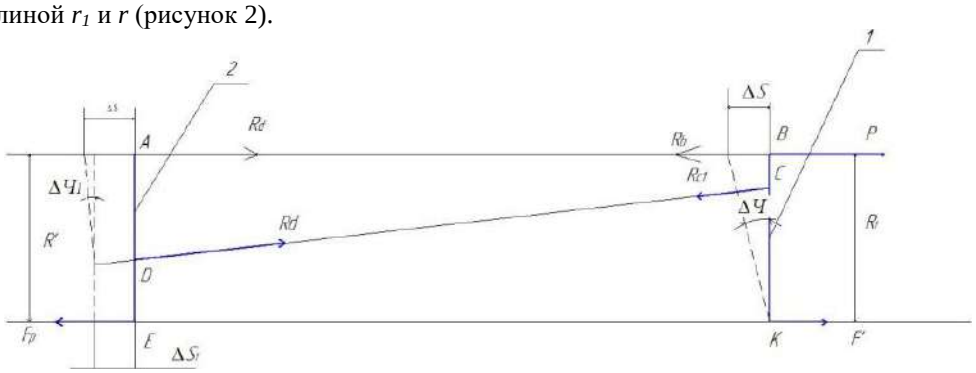


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на рыхлитель

Согласно работы рыхлителя передний диск должен двигаться без скольжения и буксования. Следовательно, для установившегося движения при перемещении рыхлителя на бесконечно малое расстояние ΔS передний зуб 1 повернется вокруг (условно принятого) неподвижного шарнира на бесконечно малый угол $\Delta\phi$. При условии $r_1 = r$ и $\frac{AD}{BC}=\eta$ (здесь АД и ВС - радиусы звездочек,

соответственно 3 и 5) зуб 2 повернется на бесконечно малый угол $\Delta\phi = \frac{\Delta\phi_1}{\eta}$, а его конечная точка Е переместится на величину $\Delta S_1 = \frac{\Delta S}{\eta}$.

Уменьшение тягового сопротивления на величину F' можно пояснить на примере работы орудий с пассивными рабочими органами, например, культиваторной или плоскорезной лапы (рисунок 2).

В результате такого перемещения в точке Е возникнет сила F_p трения скольжения, направленная в обратную сторону действия силы P. Сила F_p является полезной силой, которая возникает в результате крошения почвы. Эта сила F_p, вызывает равные и навстречу направленные реакции $R_д$ и R_c в нижней ветви цепи. Одновременно возникают равные и противоположно направленные реакции R_a и $R_в$, соответственно, в шарнирах А и В и реакция F' в шарнире К, направленная в сторону действия внешней активной силы P. Для данной системы силы P, F_p и F' будут внешними. Тогда усилие, необходимое для преодоления силы F_p, равно

$$P = F_p - F' \tag{3}$$

Но, согласно зависимости (2) сила F' определяется

$$F' = F_p\left(1 - \frac{1}{\eta}\right)\frac{1}{\eta} \cdot \text{К}\,, \tag{4}$$

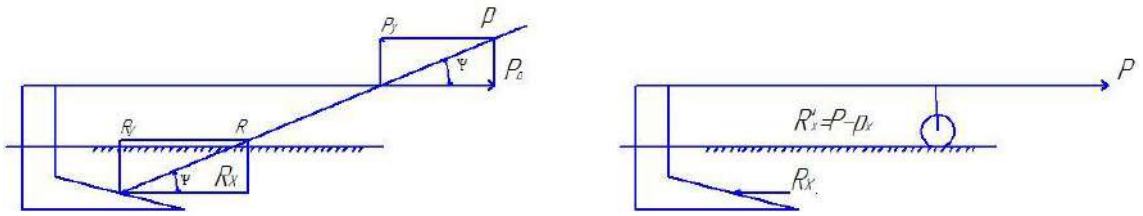
т.е. с увеличением η сила убывает, и при $\eta = \infty$ когда рабочие органы заторможены, она равна нулю.

Кроме того, сила F_p прямо пропорциональна коэффициенту скольжения $\left(1 - \frac{1}{\eta}\right)$, следовательно:

$$\text{P} = F_p\left(1 - \frac{1}{\eta}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta}\right) \cdot \text{К} = F_P\left(1 - \frac{1}{\eta}\right)^2 \cdot K, \tag{5}$$

Сущность уменьшения силы F_p заключается в том, что игольчатый диск имеет скорость движения больше, чем скорость резания.

На рабочей поверхности клина возникает результирующая сила R элементарных сопротивлений почвы, направленная под некоторым углом ψ к направлению движения. Для того, чтобы в процессе движения система находилась в равновесии, внешнюю активную силу Р необходимо приложить или по линии действия результирующей силы (см. рисунок 3а) или установить дополнительное опорное колесо, обеспечивающее реактивный момент, в случае если Р направлена параллельно линии движения (см. рисунок 3б).



а б

Рисунок 3 – Схема сил, действующих на пассивные рабочие органы

Тогда в первом случае для преодоления горизонтальной составляющей R_a необходимо приложить внешнюю силу $P = \frac{R_x}{\cos\psi}$, во втором $P = R_x + F_{тр}$.

Вывод. Таким образом, касательная сила реактивного момента, обеспечивающего равновесие системы, у орудий с пассивными рабочими органами увеличивает тяговое сопротивление необходимое для перемещения рыхлителя, а у рыхлителя - уменьшает.

Ротационные орудия, работающие на принципе движения со скольжением, позволяют снизить тяговое усилие, необходимое для перемещения орудия как за счет снижения скорости резания в сравнении с поступательной, так и изменением направления действия касательной силы реактивного момента.

Для более широкого использования орудий с ротационными рабочими органами, движущимися со скольжением необходимо идти по пути усовершенствования конструкции рабочих органов.

Список литературы

1. Бородин Н., Кириченко А. Новый почвообрабатывающий агрегат // Земледелие. – 1982. – № 7. – С. 70-71.

2. Синеоков Г.Н Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин. – М.: Машгиз, 1989. – 86 с.

3. Вострухин Н. П. Безотвальная обработка почвы в севообороте. Научные исследования и практическое применение. – Москва: Машиностроение, 2013. – 382 с.

4. Кородецкий А. В. Безотвальная обработка почвы на приусадебном участке: умные агротехнологии. – М.: Питер, 2012. – 826 с.

5. Кородецкий А. Безотвальная обработка почвы на приусадебном участке. Умные агротехнологии. – М.: Питер, 2012. – 128 с.

6. Нарциссов В.П. Научные основы систем земледелия. – М.: Колос, 1982. – 328с.

7. Тенденции развития машин для минимальной обработки почвы: обзор. информ. / Ларюхина Г. Г., Горбачев Ф. П., Пешков А. В., Бугаевский М. П.; Госкомсельхозтехника СССР. ЦНИИТЭИ, – М., 1982. – 12 с.

8. Глухих М.А., Калетин Г.А., Попов А.П. Оптимальное сочетание способов основной обработки почвы. // Земледелие. – 1981. – С. 96.

9. Шварц А. А. Технологии и машины почвозащитной обработки почвы. – Курск: изд-во КГСХА, 2004. – 216 с.

10. Черкасов Г.Н. Перспективы использования нулевых и поверхностных обработок в России // Актуальные агросистемы. – 2015. – №7-8 (31). – С. 8-13.

11 Шварц А.А., Лукин С.Г. Обоснование поверхностной обработки почвы // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК: матер. Всерос. национал. науч.-практ. Конф., г. Курск, 11-13 декабря 2019г., ч.1. – Курск: изд-во Курск. ГСХА, 2020. – С. 360-364.

12. Кувайцев В. Н. Машины и орудия для обработки почвы. – М.: Бибком, 2013. – 626 с.

13. Руденко В.Н. Механическая обработка почвы: учеб. пособие. – М.: КноРус, 2016. – 632 с.

14. Кувайцев В. Н. Машины и орудия для обработки почвы. – М.: Бибком, 2013. – 626 с.

15. Старовойтов Н.А. Поверхностная обработка почвы под яровые культуры. // Земледелие. – 1981. – № 8. – С. 18-19.

16. Авторское свидетельство SU 1060127 A1. Способ противоэрозионной обработки почвы и устройства для его осуществления: 15.12.1983 / В.И. Курсин , А.А. Шварц.

17. Стрельбицкий В.Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины. – М.: Машиностроение, 1978. – 135 с.

18. Машины для поверхностной обработки почвы под посев сельскохозяйственных культур / Юнусов Г.С., Майоров А.В., Попов И.И., Кропотов Ю.А. // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. – Киров, 2012. – С. 50-55.

19. Диско-зубовая коническая борона / Мазитов И.К., Маликов М.М., Гайнанов Х.С., Денисов В.Я. [и др.] // Земледелие. – 1981. – № 3. – С. 58-60.

20. Бараев А.И., Важенин А.Н. Пути совершенствования противоэрозионной техники // Механизация и электрификация социал. сельского хозяйства. – 1973. – № 4. – С. 1-4.

21. Кабаков Н., Жук А. Новый почвообрабатывающий агрегат // Земледелие. – 1982. – № 9. – С. 72-73.

22. Эффективность минимализации обработки серой оподзоленной почвы / Дорошенко Е.Д., Грицай А.Д., Гавриленко В.Г., Коломиец Н.В. // Земледелие. – 1982. – № 8. – С. 20-23.

23. Лежнев Г., Носков П. Орудия для закрытия влаги. Какие лучше? // Земледелие. – 2002. – № 2. – С. 20-22.

24. Белевич П.К., Пилецкий А.З. Безотвальная противоэрозионная пахота (на склонах) в увлажненной зоне. // Механизация и электрификация социал. сельск.х-ва. – 1993. – № 1. – С. 17-18.

25. Терещенко И.О., Зыков В.А. Эффективность игольчатой бороны-мотыги. // Механизация и электрификация социал.сельск. хоз-ва. – 1975. – № 2. – С. 9-11.

26. Зиязетдинов Р.Ф. Исследование процессов работы агрегатов с игольчатыми дисками на обработке сельхозкультур: дис …канд. техн. Наук. – Челябинск, 1985.

27. Кленин Н.И., Попов Н.Ф., Сакун В.А. Сельскохозяйственные машины. – М., 1970. – 456 с.

28. Перспективное направления развития почвообрабатывающих машин / Желиговский В.А., Сизов О.А., Гришин М.Д., Сакун В.А. // Механизация и электрификация соц,сельск,хоз-ва. – 1974. – № 11. – С. 6-9.

29. Яруллин Ф.Ф., Валиев А.Р. Классификация ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: тр. междунар. науч.-практ. конф. / Ин-т механизации и технич. сервиса. – Казань: изд-во Казан. ГАУ, 2015. – С. 131-137.

30. Седнев Н.А. Анализ работы ротационных рабочих органов при движении с затормаживанием. // Тракторы и сельхозмашины. – 1978. – № 10. – С. 18-19.

References

1. Borodin N., Kirichenko A. Novyj pochvoobrabatyvayushchij agregat. // Zemledelie. – 1982. – № 7. – S. 70-71.

2. Sineokov G.N Diskovye rabochie organy pochvoobrabatyvayushchih mashin. – M.: Mashgiz, 1989. – 86 s.

3. Vostruhin N. P. Bezotval'naya obrabotka pochvy v sevooborote. Nauchnye issledovaniya i prakticheskoe primenenie. – Moskva: Mashinostroenie, 2013. – 382 c.

4. Korodeckij A. V. Bezotval'naya obrabotka pochvy na priusadebnom uchastke: umnye agrotekhnologii. – M.: Piter, 2012. – 826 c.

5. Korodeckij A. Bezotval'naya obrabotka pochvy na priusadebnom uchastke. Umnye agrotekhnologii. – M.: Piter, 2012. – 128 c.

6. Narcissov V.P. Nauchnye osnovy sistem zemledeliya. – M.: Kolos, 1982. – 328s.

7. Tendencii razvitiya mashin dlya minimal'noj obrabotki pochvy: obzor. inform. / Laryuhina G. G., Gorbachev F. P., Peshkov A. V., Bugaevskij M. P.; Goskomsel'hoztekhnika SSSR. CNIITEI, – M., 1982. – 12 s.

8. Gluhih M.A., Kaletin G.A., Popov A.P. Optimal'noe sochetanie sposobov osnovnoj obrabotki pochvy. // Zemledelie. – 1981. – S. 96.

9. SHvarc A. A. Tekhnologii i mashiny pochvozashchitnoj obrabotki pochvy. – Kursk: izd-vo KGSKHA, 2004. – 216 s.

10. CHerkasov G.N. Perspektivy ispol'zovaniya nulevyh i poverhnostnyh obrabotok v Rossii // Aktual'nye agrosistemy. – 2015. – №7-8 (31). – S. 8-13.

11. SHvarc A.A., Lukin S.G. Obosnovanie poverhnostnoj obrabotki pochvy // Aktual'nye problemy molodezhnoj nauki v razvitii APK: mater. Vseros. nacional. nauch.-prakt. Konf., g. Kursk, 11-13 dekabrya 2019g., ch.1. – Kursk: izd-vo Kursk. GSKHA, 2020. – S. 360-364.

12. Kuvajcev V. N. Mashiny i orudiya dlya obrabotki pochvy. – M.: Bibkom, 2013. – 626 c.

13. Rudenko V.N. Mekhanicheskaya obrabotka pochvy: ucheb. posobie. – M.: KnoRus, 2016. – 632 c.

14. Kuvajcev V. N. Mashiny i orudiya dlya obrabotki pochvy. – M.: Bibkom, 2013. – 626 c.

15. Starovojtov N.A. Poverhnostnaya obrabotka pochvy pod yarovye kul'tury. // Zemledelie. – 1981. – № 8. – S. 18-19.

16. Avtorskoe svidetel'stvo SU 1060127 A1. Sposob protivoerozionnoj obrabotki pochvy i ustrojstva dlya ego osushchestvleniya: 15.12.1983 / V.I. Kursin , A.A. SHvarc.

17. Strel'bickij V.F. Diskovye pochvoobrabatyvayushchie mashiny. – M.: Mashinostroenie, 1978, – 135 s.

18. Mashiny dlya poverhnostnoj obrabotki pochvy pod posev sel'skohozyajstvennyh kul'tur / YUnusov G.S., Majorov A.B., Popov I.I., Kropotov YU.A. // Agrar. nauka Evro-Severo-Vostoka. – Kirov, 2012. – S. 50-55.

19. Disko-zubovaya konicheskaya borona / Mazitov I.K., Malikov M.M., Gajnanov H.S., Denisov V.YA. [i dr.] // Zemledelie. – 1981. – № 3. – S. 58-60.

20. Baraev A.I., Vazhenin A.N. Puti sovershenstvovaniya protivoerozionnoj tekhniki // Mekhanizaciya i elektrifikaciya social. sel'skogo hozyajstva. – 1973. – № 4. – S. 1-4.

21. Kabakov N., ZHuk A. Novyj pochvoobrabatyvayushchij agregat // Zemledelie. – 1982. – № 9. – S. 72-73.

22. Effektivnost' minimalizacii obrabotki seroj opodzolennoj pochvy / Doroshenko E.D., Gricaj A.D., Gavrilenko V.G., Kolomiec N.V. // Zemledelie. – 1982. – № 8. – S. 20-23.

23. Lezhnev G., Noskov P. Orudiya dlya zakrytiya vlagi. Kakie luchshe? // Zemledelie. – 2002. – № 2. – S. 20-22.

24. Belevich P.K., Pileckij A.Z. Bezotval'naya protivoerozionnaya pahota (na sklonah) v uvlazhnennoj zone. // Mekhanizaciya i elektrifikaciya social. sel'sk.h-va. – 1993. – № 1. – S. 17-18.

25. Tereshchenko I.O., Zykov V.A. Effektivnost' igol'chatoj borony-motygi. // Mekhanizaciya i elektrifikaciya social.sel'sk. hoz-va. – 1975. – № 2. – S. 9-11.

26. Ziyazetdinov R.F. Issledovanie processov raboty agregatov s igol'chatymi diskami na obrabotke sel'hozkul'tur: dis …kand. tekhn. Nauk. – CHelyabinsk, 1985.

27. Klenin N.I., Popov N.F., Sakun V.A. Sel'skohozyajstvennye mashiny. – M., 1970. – 456 s.

28. Perspektivnoe napravleniya razvitiya pochvoobrabatyvayushchih mashin / ZHeligovskij V.A., Sizov O.A., Grishin M.D., Sakun V.A. // Mekhanizaciya i elektrifikaciya soc,sel'sk,hoz-va. – 1974. – № 11. – S. 6-9.

29. YArullin F.F., Valiev A.R. Klassifikaciya rotacionnyh rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin // Agrarnaya nauka XXI veka. Aktual'nye issledovaniya i perspektivy: tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / In-t mekhanizacii i tekhnich. servisa. – Kazan': izd-vo Kazan. GAU, 2015. – S. 131-137.

30. Sednev N.A. Analiz raboty rotacionnyh rabochih organov pri dvizhenii s zatormazhivaniem. // Traktory i sel'hozmashiny. – 1978. – № 10. – S. 18-19.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: aashwarz.@mail.ru.

Башкирев Анатолий Петрович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: tmv46@mail.ru.

Таныгин Олег Федорович – кандидат технических наук, децент Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: oftanygin@yandex.ru.

Лукин Сергей Геннадьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: gch.2013@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Shvartz Anatoly – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Bashkirev Anatoly Petrovich – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: tmv46@mail.ru.

Tanygin Oleg Fedorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: oftanygin@yandex.ru.

Lukin Sergey Gennadievich – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: gch.2013@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 20.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 28.05.2021

УДК 635.21:631.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-40-47

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ МЕЖДУРЯДЬЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО КАРТОФЕЛЯ

[1]Старовойтов Виктор Иванович
[1]Коршунов Александр Васильевич
[1]Старовойтова Оксана Анатольевна
[2]Балабанов Виктор Иванович
[2]Манохина Александра Анатольевна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха»
[2]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. *Для картофеля продовольственного назначения одним из важных факторов качества клубней является низкое содержание соланина, определяемое визуально по наличию позеленения. Целью исследований являлось улучшение физико-механических параметров среды обитания растений картофеля, увеличение урожайности и уменьшение количества озелененных клубней с повышенным содержанием соланина в процессе роста с помощью увеличения ширины междурядий. Выявляли зависимость влажности, плотности, твёрдости, температуры почвы от ширины междурядий. Исследования проводили в Московской области на дерново-подзолистых супесчаной и среднесуглинистой почвах с 6 сортами картофеля с разным сроком созревания. Закладку полевых опытов, учеты и наблюдения проводили в соответствии с требованиями методики полевого опыта и Методики исследований по культуре картофеля. Основным технологическим приемом для снижения озеленения клубней (повышения содержания соланина в клубнях) было избрано выращивание картофеля на продовольственные цели в широких гребнях или грядах в шахматном порядке (110+30) и (120+30) см. При таком размещении обеспечивается не только более равномерное поддержание оптимальной влажности, плотности, твердости и температуры почвы, но и удерживается слой почвы вокруг клубневого гнезда для обеспечения снижения количества позеленевших клубней на 4,4…6,5%. В результате выращивание картофеля в грядах позволило повысить товарную урожайность на 1,2…5,5 т/га (9…19%).*

Ключевые слова: *картофель, параметры почвы, ширина междурядий.*

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF INTER-ROW WIDTH ON YIELD IN CULTIVATION OF FOOD POTATO

[1]Starovoitov Viktor
[1]Korshunov Aleksandr
[1]Starovoitova Oksana
[2]Balabanov Viktor
[2]Manokhina Aleksandra
[1]FSBSI "Lorch Potato Research Institute"
[2]FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Abstract. *One of the important factors in the quality of tubers for potatoes for food purposes is the low content of solanine, visually determined by the presence of greening. The aim of the research was to improve the physical and mechanical parameters of the habitat of potato plants, increase productivity and reduce the number of greened tubers with an increased content of solanine during growth by increasing the row spacing. The dependence of moisture, density, hardness, soil temperature on the row spacing was revealed. The studies were carried out in the Moscow region on soddy-podzolic sandy loam and medium loamy soils with 6 varieties of potatoes with different ripening periods. The laying of field experiments, counts and observations were carried out in accordance with the requirements of the field experiment methodology and the Methodology for research on potato culture. The main technological method for reducing the greening of tubers (increasing the content of solanine in the tubers) was the*

cultivation of potatoes for food purposes in wide ridges or ridges in a checkerboard pattern (110 + 30) and (120 + 30) cm. Not only a more uniform maintenance of the optimum moisture, density, hardness and temperature of the soil is ensured with this arrangement, but also the soil layer is retained around the tuber nest to ensure a decrease in the number of green tubers by 4.4 ... 6.5%. As a result, the cultivation of potatoes in the ridges made it possible to increase the marketable yield by 1.2 ... 5.5 t / ha (9 ... 19%).

Keywords: *potatoes, soil parameters, row spacing width.*

Введение. Картофель – одна из основных пищевых культур в жизни населения планеты. Валовой сбор (2018 г. -374 млн. тонн) и средняя урожайность (2018 г. - 17,2 т/га) картофеля в мире растут [1]. Крупнейшими производителями картофеля являются Россия, Китай и Индия [2, 3]. Для продовольственного картофеля неприемлемо снижение товарности клубней из-за позеленения [4, 5]. Но в последние годы происходят изменения климатических условий: длительные засухи и ливневые дожди, что приводит к размыванию гребней и, как следствие, накоплению соланина в клубнях и недобору урожая продовольственного картофеля [6, 7]. Для решения подобных возникающих проблем необходимо изучить возможности сохранения формы гребня и влагосбережения путем увеличения ширины междурядий [8, 9]; изменения срока посадки [10]; мульчирования [11]; использования инноваций в виде влагоудерживающих суперабсорбентов [12, 13]; оптимизации питания [14, 15, 16, 17]. Вопросам же, связанным с проблемами позеленения клубней в поле, уделяется недостаточное внимание. Исследования по разработке новых и совершенствованию существующих технологий выращивания картофеля актуальны и имеют большое народнохозяйственное значение [18].

Цель исследований – улучшить физико-механические параметры среды обитания растений картофеля, увеличить урожайность клубней и уменьшить количество озелененных клубней с повышенным содержанием соланина в процессе роста с помощью технологического приема – удвоения ширины междурядий.

Задачи исследований:

1. Выявить зависимость агрофизических параметров почвы, таких как: влажность, плотность, твёрдость, температура от ширины междурядий, как технологического приёма при возделывании картофеля.

2. Доказать эффективность сдвоенной ширины междурядий на продуктивность картофеля в связи с изменениями метеорологических условий.

Объект исследований: картофель, физико-механические параметры почвы, технологический приём.

Материал исследований: клубни картофеля сортов с разным сроком созревания: Жуковский ранний (ранний), Удача (ранний), Крепыш (ранний), Любава (среднеранний), Ильинский (среднеранний), Колобок (среднеспелый).

Полевые работы выполнены в двух хозяйствах. Первый опыт проведён на опытном поле в Коренёво Люберецкого района Московской области при ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» в 2015-2017 годах. Ширина междурядий составила 75 и (120+30) см. В опыте использовали клубни средней семенной фракции (46…53 мм) сортов: Жуковский ранний (ранний), Удача (ранний), Крепыш (ранний), Любава (среднеранний), Ильинский (среднеранний), Колобок (среднеспелый). Густота посадки - 45,0 тыс. клубней/га; повторность – четырёхкратная; площадь делянки составила 21 м^2. Почва – дерново-подзолистая среднеокультуренная супесчаная (содержание гумуса по методу Тюрина – 1,99%; подвижный фосфор по методу Кирсанова – 380-473 мг/кг; обменный калий по методу Кирсанова – 125-193 мг/кг; pH $_{KCl}$ по Алямовскому – 5,04). Второй опыт выполняли в условиях хозяйства СПК «Элитный картофель» Бронницкого района Московской области в 2002-2004 годах. Ширина междурядий: 70 и (110+30) см. В опыте использовали сорта: Жуковский ранний (ранний), Удача (ранний); клубни размером 46-53 мм высаживали вручную в нарезанные гребни; площадь учетной делянки – 50,4 м^2; опыт закладывали в трехкратной повторности на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (гумус – 2,49%; подвижный фосфор – 372-551 мг/кг; обменный калий – 122-259 мг/кг; pH (KCl) – 5,63). Многофакторные опыты закладывали методом систематического размещения делянок. В обоих опытах выполнены химические обработки для борьбы с сорной растительностью, против колорадского жука, против фитофтороза и альтернариоза.

Метеорологические условия за 6 исследуемых лет были разными: засушливый (2002) год с ГТК за период вегетации 0,7…1,2 при климатической норме 1,3…1,6; благоприятные метеоусловия с оптимальным влагообеспечением (2003, 2004), ГТК – 1,3…1,7 и годы с повышенным выпадением осадков (2015- 2017), ГТК – 1,7…2,5.

Закладка полевого опыта, учеты, наблюдения и обработка данных проведены в соответствии с требованиями методики полевого опыта [19, 20] и методики исследований по культуре картофеля (1967). Расчеты экономической и биоэнергетической эффективности – по методике ВНИИПИ (1983) и ВНИИКХ (2000).

Результаты и их обсуждение. В современных условиях изменяющегося климата необходимо совершенствовать технологии возделывания картофеля с учётом направления на формирование механической устойчивости почвенной среды к внешним и внутренним воздействиям.

Полученные данные результатов изменения особенно важных для растений параметров почвы, показали, что в большей степени они обуславливаются количеством и распределением осадков, а также изменяются под воздействием ширины междурядий.

Таблица 1. Влияние ширины междурядий на показатели влажности, плотности и температуры почвы на глубине 10-20 см (в зоне клубневого гнезда), значения средние за период вегетации

Год	Ширина Между-рядий, см	Влажность (в % от ППВ)	Плот-ность (г/см^3)	Темпе-ратура, °С	Год	Ширина Между-рядий, см	Влажность (в % от ППВ)	Плот-ность (г/см^3)	Темпе-ратура, °С
среднесуглинистая почва					супесчаная почва				
2002	70, контр.	47,4	0,95	21,7	2015	75, контр.	43,2	1,24	21,2
	110+30	53,5	0,94	21,2		120+30	45,6	1,25	20,9
2003	70, контр.	67,2	0,90	20,0	2016	75, контр.	52,0	1,34	21,9
	110+30	69,2	0,92	19,4		120+30	58,1	1,33	20,8
2004	70, контр.	58,8	0,95	17,8	2017	75, контр.	70,6	1,24	16,8
	110+30	66,7	0,92	16,8		120+30	76,4	1,20	16,4
сред-нее	70, контр.	57,8	0,93	19,8	сред-нее	75, контр.	55,3	1,27	20,0
	110+30	63,1	0,93	19,1		120+30	60,0	1,26	19,4

При проведении исследований по влиянию увеличения ширины междурядий на агрофизические показатели почвы (таблица 1) установлено, что при возделывании картофеля с шириной междурядий (110+30) на суглинках и (120+30) см на супесях улучшились значения влажности почвы в среднем с 61…67 до 63…70% от полной полевой влагоёмкости (ППВ) при оптимальных величинах для картофеля 70…85% от ППВ (ППВ суглинков – 22,5%, супесей – 13,3%). В среднем за годы исследований влажность почвы в зоне расположения корневой системы на глубине 10-20 см при ширине междурядий (110(120)+30) см оказалась выше на 4,8…5,4% от ППВ. При этом объем почвы в грядах способен удержать большее количество влаги, в том числе и в засушливые периоды, а в период затяжных ливневых дождей понижается количество клубней с признаками удушья.

Значительной зависимости от ширины междурядий плотности почвы по центру гребня не отмечено. В зоне клубневого гнезда плотность в среднем оказалась 0,90…0,95 г/см^3 на суглинках при норме 1,1…1,2 г/см^3, и 1,20…1,34 г/см^3 на супесях при норме 1,4…1,5 г/см^3, то есть, во все годы исследований плотность почвы поддерживалась на оптимальном уровне.

Оптимальная температура почвы для клубнеобразования картофеля – 14-18°С. Изменения температуры почвы в зоне расположения клубневого гнезда в зависимости от применяемого технологического приема имело особую важность, так как в периоды вегетации выполнения опытов отмечены длительные периоды с температурой воздуха более 25°С. В нашем опыте температура почвы в среднем при грядовой технологии отмечена на 0,6…0,7 °С ниже, чем при гребневой технологии возделывания.

В грядах (110(120) +30) см создается более благоприятная среда для роста и развития растений, что подтверждено более сильным разложением льняной ткани в грядах на 8,7%, а, следовательно, и

повышением активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов в почве. Твёрдость почвы перед уборкой картофеля по центру гребня в пласте 2,5 – 20 см колебалась в пределах от 20 до 750 кПа (рисунок 1), при этом в вариантах с грядами (110(120) +30) см с фрезерованием при уходе за посадками значения твердости почвы были ниже, чем в гребнях (70/75 см).

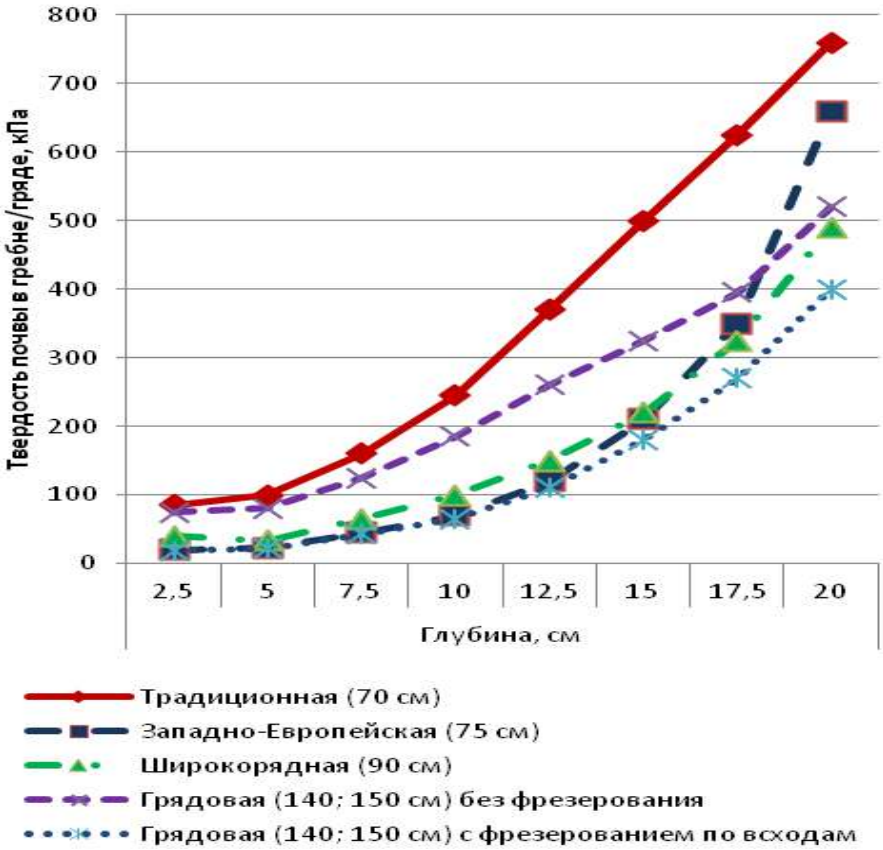


Рисунок 1 – Твердость почвы (кПА) по центру гребня/гряды перед уборкой картофеля в зависимости от глубины

Полученные данные свидетельствуют о том, увеличением ширины междурядий можно влиять на температуру и влажность почвы.

Установлено, что в грядах урожайность картофеля (таблица 2) в среднем по сортам возросла 0,3...1,2 т/га (2…6%) на суглинках и на 1,4…3,8 т/га (4…12%) на супесях. В 2015-2017 гг. $НСР_{05}$ составила: по сорту Жуковский ранний 0,10, 0,95, 1,30 т/га, соответственно; по вариантам сорта Удача – 0,10, 0,25, 1,75 т/га; по вариантам сорта Крепыш – 1,25, 0,95, 0,60 т/га; по вариантам сорта Любава составила 1,25, 1,45, 0,95 т/га; по вариантам сорта Ильинский – 1,15, 0,35, 4,25 т/га; по вариантам сорта Колобок – 1,45 (2015 г.), 0,70 (2016 г.), 2,30 (2017 г.) т/га.

Клубни картофеля, выращиваемого по технологии с шириной междурядий 70(75) см, часто оказываются недостаточно прикрытыми почвой, вследствие воздействия сильных дождей, ветров, и оказываются на свету от солнечных лучей. Это может повысить содержание соланина в клубнях и озеленению их. Клубни с повышенным содержанием соланина опасны для использования к применению в пищу как людям, так и животным. При расчёте урожайности клубней продовольственной товарной фракции, с вычетом озеленённых в поле (таблица 2), оказалось, что выращивая в гребнях количество позеленевших клубней составляет 4,4…6,5%, а в грядах – 0,1…0,4%. В итоге, товарная урожайность картофеля при выращивании в грядах (110(120)+30) см оказалась выше, чем в гребнях 70(75) см на 1,2…5,5 т/га (9…19%).

Таблица 2 – Товарная урожайность с учётом позеленевших клубней (т/га) в зависимости от ширины междурядий и сорта картофеля

Сорт	Ширина междурядий, см	Годы исследований	Урожайность клубней размером более 30 мм в поперечном сечении, т/га	Позеленевшие клубней с повышенным содержанием соланина,		Товарная урожайность после вычета позеленевших клубней, т/га	±к контролю	
				%	т/га		т/га	%
Жуковский ранний	70	2002-2004	15,1	5,8	0,88	14,22	0	0
	(110+30)		15,5	0,3	0,05	15,45	1,23	9
	75	2015-2017	34,9	5,3	1,87	33,05	0	0
	(120+30)		36,6	0,2	0,07	36,53	3,48	11
Удача	70	2002-2004	18,4	5,1	0,94	17,46	0	0
	(110+30)		19,3	0,2	0,04	19,26	1,80	10
	75	2015-2017	37,8	7,1	2,73	35,12	0	0
	(120+30)		39,2	0,1	0,04	39,16	4,04	12
Крепыш	75	2015-2017	34,8	6,5	2,33	32,54	0	0
	(120+30)		36,7	0,2	0,07	36,63	4,09	13
Любава	75	2015-2017	30,8	4,5	1,42	29,41	0	0
	(120+30)		32,7	0,1	0,03	32,67	3,25	11
Ильинский	75	2015-2017	30,0	4,4	1,36	28,68	0	0
	(120+30)		34,2	0,1	0,03	34,17	5,49	19
Колобок	75	2015-2017	35,1	5,8	2,04	33,06	0	0
	(120+30)		38,0	0,2	0,08	37,92	4,86	15

При увеличении ширины междурядий до гряд в среднем по всем сортам, увеличились затраты труда и средств, в тоже время снизилась себестоимость на 11%, условный чистый доход составил 29,8 тыс. руб./га и вырос коэффициент энергетической эффективности на 0,12.

Выводы. 1. Для обеспечения стабильного развития отрасли картофелеводства, включая экспортный потенциал и переработку, необходимо увеличить производство качественного картофеля, усовершенствовав технологию возделывания под изменяющиеся климатические условия. Гряды (сдвоенные гребни) более перспективны при возделывании картофеля. Установлено, что: в среднем температура почвы в грядах оказалась на 0,4…1,1°С ниже, чем в обычных гребнях; в грядах усреднённая влажность оказалась выше на 5,4% (от ППВ) на суглинках; и на 4,8% (от ППВ) на супесях.

2. Увеличение ширины междурядий при выращивании картофеля оказалось эффективными. При расчёте урожайности клубней товарной продовольственной фракции, с вычетом озеленённых в поле, получено, что товарная урожайность картофеля при выращивании в грядах (110(120)+30) см оказалась выше, чем в гребнях 70(75) см на 1,2…5,5 т/га (9…19%).

3. Применение широких междурядий (гряд) обеспечило получение условного чистого дохода – 29,8 тыс. руб./га; коэффициент энергетической эффективности повысился на 0,12.

Список литературы

1. FAOSTAT. [Electronic resource] – Режим доступа: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (Дата обращения 20.03.2019).

2. Гордиенко Н.Н., Жевора С.В., Тульчеев В.В. Новая модель АПК РФ и решение глобальной проблемы продовольствия // Россия: Тенденции и перспективы развития: Ежегодник. / Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук; Ответственный редактор В.И. Герасимов. – 2018. – С. 60-62.

3. Chawla A.K., Singh K.G. Performance of drip irrigated potato (Book Chapter) // Best Management Practices for Drip Irrigated Crops. – 2015. – № 6. – p. 299-332.

4. Колчин Н.Н., Пономарев А.Г., Петухов С.Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях // Картофель и овощи. – 2019. – № 3. – С. 14-16.

5. Mapping of potato yield and quality / Schneider S.M., Boydston R.A., Han S., Evans R.G. // Precision agriculture. – 1997. – Vol. I. – PP 253-261.

6. Усанова З.И., Черникова Н.С., Павлов М.Н. Продуктивность сортов картофеля в ЦРНЗ РФ // Цифровизация в АПК: технологические ресурсы, новые возможности и вызовы времени: сб. науч. тр.: матер. Международ. науч.-практ. конф. – Тверь, 2020. – С. 64-67.

7. Maho A., Skënderasi B., Cara M. Changes in potato cultivation technology in Korça region as adaptation to climate change // Italian Journal of Agronomy. – 2019. – № 14(2). – p. 84-92.

8. Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A. The study of physical and mechanical parameters of the soil in the cultivation of tubers // Journal of Physics: Conference Series International Conference on Applied Physics, Power and Material Science. – 2019. – P. 012083.

9. Effects of widening row spacing and shortening plant spacing on the photosynthetic characteristics, yield and quality of potato / Yang X., Yang H., Wang J. and others // ActaHorticulturaeSinica. – 2018. – № 45(8). – P. 1563-1574.

10. Manorama K., Govindakrishnan P.M., Ravichandran G.A Simple DSS for potato crop scheduling in Nilgiri hills of Western Ghats // Indian Journal of Horticulture. – 2016. – № 73(1). – P. 78-81.

11. Soil nutrient availability and microbial properties of a potato field under ridge-furrow and plastic mulch / Qin S.-H., Cao L., Zhang J.-L. and others // Arid Land Research and Management. – 2016. – № 30(2). – P. 181-192.

12. Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. Возделывание картофеля с использованием водных абсорбентов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 2 (72). – С. 28-34.

13. Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region / Hou X., Li R., He W. and others // Journal of Soils and Sediments. – 2018. – № 18(3). – P. 816-826.

14. Коршунов А.В. Управление величиной и качеством урожая картофеля при интенсивной технологии возделывания: автореф. дис. … доктора с.-х. наук / Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева. – Москва, 1989. – 48 с.

15. Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Новиков М.А. Об удобрениях, модифицированных микро- и мезоэлементами // Плодородие. – 2004. – № 4. – С. 4.

16. Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В. Реакция сортов картофеля на возрастающие дозы удобрений // Селекция, семеноводство и технология плодово-ягодных, овощных культур и картофеля: сб. науч. тр. / Состав. Т.В. Лебедева, О.В. Гордеев, А.А. Васильев. – Челябинск, 2017. – С. 375-386.

17. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment / Chen J., Lü S., Zhang Z. and others // Science of the Total Environment. – 2018. – № 613-614. – P. 829-839.

18. Балабанов В.И. Полевая стратегия. Внедрение инноваций в координатном земледелии. Агротехника и технологии. – 2016. – №5. – С. 50-53.

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

20. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля / Старовойтова О.А., Жевора С.В., Старовойтов В.И., Овэс Е.В., Коршунов А.В., Манохина А.А., Балабанов В.И. – М., Росинформагротех, 2018. – 233 с.

References

1. FAOSTAT. [Electronic resource] – Rezhim dostupa: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (Data obrashcheniya 20.03.2019).

2. Gordienko N.N., ZHevora S.V., Tul'cheev V.V. Novaya model' APK RF i reshenie global'noj problemy prodovol'stviya // Rossiya: Tendencii i perspektivy razvitiya: Ezhegodnik. / Institut nauchnoj informacii po obshchestvennym naukam Rossijskoj akademii nauk; Otvetstvennyj redaktor V.I. Gerasimov. – 2018. – S. 60-62.

3. Chawla A.K., Singh K.G. Performance of drip irrigated potato (Book Chapter) // Best Management Practices for Drip Irrigated Crops. – 2015. – № 6. – p. 299-332.

4. Kolchin N.N., Ponomarev A.G., Petuhov S.N. Kak snizit' povrezhdenie klubnej v mashinnyh tekhnologiyah // Kartofel' i ovoshchi. – 2019. – № 3. – S. 14-16.

5. Mapping of potato yield and quality / Schneider S.M., Boydston R.A., Han S., Evans R.G. // Precision agriculture. – 1997. – Vol. I. – PP 253-261.

6. Usanova Z.I., CHernikova N.S., Pavlov M.N. Produktivnost' sortov kartofelya v CRNZ RF // Cifrovizaciya v APK: tekhnologicheskie resursy, novye vozmozhnosti i vyzovy vremeni: sb. nauch. tr.: mater. Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. – Tver', 2020. – S. 64-67.

7. Maho A., Skënderasi B., Cara M. Changes in potato cultivation technology in Korça region as adaptation to climate change // Italian Journal of Agronomy. – 2019. – № 14(2). – p. 84-92.

8. Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A. The study of physical and mechanical parameters of the soil in the cultivation of tubers // Journal of Physics: Conference Series International Conference on Applied Physics, Power and Material Science. – 2019. – P. 012083.

9. Effects of widening row spacing and shortening plant spacing on the photosynthetic characteristics, yield and quality of potato / Yang X., Yang H., Wang J. and others // ActaHorticulturaeSinica. – 2018. – № 45(8). – P. 1563-1574.

10. Manorama K., Govindakrishnan P.M., Ravichandran G.A Simple DSS for potato crop scheduling in Nilgiri hills of Western Ghats // Indian Journal of Horticulture. – 2016. – № 73(1). – R. 78-81.

11 Soil nutrient availability and microbial properties of a potato field under ridge-furrow and plastic mulch / Qin S.-H., Cao L., Zhang J.-L. and others // Arid Land Research and Management. – 2016. – № 30(2). – P. 181-192.

12. Starovojtova O.A., Starovojtov V.I., Manohina A.A. Vozdelyvanie kartofelya s ispol'zovaniem vodnyh absorbentov // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2016. – № 2 (72). – S. 28-34.

13. Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region / Hou X., Li R., He W. and others // Journal of Soils and Sediments. – 2018. – № 18(3). – P. 816-826.

14. Korshunov A.V. Upravlenie velichinoj i kachestvom urozhaya kartofelya pri intensivnoj tekhnologii vozdelyvaniya: avtoref. dis. … doktora s.-h. nauk / Moskovskaya ordena Lenina i ordena Trudovogo Krasnogo Znameni sel'skohozyajstvennaya akademiya imeni K. A. Timiryazeva. – Moskva, 1989. – 48 s.

15. Fedotova L.S., Timoshina N.A., Novikov M.A. Ob udobreniyah, modificirovannyh mikro-i mezoelementami // Plodorodie. – 2004. – № 4. – S. 4.

16. Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V. Reakciya sortov kartofelya na vozrastayushchie dozy udobrenij // Selekciya, semenovodstvo i tekhnologiya plodovo-yagodnyh, ovoshchnyh kul'tur i kartofelya: sb. nauch. tr. / Sostav. T.V. Lebedeva, O.V. Gordeev, A.A. Vasil'ev. – CHelyabinsk, 2017. – S. 375-386.

17. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment / Chen J., Lü S., Zhang Z. and others // Science of the Total Environment. – 2018. – № 613-614. – P. 829-839.

18. Balabanov V.I. Polevaya strategiya. Vnedrenie innovacij v koordinatnom zemledelii. Agrotekhnika i tekhnologii. – 2016. – №5. – S. 50-53.

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

20. Konkurentosposobnye tekhnologii semenovodstva, proizvodstva i hraneniya kartofelya / Starovojtova O.A., ZHevora S.V., Starovojtov V.I., Oves E.V., Korshunov A.V., Manohina A.A., Balabanov V.I. – M., Rosinformagrotekh, 2018. – 233 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Старовойтов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково, e-mail: agronir2@mail.ru.

Коршунов Александр Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково, e-mail: agronir1@mail.ru.

Старовойтова Оксана Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково, e-mail: agronir2@mail.ru.

Балабанов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Манохина Александра Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: alexman80@list.ru.

Author credentials

Affiliations

Starovoitov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir2@mail.ru.

Korshunov Aleksandr – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir1@mail.ru.

Starovoitova Oksana – Full Doctor of Agricultural Sciences, Leading researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir2@mail.ru.

Balabanov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Manokhina Alexandra – Full Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: alexman80@list.ru.

Поступила в редакцию (Received): 08.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 28.05.2021

УДК 636.085
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-47-56

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ШНЕКЕ

[1]Брусенков Алексей Владимирович
[1]Капустин Василий Петрович
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Известно, что эффективная работа шнекового транспортёра корнеклубнемойки состоит из трёх неразрывно связанных и согласованных между собой основных процессов: загрузки, транспортирования и выгрузки. Процесс загрузки определяет количественные и качественные показатели транспортёра, в котором происходят весьма сложные взаимодействия винтовой поверхности транспортирующего органа и корнеплодов. Процесс транспортирования заключается в непрерывном воздействии винтовой поверхности на перемещаемые корнеплоды, основным параметром которого является скорость осевого перемещения, а процесс выгрузки влияет на перемещение корнеплодов внутри кожуха транспортера. На основании анализа результатов проведённых различными авторами многочисленных теоретических и экспериментальных исследований по вопросу транспортирования кормов было установлено, что правильно рассчитать параметры и режимы выгрузных шнеков по существующим формулам не удаётся (ошибка составляет 20…60%) и необходимые значения подбирают опытным путем. Это объясняется ещё и тем, что при расчёте конструктивно-режимных параметров (производительности, мощности и других),*

вместо скоростей транспортируемого корма определяют скорости самого шнека. Кроме того, проектирование шнеков осуществляется с применением эмпирических рекомендаций и допущений, недостаточно обоснованных теоретическими исследованиями. Нами были получены уравнения движения корнеплодов, а также проведено теоретическое исследование скорости подъёма корнеплодов в вертикальном шнеке с учётом различных факторов, влияющих на процесс транспортирования. Полученные рекомендации позволят обоснованно подойти к выбору и расчёту оптимальных конструктивно-режимных параметров вертикального шнека (диаметра, шага, скорости подъёма корнеплодов, выяснения действительного характера их движения) с целью обеспечения его максимальной производительности.

Ключевые слова: *корнеплоды, вертикальный шнек, процесс транспортирования, винтовая поверхность, корнеклубнемойка, производительность.*

PHYSICAL MODEL OF THE MOVEMENT OF ROOT CROPS IN A VERTICAL AUGER

[1]Brusenkov Alexey
[1]Kapustin Vasilii
[2]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract*: It is known that the effective operation of the screw conveyor of the root-dredger consists of three inextricably linked and coordinated main processes: loading, transportation and unloading. The loading process determines the quantitative and qualitative parameters of the conveyor, in which there are very complex interactions of the helical surface of the transporting body and root crops. The transportation process consists in the continuous action of the helical surface on the transported root crops, the main parameter of which is the speed of axial movement, and the unloading process affects the movement of root crops inside the conveyor casing. Based on the analysis of the results of numerous theoretical and experimental studies conducted by various authors on the issue of feed transportation, it was found that it is not possible to correctly calculate the parameters and modes of unloading augers according to existing formulas (the error is 20...60%) and the necessary values are selected experimentally. This is also explained by the fact that when calculating the design and operating parameters (productivity, power, and others), instead of the speeds of the transported feed, the speeds of the auger itself are determined. In addition, the design of augers is carried out using empirical recommendations and assumptions that are not sufficiently justified by theoretical studies. We have obtained the equations of motion of root crops, as well as conducted a theoretical study of the rate of lifting of root crops in a vertical screw, taking into account various factors affecting the transportation process. The recommendations obtained will allow a reasonable approach to the selection and calculation of the optimal design and operating parameters of the vertical screw (diameter, pitch, lifting speed of root crops, finding out the actual nature of their movement) in order to ensure its maximum performance.*

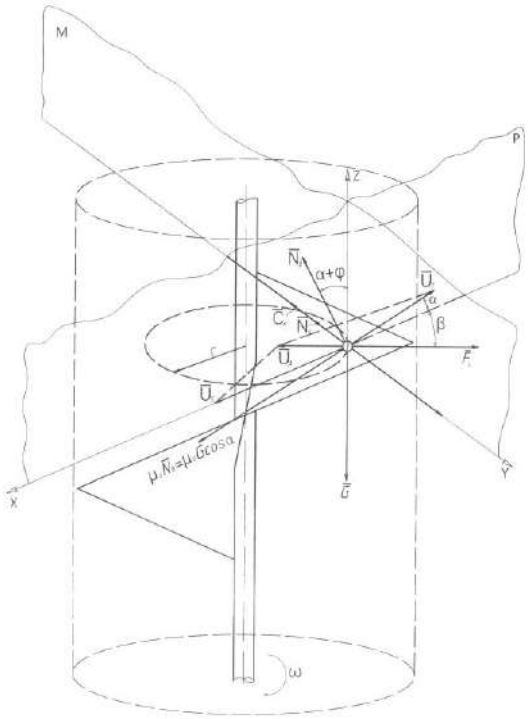
Keywords: *root crops, vertical auger, transportation process, screw surface, root tuberization, productivity.*

Введение. В отечественном и зарубежном сельскохозяйственном производстве всё большее распространение получают шнековые (винтовые) транспортёры, которые соответствуют современным зоотехническим требованиям. Их использование достаточно разнообразно – в сельскохозяйственных машинах, при механизации кормоприготовления, при транспортировании навоза, зернофуражных продуктов, корнеклубнеплодов и других грузов [1, 2, 3].

Для приготовления корнеклубнеплодов используют корнеклубнемойки, корнерезки, измельчители, смесители-запарники и кормоприготовительные агрегаты [4, 5]. Отделение загрязнений от потока кормового продукта в них выполняют специальные устройства различного конструктивного исполнения. Наиболее успешно этот процесс протекает в воде, где тяжелые примеси, имеющие удельную массу значительную большую, чем у корнеплодов, полностью оседают на дно ванны, а продукт выводится из устройства. Эффективность работы шнекового транспортёра прежде всего зависит от степени загрязнения корнеплодов, которая может достигать 30 % в зависимости от почвенно-климатических условий [6, 7].

Результаты и их обсуждение. Для влажной очистки корнеплодов на животноводческих фермах применяются корнеклубнемойки со шнековым транспортирующим органом (ИКМ-5, ИКМ-5М, ИКМ-Ф-10), в которых поток корнеклубнеплодов перемещается вертикально снизу вверх независимо от его физико-механических свойств и расположения внутри кожуха [8,9].

Так как процесс транспортирования представляет собой сложный для математического описания процесс, то считаемым необходимым исследовать движение одного корнеплода, а затем распространить полученные результаты на весь поток, учитывая все факторы – геометрические и кинематические параметры транспортирующего органа и физико-механические свойства корнеплодов.



$\overline{G}$ – вес корнеплода; $\dfrac{G\overline{V}_{\text{L}}^{2}}{gr}$ – центробежная сила; $\overline{G}_{\text{к}}$ – сила Кориолиса;

$\overline{N}_{\text{в}}$ – сила трения скольжения корнеплода по шнеку;

$\overline{F}_{\text{L}}$ – сила трения, преодолеваемая корнеплодом при подъеме

Рисунок 1 – Силы, действующие на корнеплод при его подъёме

Подъем корнеплода в вертикальном шнеке будет происходить в том случае, когда сила трения, вызванная действующей на него центробежной силой $\left(\dfrac{G\overline{V}_L^2}{gr}\right)$, оказывается настолько большой, что притормаживает корнеплод в совместном вращении со шнеком, то есть заставляет его проскальзывать по шнеку, преодолевая силу трения о винт $(\mu_{\text{S}} G\cos\alpha)$ и составляющую силы тяжести, направленную вдоль винтовой поверхности вниз (рисунок 1). Нагляднее это можно показать на развернутой плоскости шнека (рисунок 2).

Примем для упрощения дальнейших формул массу (m) корнеплода равной единице, то есть $m = \dfrac{G}{g} = 1,$ и следовательно, вес корнеплода $G = g.$

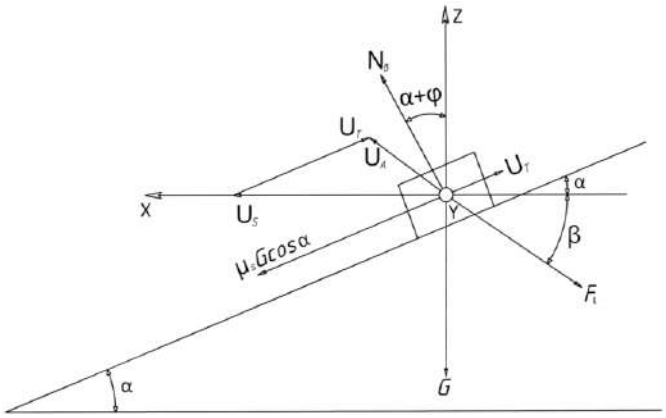
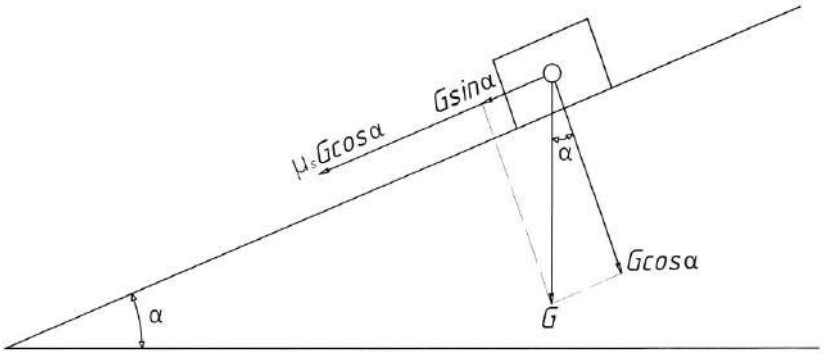


Рисунок 2 – Силы, действующие в плоскости (рисунок 1) на корнеплод при его подъёме

Тогда, если α – угол подъема винтовой линии на радиусе (r) точки соприкосновения корнеплода с винтовой поверхностью и μ_S – коэффициент трения скольжения между корнеплодом и винтом, то будем иметь на винтовой поверхности, согласно рисунку 3, две не зависящие от скорости шнека силы – $G\sin\alpha$ и $\mu_S G\cos\alpha$, из которых первая является составляющей силы тяжести, а вторая – силой трения, вызванной составляющей силы тяжести. Так как обе силы препятствуют движению корнеплода вверх, то они направлены в одну сторону.



G – вес корнеплода; $G\sin\alpha$ – составляющая силы веса; $\overline{G}_к$ – сила Кориолиса;
$\mu_S G\cos\alpha$ – сила трения, вызванная составляющей силы веса $(G\cos\alpha)$;
$\overline{F}_L$ – сила трения, преодолеваемая корнеплодом при подъеме

Рисунок 3 – Силы, действующие на корнеплод и не зависящие от скорости шнека

При совместном вращении корнеплода и шнека с наибольшей скоростью (U_o), при которой корнеплод ещё не проскальзывает по шнеку (так называемая «критическая скорость»), на него действует центробежная сила $\left(\frac{U_o^2}{r}\right)$. Она создает при угле внутреннего трения корма $\varphi_L = arctg\mu_L$, где μ_L – коэффициент внутреннего трения корнеплодов, силу трения $F_o = \frac{U_o^2}{r}\mu_L$, находящуюся в плоскости вращения. Принимая во внимание тот факт, что в работающих на производстве шнеках, часть корма обычно попадает в зазор между шнеком и кожухом, крошится,

налипает на стенку кожуха и корм при движении трется о как бы «налипший» слой того же корма, мы пользуемся в формуле для силы трения (F_o) коэффициентом внутреннего трения корма. Сила (F_o) дает приложенные к корнеплоду вдоль винтовой линии составляющие $\left(\frac{U_o^2}{r}\mu_L \cos\alpha\right)$ и $\left(\frac{U_o^2}{r}\mu_L \mu_S \sin\alpha\right)$ (рисунок 4).

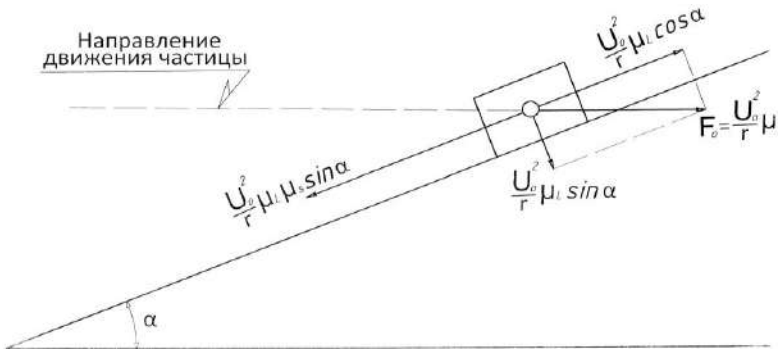


Рисунок 4 – Действие на корнеплод трения, вызванного центробежной силой при движении совместно с винтовой поверхностью

Из условия равновесия корма, то есть равенства нулю алгебраической суммы сил, действующих на корнеплод вдоль винтовой линии, согласно рисунков 3 и 4, имеем:

$$g(\sin\alpha + \mu_S \cos\alpha) = \frac{U_o^2}{r}\mu_L(\cos\alpha - \mu_S \sin\alpha) \quad (1)$$

Разделив это уравнение на $(\sin\alpha)$ и заменив в нём коэффициент трения скольжения корнеплода по шнеку (μ_S) углом трения (φ) по соотношению $\mu_S = tg\varphi$, получаем:

$$\frac{\mu_L}{rg}U_o^2 = \frac{tg\alpha + tg\varphi}{1-(tg\alpha - tg\varphi)} = tg(\alpha+\varphi), \quad (2)$$

откуда «критическая» скорость шнека, то есть та наибольшая скорость, при которой корнеплод ещё не проскальзывает по шнеку:

$$U_o = \sqrt{\frac{rg}{\mu_L}tg(\alpha+\varphi)}, [\text{м/сек}] \quad (3)$$

или

$$n_o = 30\sqrt{\frac{tg(\alpha+\varphi)}{r\mu_L}}, [\text{об/мин}] \quad (4)$$

где r – радиус точки соприкосновения корнеплода с винтовой поверхностью, м;

g – ускорение силы тяжести, $g = 9{,}81$ м/сек^2;

φ_L – угол внутреннего трения корма (угол естественного откоса корнеплода);

α – угол наклона винтовой поверхности на радиусе (r), то есть:

$$\alpha = arctg\frac{S}{2\pi r}, \quad (5)$$

где S – шаг винта, м;

φ – угол трения корнеплода о шнек, то есть $\varphi = arctg\mu_S$, где μ_S – коэффициент трения скольжения корнеплода о шнек.

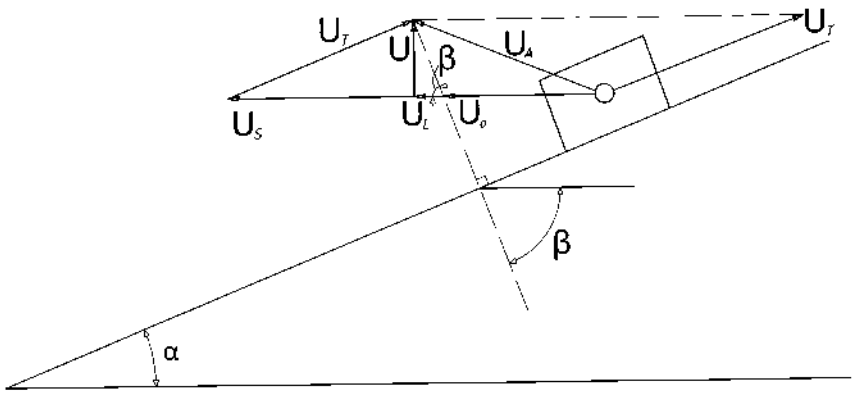
Формула (4) получена из формулы (3) по соотношению $U_o = \frac{\pi r n}{30}$ и приняв $\sqrt{g} = 3{,}1321 \approx \pi$.

Уравнение (3) представляет общеизвестное выражение «критической» скорости [10,11] с той лишь разницей, что в нашем выражении «критической» скорости μ_L – коэффициент внутреннего трения скольжения корма, тогда как у остальных авторов это коэффициент трения скольжения о кожух шнека.

Когда шнек вращается со скоростью $U_S \succ U_o$, то корнеплод проскальзывает по винтовой поверхности, и его абсолютная скорость (U_A) (рисунок 5) является геометрической суммой переносной скорости (U_S), то есть скорости вращения вместе со шнеком, и относительной скорости U_T, то есть скорости скольжения по шнеку.

Проекция абсолютной скорости корнеплода (U_A) на направление скорости (U_S) представляет собой скорость вращения корнеплода вокруг оси шнека (U_L).

Учитывая таким образом, кориолисово ускорение, будем иметь ввиду, что на корнеплод действует центробежная сила $\frac{U_L^2}{r}$, создающая силу трения $F_L = \frac{U_L^2}{r}\mu_L$.



U_A – абсолютная скорость корнеплода; U_S – переносная скорость корнеплода;
U_T – относительная скорость корнеплода; U – скорость подъема корнеплода;
U_L – скорость вращения корнеплода вокруг оси шнека; U_o – «критическая» скорость

Рисунок 5 – Соотношение между составляющими скоростей корнеплода и скорости шнека с учетом кориолисова ускорения

При движении корнеплода на участке $U_S - U_o$ вверх под углом (β) к горизонту сила (F_L) дает приложенные к корму вдоль винтовой линии составляющие (рисунок 6):

$$\frac{U_L^2}{r}\mu_L \cos(\alpha+\beta) \text{ и } \frac{U_L^2}{r}\mu_L \mu_S \sin(\alpha+\beta)$$

Из условия равновесия корма, то есть равенства нулю алгебраической суммы сил, действующих на корнеплод вдоль винтовой линии, согласно рисунков 3 и 6, имеем:

$$g(\sin\alpha + \mu_S \cos\alpha) = \frac{U_L^2}{r}\mu_L\left[\cos(\alpha+\beta) - \mu_S \sin(\alpha+\beta)\right]. \quad (6)$$

Совместное решение уравнений (1) и (6) позволит получить зависимость между скоростью корнеплода вокруг оси шнека (U_L) и «критической» скоростью (U_o):

$$U_L = U_o\sqrt{\frac{\cos\alpha - \mu_S \sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta) - \mu_S \sin(\alpha+\beta)}}. \quad (7)$$

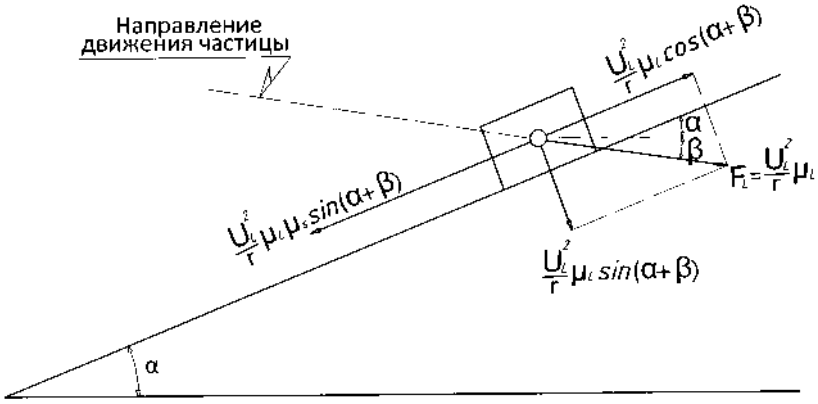


Рисунок 6 – Действие на корнеплод трения, вызванного центробежной силой при скольжении по винтовой поверхности

Сделав в знаменателе замены $\cos(\alpha+\beta)=\cos\alpha\cos\beta-\sin\alpha\sin\beta$, $\sin(\alpha+\beta)=\sin\alpha\cos\beta-\cos\alpha\sin\beta$ и вынеся члены с (β), получаем под корнем:

$$\frac{\cos\alpha-\mu_S\sin\alpha}{\cos\beta(\cos\beta-\mu_S\sin\alpha)-\sin\beta(\sin\alpha+\mu_S\cos\beta)}. \quad (8)$$

После деления числителя и знаменателя этой дроби на $(\cos\alpha)$ будем иметь:

$$\frac{1-\mu_S tg\alpha}{\cos\beta(1-\mu_S tg\alpha)-\sin\beta(tg\alpha+\mu_S)}. \quad (9)$$

Проведя снова деление числителя и знаменателя на $1-\mu_S tg\alpha$, заменив $\mu_S=tg\varphi$ и, преобразовав второй член в знаменателе по общеизвестной зависимости:

$$\frac{tg\alpha+tg\varphi}{1-tg\alpha\cdot tg\varphi}. \quad (10)$$

Получаем из выражения (7):

$$U_L=\frac{U_o}{\sqrt{\cos\beta-\sin\beta\cdot \mathrm{tg}(\alpha+\varphi)}}. \quad (11)$$

По рисунку 5 имеем:

$$U_L=U_S-U_T\cos\alpha. \quad (12)$$

и $U_T\sin\alpha=(U_L-U_o)\cdot tg\beta$, откуда:

$$U_T=(U_L-U_o)\frac{tg\beta}{tg\alpha}. \quad (13)$$

Подставляя выражение (13) в (12), получаем:

$$U_S=U_L+(U_L-U_o)\frac{tg\beta}{tg\alpha}. \quad (14)$$

Из рисунка 5 дополнительно имеем следующие выражения для скорости подъема корнеплода:

$$U=(U_L-U_o)\cdot tg\beta. \quad (15)$$

$$U=(U_S-U_L)\cdot tg\alpha. \quad (16)$$

Например, при заданных параметрах шнека корнеклубнемойки ИКМ-Ф-10 (наружный диаметр шнека – $D=600$ мм, шаг шнека – $S=380$ мм, диаметр вала шнека – $d=76$ мм, скорость шнека – $n=190$ об/мин.) и характеристики транспортируемого корма (корнеплоды), а также при определенных (α) и (φ), уравнение (11) дает возможность иметь представление о наибольшем угле подъема (β_{max}) траектории движения корнеплода. Поскольку линейные скорости и

ускорения корма не одинаковы по радиусу, то не одинаковы силы инерции и силы трения между корнеплодами, а следовательно и не одинаковы углы их подъема на каждом радиусе.

Действительно, величина угла (β) должна быть меньше той, при которой знаменатель дроби в уравнении (11), будет равен нулю, так как при этом скорости (U_o), (U_S) и (U) стали бы бесконечно большими, что лишено практического смысла.

Таким образом, для наибольшей возможной величины угла (β_{max}) подъема корнеплода имеем следующее выражение:

$$\beta_{max} \prec arctg \frac{1}{tg(\alpha+\varphi)}. \quad (17)$$

Когда производим расчёты задаваясь скоростью шнека (n), то возникает задача определения ширины его поверхности, на которой корм будет участвовать в вертикальном движении, то есть определения «критического» радиуса (r_o), для которого $n = n_o$. Приняв при шаге шнека (S)

$$tg(\alpha+\varphi) = \frac{tg\alpha + tg\varphi}{1 - tg\alpha \cdot tg\varphi} = \frac{\frac{S}{2\pi r} + \mu_S}{1 - \frac{S}{2\pi r}\mu_S} = \frac{S + 2\pi r \mu_S}{2\pi r - S\mu_S} \quad (18)$$

из формулы (4) получаем следующее уравнение для $r_o = f(n)$:

$$2\pi\mu_L n^2 r_o^2 \cdot \left(S\mu_L \mu_S n^2 + 900 \cdot 2\pi\mu_S\right) \cdot r_o - 900 \cdot S = 0 \quad (19)$$

При $\mu_L = \mu_S$, обозначая эти величины μ и приняв $S\mu^2 = A$, $2\pi\mu = B$, $4S = C$, получаем для критического радиуса (r_o), то есть для внутреннего радиуса кольцевой поверхности слоя корма, совершающего вертикальное движение, следующую зависимость от скорости шнека n, [об/мин]:

$$r_o = \frac{An^2 + 900 \cdot B + \sqrt{\left(An^2 + 900 \cdot B\right)^2 + 900 \cdot BCn^2}}{2Bn^2}. \quad (20)$$

Выражение со знаком минус перед квадратным корнем является негодным, так как тогда (r_o) получается отрицательной величиной, не имеющей смысла.

При $\mu_L \neq \mu_S$, значения этих коэффициентов подставляем в уравнение (19) и аналогично определяем (r_o).

Также можно отметить, что числовое значение (r_o), получаемое по формулам (19) и (18), может быть проверено вычислением по формуле (4) с использованием формулы (18).

В зависимости от соотношения между критическим радиусом (r_o) и диаметром вала шнека (d) имеем для внутреннего радиуса (r_1) слоя корнеплодов следующие ограничительные условия:

$$\text{при } r_o \prec 0{,}5d \quad r_1 \geq 0{,}5d \quad (21)$$

$$\text{при } r_o \succ 0{,}5d \quad r_1 \geq r_o \quad (22)$$

Условие (21) очевидно, а соблюдение условия (22) необходимо для того, чтобы весь находящийся на полностью заполненном витке шнека слой корнеплодов двигался вверх.

Выводы. Корнеплоды, заполняющие пространство между кожухом и винтовой навивкой, находятся в очень сложных условиях и исследование их движения представляет одну из труднейших задач. Предлагаемый нами теоретический анализ движения корнеплодов в вертикальном шнеке дает возможность рассмотреть условия движения корнеплодов, получить расчётные формулы и дать правильные рекомендации для определения его конструктивно-режимных параметров.

Список литературы

1. Брусенков А.В., Ведищев С.М. Анализ и классификация винтовых транспортеров, применяемых в животноводстве // Интеллектуальные технологии и техника в АПК: материалы Международной научно-практической конференции 18-20 октября 2016 года. – Мичуринск: ООО «Бис», 2016. – С.252-264.

2. Брусенков А.В., Мякотин В.О. Обзор и анализ технических средств для мойки корнеклубнеплодов на животноводческих фермах // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 28-29 мая 2020 года (ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»). – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.226-231.

3. Михайлов В.А., Голованов Г.А., Шевченко А.Н., Смоленский А.В. Результаты исследований рабочих органов для очистки и транспортирования корнеплодов // Механизация и электрификация производственных процессов в животноводстве: сборник научных трудов. – Зерноград, ВНИПТИМЭСХ, 1989. – С.108-115.

4. Брусенков А.В., Капустин В.П. Технологии и средства приготовления корнеклубнеплодов для скармливания крупному рогатому скоту: монография. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 140 с.

5. Брусенков А.В., Капустин В.П. Выбор перспективного направления измельчения корнеклубнеплодов // Альманах мировой науки. – Люберцы: Изд-во: ООО «АР-Консалт», 2016. – №3-1(6). – С.56-61.

6. Короткин В.М. Анализ принципов действия моечных машин для корнеклубнеплодов // Техника в сельском хозяйстве, 1997. – №3. – С.10-11

7. Кузнецов, П.Н. Совершенствование технологии и технических средств для очистки сахарной свёклы в условиях повышенной влажности и почвы: дис. канд. тех. наук: 05.20.01 // Кузнецов П.Н. – Мичуринск-наукоград, 2015. – 149 с.

8. Груздев, И.Э., Мирзоев Р.Г., Янков В.И.. Теория шнековых устройств. – Л.:Изд-во Ленинград. ун-та, 1978. – 144с.

9. Хучуа, Ф.А., Тверской М.З., Кривицкий Б.С. Об особенностях движения продукта в вертикально-шнековом дозаторе // Научно-технический бюллетень по механизации и электрификации животноводства: приготовление и раздача кормов. – Зерноград, 1978. –Вып.9 – С.48-55.

10. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры. – М.: «Машиностроение», 1972. – 184с.

11. Мещеряков, Б.В. Исследование работы и обоснование оптимальных параметров рабочих органов шнековых измельчителей сочных кормов: дис. канд. тех. наук: 05.20.01 // Мещеряков Б.В. – Омск, 1967. – 195с.

References

1. Brusenkov A.V., Vedishchev S. M. Analysis and classification of screw conveyors used in animal husbandry // Intellectual technologies and equipment in the agro-industrial complex: materials of the International Scientific and Practical Conference on October 18-20, 2016. – Michurinsk: LLC "Bis", 2016. – S.252-264.

2. Brusenkov A.V., Myakotin V. O. Obzor i analiz tehnicheskikh sredstvov dlya moyki korneklub-neplodov na animal-breeding farms // Sovremennaya nauka: teoriya, metodologiya, praktika: Materials of the 2nd All-Russian (national) scientific-practical conference, May 28-29, 2020 (Tambov State Technical University). – Tambov, Publishing house of IP Chesnokova A.V., 2020. – S.226-231.

3. Mikhailov V. A., Golovanov G. A., Shevchenko A. N., Smolensky A.V. Results of research of working bodies for cleaning and transporting root crops // Mechanization and electrification of production processes in animal husbandry: collection of scientific papers. – Zernograd, VNIPTIMESH, 1989. – S.108-115.

4. Brusenkov A.V., Kapustin V. P. Technologies and means of preparation of root tubers for feeding cattle: monograph. – Tambov: Publishing Center of FGBOU VO "TSTU", 2019. – 140s.

5. Brusenkov A.V., Kapustin V. P. The choice of a promising direction for grinding root-tubers / / Almanac of world science. – Lyubertsy: Publishing House: AR-Consult LLC", 2016. – №3-1(6). – S.56-61.

6. Korotkin V. M. Analysis of the principles of action of washing machines for root tubers / / Technics in agriculture, 1997. – №3. – S.10-11

7. Kuznetsov, P. N. Improving the technology and technical means for cleaning sugar beet in conditions of high humidity and soil: dis. kand. teh. nauk: 05.20.01 // Kuznetsov, P. N. – Michurinsk-naukograd, 2015. – 149s.

8. Gruzdev, I. E., Mirzoev, R. G., Yankov, V. I. Theory of screw devices. – L.: Leningrad Publishing House. Un-ta, 1978. – 144s.

9. Khuchua, F. A., Tverskoy, M. Z., Krivitsky, B. S. On the features of product movement in a vertical-screw dispenser // Scientific and technical bulletin on mechanization and electrification of animal husbandry: preparation and distribution of feed. – Zernograd, 1978. – Issue 9 – S.48-55.

10. Grigoriev, A.M. Screw conveyors. – M.: "Mechanical Engineering", 1972. – 184s.

11. Meshcheryakov, B. V. Study of the work and justification of the optimal parameters of the working bodies of screw grinders of juicy feed: dis. cand. tech. nauk: 05.20.01 // Meshcheryakov B. V. – Omsk, 1967 – 195s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Капустин Василий Петрович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: prof@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Brusenkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru.

Kapustin Vasilii – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: prof@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 16.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 11.05.2021

УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-56-62

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

[1]Анашкин Александр Витальевич
[1]Емельянович Сергей Владимирович
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Получение высококачественного зерна и семян при наличии в зерновом ворохе трудноотделимых сорных примесей невозможно без применения операции триерной очистки. Проведен анализ эффективности использования триерных блоков в составе зерноочистительных технологий. Отмечено несоответствие последовательных технологических процессов выделения длинных и коротких примесей по качественным показателям очистки, обуславливающее необходимость пополнения базы знаний о процессах разделения компонентов зерносмесей ячеистой поверхностью с помощью разработанного ФГБНУ ВНИИТиН стендового оборудования циклического действия. Выявлен общий недостаток всех исследовательских стендов с управляемым частотным преобразователем электроприводом вращения ячеистого цилиндра. Из-за нестабильности частоты вращения ячеистого цилиндра при разной загрузке, необходима ее тарировка для каждого исследуемого режима в зависимости от частоты тока, что существенно увеличивает трудоемкость выполнения экспериментальных исследований. Изготовлен и включен в конструкцию стенда для исследований ячеистых поверхностей электронный тахометр, обеспечивающий непрерывную индикацию на цифровом табло величины частоты вращения триерного цилиндра. Элементная база тахометра включает модуль датчика Холла OH-137, программируемый микроконтроллер Arduino Nano V3, 7-ми сегментный дисплей 4-bit LED Digital Module. Усовершенствованное стендовое оборудование для исследований процессов триерного разделения компонентов зерносмесей по длине частиц путем применения электронного тахометра позволяет существенно упростить проведение соответствующих*

экспериментальных исследований, снизить их трудоемкость и повысить достоверность получаемых результатов.

Ключевые слова: *триер, зерносмесь, очистка, стендовое оборудование, электронный тахометр, частота тока, частота вращения.*

IMPROVEMENT OF BENCH EQUIPMENT FOR THE STUDY OF TRIER GRAIN CLEANING PROCESSES

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

Abstract. *Obtaining high-quality grain and seeds in the presence of difficult-to-separate trash impurities in the grain heap is impossible without the use of a trier cleaning operation. The analysis of the efficiency of using grading blocks as part of grain cleaning technologies is carried out. The discrepancy between the sequential technological processes of separation of long and short impurities in terms of the quality indicators of purification was noted. The discrepancy between the sequential technological processes for the separation of long and short impurities in terms of the quality indicators of cleaning is noted, which necessitates replenishing the knowledge base on the processes of separating the components of grain mixtures with a cellular surface using the bench equipment of cyclic action developed by FGBNU VNIITiN. A common drawback of all research stands with an electric drive of rotation of a honeycomb cylinder, controlled by a frequency converter, was revealed. Due to the instability of the rotational speed of the cellular cylinder at different loads, it is necessary to calibrate it for each investigated mode, depending on the current frequency, which significantly increases the complexity of experimental studies. An electronic tachometer was manufactured and included in the design of the stand for the study of cellular surfaces, which provides continuous indication on a digital display of the rotational speed of the indented cylinder. The element base of the tachometer includes a Hall sensor module OH-137, a programmable microcontroller Arduino Nano V3, a 7-segment display 4-bit LED Digital Module. The improved bench equipment for researching the processes of trier separation of the components of grain mixtures along the length of the particles by using an electronic tachometer makes it possible to significantly simplify the corresponding experimental studies, reduce their labor intensity and increase the reliability of the results obtained.*

Keywords: *trier, grain mixture, cleaning, bench equipment, electronic tachometer, current frequency, rotation frequency.*

Введение. Послеуборочная подработка зернового вороха является одним из важнейших этапов производства, от которого зависит качество полученного зерна и посевного материала. Используемые в сельхозпредприятиях зерноочистительные агрегаты в большинстве случаев имеют в своем составе машины и оборудование, позволяющие выделять из зернового материала примеси, отличающиеся по поперечным размерам и аэродинамическим свойствам. При невысокой засоренности полей использование современных воздушно-решетных зерноочистительных машин обеспечивает качество зерна продовольственного назначения на уровне 1 – 4 класса по показателям содержания сорной примеси [1]. Однако при наличии в зерновом ворохе трудноотделимых примесей (куколь, гречишка вьюнковая, колотые частицы основной культуры, овсюг) добиться высокого качества очистки зерна невозможно без применения триерных блоков. Требования к содержанию семян сорняков в посевном материале еще более жесткие [2], что также обуславливает необходимость триерной очистки при его подготовке.

Вместе с тем использование триерных блоков в составе зерноочистительных технологий имеет ряд существенных ограничений, что привело к массовому выводу их из эксплуатации. Основной причиной низкого уровня использования триерных блоков является невозможность их использования в многоканальных зерноочистительных технологиях без эффективных средств деления потока зерна [3, 4].

Кроме того, при последовательной схеме работы триерного блока, когда очищаемый зерновой материал сначала направляется в овсюжные цилиндры для очистки от длинных примесей, а затем в кукольные цилиндры - для очистки от коротких примесей, возникает несоответствие расходных

характеристик качеству технологических процессов. Величины оптимальной производительности овсюжного и кукольного триерных цилиндров существенно различаются. Особенно это наблюдается при наличии трудноотделяемых коротких примесей, склонных к «всплытию» в циркулирующем сегменте зерносмеси: легковесных семян сорняков, частиц стеблей и соломы [5]. Кроме того, производители зерноочистительной техники регламентируют производительность триерного блока лишь по загрузке овсюжного цилиндра [6-8], что снижает степень выделения трудноотделяемых коротких примесей кукольным цилиндром.

Указанные недостатки и противоречия определили необходимость выполнения большого объема экспериментальных исследований процессов триерной очистки зерносмесей: динамики выделения ячеистой поверхностью зерна основной культуры, коротких примесных компонентов; взаимосвязей производительности овсюжного триера с режимами его работы и настроечными параметрами; закономерностей изменения качества процесса от частоты вращения цилиндра, углового положения выводного лотка и исходной засоренности зерносмесей.

Материалы и методы. Объектом исследования является разработанное ФГБНУ ВНИИТиН стендовое оборудование для исследований ячеистых поверхностей [9-14], позволяющее при непрерывном интервально-временном контроле параметров технологического процесса обеспечить инвариантность получаемых результатов относительно длины ячеистой поверхности и обеспечивающее возможности реализации указанных экспериментальных исследований.

Конструктивной особенностью указанных исследовательских стендов является управление электроприводом с помощью частотного преобразователя. Этим достигается возможность плавной регулировки частоты вращения ячеистого цилиндра, как одного из факторов при исследованиях закономерностей триерного разделения компонентов зерносмесей.

Результаты и обсуждение. Перед реализацией плана исследований для каждого варианта исполнения электропривода устанавливается взаимосвязь частоты вращения цилиндра и частоты тока. Для этого по частотному преобразователю устанавливаются интервальные значения частоты тока, подсчитывается количество полных оборотов ячеистого цилиндра за единицу времени и рассчитываются значения частот вращения цилиндра. Зависимость скоростного режима работы триера от частоты тока имеет линейный характер. При этом скорость вращения цилиндра может существенно изменяться в зависимости от величины загрузки на каждом режиме работы. На рисунке 1 приведен тарировочный график электропривода натурного стенда для исследований процесса выделения коротких примесей из ячменя.

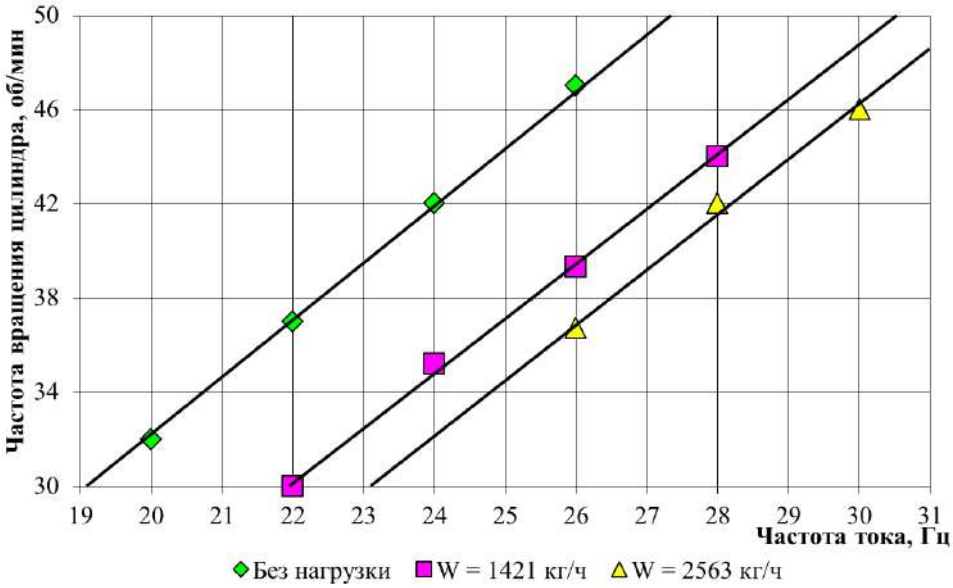


Рисунок 1 – Зависимость частоты вращения цилиндра от частоты тока

Из рисунка 1 видно, что изменение скорости вращения цилиндра от величины загрузки существенное. При изменении загрузки триера от 0 до 1421 кг/ч скорость вращения снижается на 6,8-7,7 об/мин, а при увеличении загрузки зерносмеси до 2563 кг/ч величина снижения скорости вращения достигает 10,3 об/мин. Очевидно, что выявленные взаимосвязи зависят от соотношения мощности электродвигателя и величины загрузки. Поэтому при выполнении экспериментальных исследований приходится выполнять тарировку частоты вращения ячеистого цилиндра для всех исследуемых значений производительности стенда, а в ходе опытов периодически контролировать реальную скорость вращения. Это существенно увеличивает трудоемкость и продолжительность проведения исследований.

Устранение отмеченных недостатков обеспечивает изготовленный нами электронный тахометр для непрерывной индикации на цифровом табло скорости вращения цилиндров исследовательских стендов.

Схема электронного тахометра выполнена на базе датчика Холла. Модуль датчика Холла содержит элемент ОН-137 и, по сути, является магнитным переключателем, имеющим цифровой выходной сигнал. Если рядом с ним нет магнитного поля, то на выходе датчика будет высокое напряжение и, наоборот - при наличии магнитного поля будет низкое напряжение. Для сборки модуля датчика Холла использованы резистор R сопротивлением 820 Ом и конденсатор С емкостью 20 pF (рисунок 2).

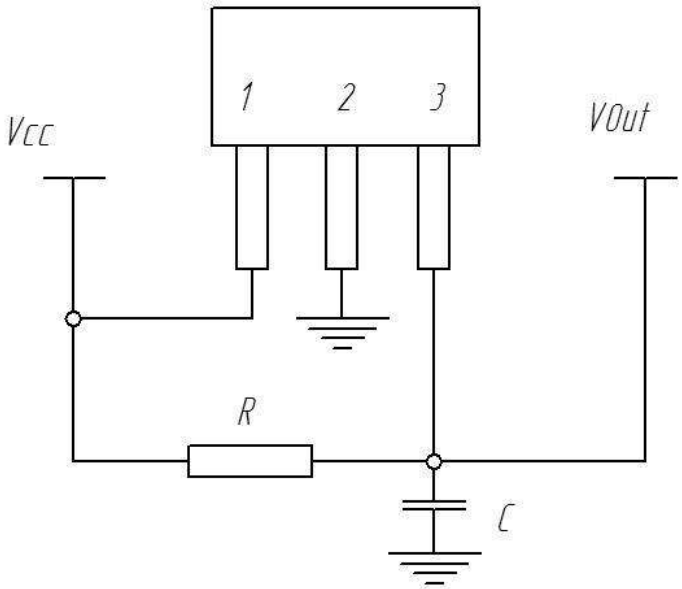
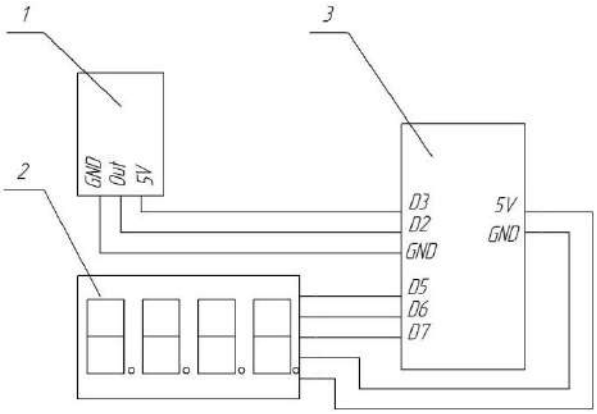


Рисунок 2 – Схема модуля датчика Холла

Плата изготовлена из текстолитовой основы для микросхем с односторонним медным покрытием. Для распределения питания, получения и обработки выходного цифрового сигнала, а также для отображения значения скорости вращения мы использовали следующие модули: Arduino Nano V3 – программируемый микроконтроллер, 4-bit LED Digital Module – 7 сегментный дисплей, блок питания напряжением 5В. Все модули соединены по схеме (рисунок 3) и смонтированы в пластиковый корпус.

Для обеспечения работоспособности тахометра написана программа в приложении Arduino IDE 1.6.5 и загружена в память микроконтроллера Arduino Nano V3. Магнитное поле создается неодимовыми магнитами диаметром 5 мм и толщиной 2 мм. Для упрощения конструкции магниты расположены на переднем кольце цилиндра. Так как частота вращения цилиндров в исследовательских стендах находится в диапазоне 30-50 об/мин, то с целью повышения точности измерений и снижения времени обновления показаний тахометра число магнитов доведено до 6 штук. Они расположены на поверхности кольца с интервалом 60°.



1 – модуль датчика Холла OH-137; 2 – дисплей 4-bit LED Digital Module;
3 – программируемый микроконтроллер Arduino Nano V3
Рисунок 3 – Схема электронного тахометра

Корпус тахометра установлен на раму стенда таким образом, чтобы обеспечивалось удобство считывания значений частоты вращения ячеистого цилиндра, а величина гарантированного воздушного зазора между магнитами и датчиком Холла составляла 2-3 мм, рисунок 4.

Рисунок 4 – Общий вид стенда с электронным тахометром

Заключение. Включение электронного тахометра в конструкцию стендового оборудования для исследований ячеистых поверхностей обеспечивает многократное снижение трудоемкости выполнения тарировочных работ и обеспечивает оперативный контроль соответствия фактического скоростного режима работы стенда с запланированным программой исследований, что существенно повышает достоверность получаемых результатов.

Список литературы

1. ГОСТ 9353-2016 Пшеница. Технические условия: Введ. 2018-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.

2. ГОСТ 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия: Введ. 2005-03-23. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20с.

3. Технические средства, необходимые для модернизации зерноочистительных технологий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин / Новая парадигма устойчивого развития территориально-отраслевых систем в условиях цифровизации: матер. II Международ. науч.-практ. конф. – 2020. – С. 178-186.

4. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Улучшенная технология подработки зерна // Сельский механизатор. – 2020. – № 4. – С. 24-25.

5. 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.

6. Сепараторы триерные серии СТ: рук-во по эксплуатации: [Электронный ресурс] / Воронежсельмаш: – Режим доступа: http://vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2 /Seporatory+ST/

7. Приставка триерная ПТ-600: рук-во по эксплуатации: [Электронный ресурс] / Воронежсельмаш. – Режим доступа: http://vselmash.ru/images/content/pt600.pdf

8. Блок триерный БТМ-800-8Б. Описание.: рук-во по эксплуатации: [Электронный ресурс] / Техника-Сервис. – Режим доступа: http://www.tese.ru/manual/btm_manual.pdf ¶

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

10. Патент РФ № 2616201 Российская Федерация. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей: № 2016108182: заявл. 09.03.2016: опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11 / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.

11. Патент РФ № 2647526 Российская Федерация. Прибор для выделения примесей из зерносмесей: № 2017114302: заявл. 24.04.2017: опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8 / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В.

12. Патент РФ № 2492940 Российская Федерация. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей: № 2012112301/03: заявл. 29.03.2012: опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26 / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амельянц А.Г., Тишанинов М.А., Растюшевский К.А.

13. Патент РФ № 2492941 Российская Федерация. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей: № 2012113207/03: заявл. 04.04.2012: опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26 / Тишанинов Н.П., Амельянц А.Г., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А.

14. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Модернизированный прибор для выделения примесей из зерносмесей – «ТИАН – 1» // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 4 – 5.

References

1. GOST 9353-2016 Pshenica. Tekhnicheskie usloviya: Vved. 2018-07-01. – M.: Standartinform, 2016. – 12 s.

2. GOST 52325-2005 Semena sel'skohozyajstvennyh rastenij. Sortovye i posevnye kachestva. Obshchie tekhnicheskie usloviya: Vved. 2005-03-23. – M.: Standartinform, 2009. – 20s.

3. Tekhnicheskie sredstva, neobhodimye dlya modernizacii zernoochistitel'nyh tekhnologij / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin / Novaya paradigma ustojchivogo razvitiya territorial'no-otraslevyh sistem v usloviyah cifrovizacii: mater. II Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. – 2020. – S. 178-186.

4. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Uluchshennaya tekhnologiya podrabotki zerna // Sel'skij mekhanizator. – 2020. – № 4. – S. 24-25.

5. 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.

6. Separatory triernye serii ST: ruk-vo po ekspluatacii: [Elektronnyj resurs] / Voronezhsel'mash: – Rezhim dostupa: http://vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2 /Seporatory+ST/

7. Pristavka triernaya PT-600: ruk-vo po ekspluatacii: [Elektronnyj resurs] / Voronezhsel'mash. – Rezhim dostupa: http://vselmash.ru/images/content/pt600.pdf

8. Blok triernyj BTM-800-8B. Opisanie.: ruk-vo po ekspluatacii: [Elektronnyj resurs] / Tekhnika-Servis. – Rezhim dostupa: http://www.tese.ru/manual/btm_manual.pdf

9. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Rastyushevskij K.A. Obosnovanie parametrov stenda dlya issledovaniya yacheistyh poverhnostej // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2013. – № 2. – S. 18-21.

10. Patent RF № 2616201 Rossijskaya Federaciya. Stend dlya ispytanij yacheistyh poverhnostej: № 2016108182: zayavl. 09.03.2016: opubl. 13.04.2017, Byul. № 11 / Tishaninov N.P., Anashkin A.V.

11. Patent RF № 2647526 Rossijskaya Federaciya. Pribor dlya vydeleniya primesej iz zernosmesej: № 2017114302: zayavl. 24.04.2017: opubl. 16.03.2018, Byul. № 8 / Tishaninov N.P., Anashkin A.V.

12. Patent RF № 2492940 Rossijskaya Federaciya. Stend dlya ispytanij yacheistyh poverhnostej: № 2012112301/03: zayavl. 29.03.2012: opubl. 20.09.2013, Byul. № 26 / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Amel'yanc A.G., Tishaninov M.A., Rastyushevskij K.A.

13. Patent RF № 2492941 Rossijskaya Federaciya. Stend dlya ispytanij yacheistyh poverhnostej: № 2012113207/03: zayavl. 04.04.2012: opubl. 20.09.2013, Byul. № 26 / Tishaninov N.P., Amel'yanc A.G., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Rastyushevskij K.A.

14. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Modernizirovannyj pribor dlya vydeleniya primesej iz zernosmesej – «TIAN – 1» // Sel'skij mekhanizator. – 2019. – № 1. – S. 4 – 5.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Анашкин Александр Витальевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail:av-anashkin@mail.ru.

Емельянович Сергей Владимирович – ведущий инженер Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, e-mail: seruvarovo@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Anashkin Alexander – Full Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: av-anashkin@mail.ru.

Emelyanovich Sergey – Leading Engineer of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: seruvarovo@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 29.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 30.04.2021

УДК 631.362.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-62-68

АНАЛИЗ УРОВНЯ ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ ПРИ УСТАНОВКЕ РЕШЕТНОГО СТАНА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ГОФРИРОВАННЫЙ ПНЕВМОЦИЛИНДР

[1]Аксенов Игорь Игоревич
[1]Оробинский Владимир Иванович
[1]Корнев Андрей Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. *Процесс решетной сепарации в зерноочистительных машинах сопровождается значительным вибрационными нагрузками на узлы агрегата, что оказывает негативное воздействие на процесс сепарации, надежность машины в целом и здоровье работников, обслуживающих зерноочистительный агрегат. Избежать этого возможно за счет установки решетного стана на эластичный пневмоцилиндр, заполненный* сжатым воздухом, для гашения вертикально направленных вибраций. *Определяли эффективность использования предлагаемой конструкции. В ходе исследований замеряли вибрацию непосредственно на раме лабораторной установки. Высота пневмоцилиндра составляла 0,3 м. Частота колебаний привода решетного стана варьировалась от 300 до 500 мин$^{-1}$ с шагом в 25 мин$^{-1}$. Амплитуда колебаний составляла 16 и 28 мм. В качестве объекта сравнения взята конструкция решетного стана стандартной*

компоновки, подвешенная на плоских подвесках. Использование предлагаемого технического решения, позволяет снизить уровень вибрации на 2,5 - 44,3%, в зависимости от режимных параметров. Наибольшее расхождение показателей уровня вибрации наблюдаются при частоте в 300 мин$^{-1}$ и амплитуде 28 мм (44,3%), а наименьшее -при частоте в 400 мин$^{-1}$ и амплитуде 16 мм (2,5%). Установлено, что решетный стан, установленный на эластичном пневмоцилиндре, не входит в резонансное колебание с рамой зерноочистительной машины и возникающие знакопеременные нагрузки гасятся за счет упругости воздуха в пневмоцилиндре. Анализ полученной информации показывает, что снизить уровень вибрации машин для послеуборочной обработки зернового вороха, установленных в технологических линиях зерноочистительных агрегатов можно за счет использования новой конструкции крепления решетных станов.

Ключевые слова: *вибрация, зерноочистительные машины, решетный стан, биения*

ANALYSIS OF THE OVERALL VIBRATION LEVEL DURING THE INSTALLATION OF THE GRATING MILL GRAIN CLEANING MACHINE FOR CORRUGATED PNEUMATIC CYLINDER

[1]Aksenov Igor
[1]Orobinsky Vladimir
[1]Kornev Andrey
[1]FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great"

Abstract. *The process of sieve separation in grain cleaning machines is accompanied by significant vibration loads on the units of the unit, which has a negative impact on the separation process itself, on the reliability of the machine as a whole and on the health of the employees serving the grain cleaning unit. This can be avoided by installing the sieve bed on an elastic pneumatic cylinder filled with compressed air to damp vertically directed vibrations. The efficiency of using the proposed design was determined. Vibration was measured directly on the frame of the laboratory setup during the research. The height of the pneumatic cylinder was 0.3 m. The oscillation frequency of the sieve mill drive was varied from 300 to 500 min-1 with a step of 25 min-1. The vibration amplitude was 16 and 28 mm.The structure of the sieve bed of the standard configuration, suspended on flat hangers, is taken as a comparison object. The use of the proposed technical solution makes it possible to reduce the vibration level by 2.5 - 44.3%, depending on the operating parameters. The greatest discrepancy in the vibration level indicators is observed at a frequency of 300 min-1 and an amplitude of 28 mm (44.3%), and the smallest at a frequency of 400 min-1 and an amplitude of 16 mm (2.5%). It was found that the sieve mill installed on an elastic pneumatic cylinder does not enter into resonance vibration with the frame of the grain cleaning machine and the alternating loads that arise are damped due to the elasticity of the air in the pneumatic cylinder. The analysis of the information received shows that it is possible to reduce the vibration level of machines for post-harvest processing of grain heaps installed in the processing lines of grain cleaning units due to the use of a new design for fastening sieve mills.*

Keywords: *vibration, grain cleaning machines, grating mill, runouts.*

Введение. Решетная сепарация зернового вороха одна из основных технологических операций производства зерна, эффективность которой влияет на качественные показатели товарного и семенного материала. Для осуществления процесса разделения зерновой массы, поступающей на послеуборочную обработку от комбайна, используются в основном зерноочистительные машины, главным рабочим органом которых является решета в решетных станах [5, 7, 8]. В процессе работы такие машины испытывают значительные знакопеременные нагрузки на рабочих узлах, что приводит к появлению вредных вибраций с постоянно усиливающимся диапазоном колебаний с течением времени. Это приводит не только к быстрому износу машины, но и способствует возникновению вредных производственных факторов, негативно сказывающихся на здоровье обслуживающего персонала, с превышением предельно допустимых уровней регламентируемых СНИП, такими как шум и вибрация [1, 12, 13]. Поэтому поиск технических средств борьбы с вредными вибрациями в решетных зерноочистительных машинах представляет в достаточной

степени важную задачу, решение которой позволит не только обеспечить долговечность техники при сохранении эффективности ее работы, но создать безопасные условия труда работников [6, 11].

Материалы и методы. Решить поставленную задачу позволит техническое решение, представленное на рисунке 1.

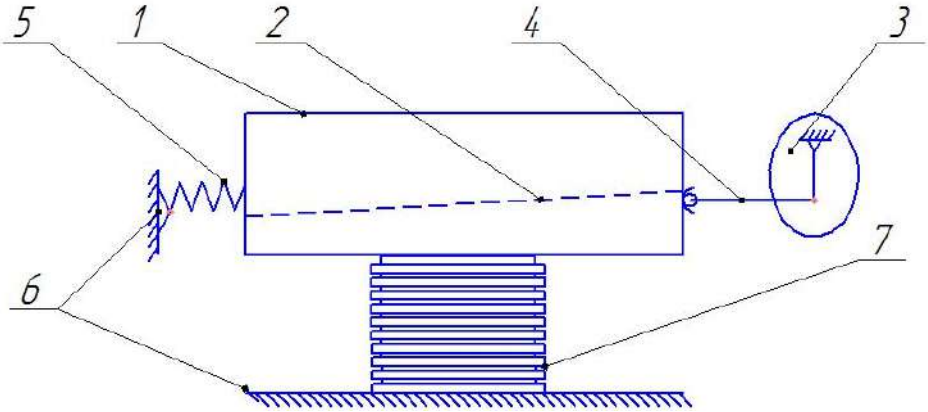


Рисунок 1 – Схема решетного стана установленного на гофрированном пневмоцилиндре

Решетный стан работает следующим образом: вращательное движение эксцентрика 3 преобразуется в возвратно-поступательное перемещение толкателя 4, при этом возникает контактно-силовое взаимодействие между ним и корпусом решетного стана 1. При колебании решетного стана возникают инерционные силы, действующие как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, максимальное значение этой силы проявляется в крайних положениях решетного стана. Пружина 5 способствует снижению действия инерционных сил на раму машины 6 в горизонтальном направлении. Силовое взаимодействие непостоянно при движении влево эксцентриковый привод нагружен, при обратном движении он не испытывает нагрузки и колебания не передаются на корпус машины. В процессе работы из-за неравномерности нагружения решет 2 продуктами сепарации, а также большой величины колеблющихся масс возникают значительные вибрации [4].

Гофрированный эластичный пневмоцилиндр 7, на которой установлен решетный стан, заполняется сжатым воздухом и гасит вертикально направленные вибрации. Гофрированный эластичный пневмоцилиндр 7 устанавливается по центру масс решетного стана, при движении в лево ее одноименная сторона сжимается, правая растягивается. При движении в право происходит обратный процесс. Изменяя давление внутри пневмоцилиндра можно регулировать высоту установки решетного стана и менять характер перемещения зернового материала по решету в зависимости от обрабатываемого материала, требуемой степени очистки и производительности машины [4].

Эффективность гашения вибрации передающейся от работающего решетного стана на раму зерноочистительной машины и установочную поверхность в зерноочистительном агрегате проверена в ходе экспериментальных лабораторных исследований на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Для проведения исследований была смоделирована лабораторная установка имитирующая работу решетного стана зерноочистительной машины ОЗФ [9, 10].

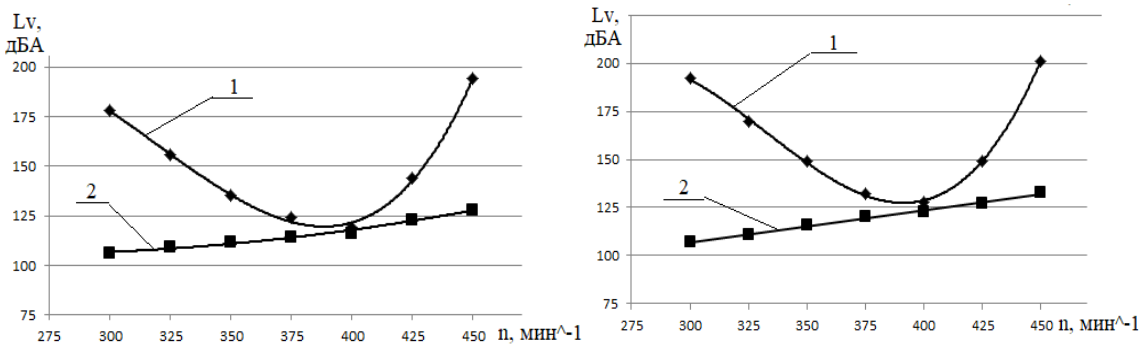
В ходе исследований замеряли вибрацию непосредственно на раме лабораторной установки. Частота колебаний привода решетного стана варьировалась от 300 до 500 мин$^{-1}$ с шагом в 25 мин$^{-1}$,. Амплитуда колебаний составляла 16 и 28мм соответственно [2, 3]. Высота пневмоцилиндра составляла 0,3 м. В качестве объекта сравнения взята конструкция решетного стана стандартной компоновки, подвешенная на плоских подвесках.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований представлены в таблице 1. Показатели уровня вибрации для наглядности были округлены до целых значений.

Таблица 1 – Влияние режима работы и способа установки решетного стана на уровень вибрации

Частота колебаний, мин⁻¹	Амплитуда, мм	Уровень вибрации от решетного стана стандартной компоновки	Уровень вибрации от решетного стана установленного на пневмоцилиндре,
n	A	Lv, дБА	
300	28	192	107
	16	178	106
325	28	170	111
	16	156	109
350	28	149	116
	16	135	112
375	28	132	120
	16	124	114
400	28	128	123
	16	119	116
425	28	149	127
	16	144	123
450	28	201	133
	16	194	128

Анализ представленных данных показывает, что характер изменения вибрационной нагрузки при стандартной компоновке решетного стана имеет параболическую зависимость, а при установке на пневмоцилиндр зависимость прямолинейна. Использование предлагаемого технического решения патент № RU 189555 U1 позволяет снизить уровень вибрации 2,5…44,3% в зависимости от режимных параметров. Наибольшее расхождение показателей уровня вибрации наблюдаются при частоте в 300 мин$^{-1}$ и амплитуде 28 мм – 44,3%, а наименьше разница при 400 мин$^{-1}$ и амплитуде 16 мм – 2,5% (рисунок 2). Данный факт можно объяснить тем, что решетный стан, установленный на пневмоцилиндре, не входит в резонансное движение с рамой машины и возникающие знакопеременные нагрузки гасятся за счет упругости воздуха в пневмоцилиндре.



1-стандартная схема подвеса; 2-установка решетного стана на упругий пневмоцилиндр

Рисунок 2 – График зависимости уровня общей вибрации от режимных параметров работы при различном способе подвеса

Заключение. Установка решетного стана на гофрированный эластичный пневмоцилиндр позволит гасить вредные вибрации, снижая их воздействие на раму машины, а также снизит массу конструкции зерноочистительного агрегата и упростит процесс регулирования высоты установки решетного стана.

Проведенные исследования показали, что снизить уровень вибрации машин для послеуборочной обработки зернового вороха, установленных в технологических линиях зерноочистительных агрегатов можно за счет использования новой конструкции крепления решетных станов. Что в свою очередь, по нашему мнению позволит снизить вибрационные нагрузки всей технологической линии и повысить эффективность работы машин входящих в ее состав.

Список литературы

1. Анализ тенденций развития современных зерноочистительных и сортировальных машин / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.А. Князева [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: матер. международной науч.-практ. конф. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010. – Т. 1. – С. 184-189.

2. Бурков А.И., Глушков А.Л. Определение оптимальной амплитуды и частоты колебаний решётного стана машины предварительной очистки зерна МПЗ-50 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2011. – № 2 (21). – С. 62-67.

3. Влияние режима работы решетного стана на качественные показатели работы решет [Текст] / М.К. Харитонов, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков, Д.В. Ненашев // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов (Россия, Воронеж, 12-13 ноября 2019 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 421-425.

4. Патент № 189555 Российская Федерация, МПК B07B 1/28Решетный стан: №2018143170. Заявл. 05.12.2018: опубл. 28.05.2019 / Оробинский В.И., Корнев А.С., Аксенов И.И; заявитель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – 2 с.

5. Расположение колосовых решет в современных зерноочистительных машинах [Текст] / А.В. Чернышов, А.М. Гиевский, И.В. Баскаков, М.К. Харитонов // Наука и образование в современных условиях: материалы междунар. науч. конф. (Россия, Воронеж, 10 марта - 22 апреля 2016 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I", 2016. – С. 173-178.

6. Харитонов М.К., Марычев В.В., Чернышов А.В. Способы повышения эффективности работы решетных станов зерноочистительных машин [Текст] // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 15-17 ноября 2016 г.). – Воронеж, 2016. – С. 96-99.

7. Чернышов А.В., Харитонов М.К. Анализ схем размещения решет в решетных станах зерноочистительных машин [Текст] // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов I (Россия, г. Воронеж, 28-29 ноября 2011 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 266-272.

8. Чернышов А.В. Исследование работы решетного стана при фракционировании зернового вороха [Текст] // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, посвященные 100-летию Воронежского гос. аграр. ун-та им. императора Петра I (Россия, г. Воронеж, 28-29 ноября 2011 г.). – Ч. IV. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2012. - С. 128-131.

9. Чернышов А.В., Гиевский А.М. Повышение эффективности подготовки товарного и семенного зерна на решетных станах зерноочистительных машин: монография [Текст] – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2018. – 160 с.

10. Чернышов, А.В. Совершенствование процесса фракционирования зернового вороха на решетном стане зерноочистительных машин: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Чернышов; Воронеж. гос. аграр. ун-т. – Воронеж, 2011. – 140 с.

11. Analysis of the beats of separation sieve pans / Shatsky V.P., Orobinsky V.I., Axeonov I.I., Kornev A.S // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, – 2021. – С. 012106.

12. Design of a grain cleaning machine for small farms / K.D. Astanakulov, Y.Z. Karimov, G. Fozilov // Journal Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. – 2011. – Vol. 42 (4). – Pp. 37-40.

13. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine / I. Badretdinov, S. Mudarisov, M. Tuktarov, E. Dick, S. Arslanbekova // Journal of Applied Engineering Science. – 2019. – Vol. 17 (4).

References

1. Analiz tendencij razvitiya sovremennyh zernoochistitel'nyh i sortiroval'nyh mashin / V.P. CHebotarev, I.V. Baranovskij, A.A. Knyazeva [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve: mater. mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. – Minsk: NPC NAN Belarusi po mekhanizacii sel'skogo hozyajstva, 2010. – T. 1. – S. 184-189.

2. Burkov A.I., Glushkov A.L. Opredelenie optimal'noj amplitudy i chastoty kolebanij reshyotnogo stana mashiny predvaritel'noj ochistki zerna MPZ-50 // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2011. – № 2 (21). – S. 62-67.

3. Vliyanie rezhima raboty reshetnogo stana na kachestvennye pokazateli raboty reshet [Tekst] / M.K. Haritonov, A.M. Gievskij, A.V. CHernyshov, I.V. Baskakov, D.V. Nenashev // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh i specialistov (Rossiya, Voronezh, 12-13 noyabrya 2019 g.). – Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2019. – S. 421-425.

4. Patent № 189555 Rossijskaya Federaciya, MPK B07B 1/28Reshetnyj stan: №2018143170. Zayavl. 05.12.2018: opubl. 28.05.2019 / Orobinskij V.I., Kornev A.S., Aksenov I.I; zayavitel' FGBOU VO Voronezhskij GAU. – 2 s.

5. Raspolozhenie kolosovyh reshet v sovremennyh zernoochistitel'nyh mashinah [Tekst] / A.V. CHernyshov, A.M. Gievskij, I.V. Baskakov, M.K. Haritonov // Nauka i obrazovanie v sovremennyh usloviyah: materialy mezhdunar. nauch. konf. (Rossiya, Voronezh, 10 marta - 22 aprelya 2016 g.). – Voronezh: FGBOU VO "Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I", 2016. – S. 173-178.

6. Haritonov M.K., Marychev V.V., CHernyshov A.V. Sposoby povysheniya effektivnosti raboty reshetnyh stanov zernoochistitel'nyh mashin [Tekst] // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Voronezh, 15-17 noyabrya 2016 g.). – Voronezh, 2016. – S. 96-99.

7. CHernyshov A.V., Haritonov M.K. Analiz skhem razmeshcheniya reshet v reshetnyh stanah zernoochistitel'nyh mashin [Tekst] // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh i specialistov I (Rossiya, g. Voronezh, 28-29 noyabrya 2011 g.). – Voronezh: FGBOU VPO Voronezhskij GAU, 2015. – S. 266-272.

8. CHernyshov A.V. Issledovanie raboty reshetnogo stana pri frakcionirovanii zernovogo voroha [Tekst] // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh i specialistov, posvyashchennye 100-letiyu Voronezhskogo gos. agrar. un-ta im. imperatora Petra I (Rossiya, g. Voronezh, 28-29 noyabrya 2011 g.). – CH. IV. – Voronezh: FGBOU VPO Voronezhskij GAU, 2012. - S. 128-131.

9. CHernyshov A.V., Gievskij A.M. Povyshenie effektivnosti podgotovki tovarnogo i semennogo zerna na reshetnyh stanah zernoochistitel'nyh mashin: monografiya [Tekst] – Voronezh: Voronezhskij GAU, 2018. – 160 s.

10. CHernyshov, A.V. Sovershenstvovanie processa frakcionirovaniya zernovogo voroha na reshetnom stane zernoochistitel'nyh mashin: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / A.V. CHernyshov; Voronezh. gos. agrar. un-t. – Voronezh, 2011. – 140 s.

11. Analysis of the beats of separation sieve pans / Shatsky V.P., Orobinsky V.I., Axeonov I.I., Kornev A.S // V sbornike: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. Bristol, – 2021. – S. 012106.

12. Design of a grain cleaning machine for small farms / K.D. Astanakulov, Y.Z. Karimov, G. Fozilov // Journal Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. – 2011. – Vol. 42 (4). – Pr. 37-40.

13. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine / I. Badretdinov, S. Mudarisov, M. Tuktarov, E. Dick, S. Arslanbekova // Journal of Applied Engineering Science. – 2019. – Vol. 17 (4).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Аксенов Игорь Игоревич – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: igor-aksenov1989@ya.ru.

Оробинский Владимир Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Корнев Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Aksenov Igor – Senior Lecturer of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: igor-aksenov1989@ya.ru

Orobinsky Vladimir – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Kornev Andrey – Candidate of Engineering Sciences, Docent of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 07.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 27.05.2021

УДК 631.312.021.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-68-78

ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МТА

[1]Завражнов Анатолий Иванович
[2]Лебедев Анатолий Тимофеевич
[2]Лебедев Павел Анатольевич
[2]Захарин Антон Викторович

[1]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

Реферат. *Среди продаваемых запасных деталей для сельскохозяйственной техники до 40 % не качественных, их использование приводит к нарушению агротехнических требований и простаиванию техники в период выполнения сельскохозяйственных работ. Применили для машинно-тракторных агрегатов (МТА) методологический подход повышения надежности технологических процессов. МТА рассмотрены в виде иерархической схемы элементов, в структуре которой низшие элементы - рабочие поверхности деталей, оказывающие наибольшее влияние на надежность всей системы. Надежность подсистемы «среда» принята ≈1. Проведенные теоретические исследования позволили установить, что вероятность безотказной работы (ВБР) исходных МТА можно повысить за счет функционального резервирования свойств рабочих поверхностей мобильного энергетического средства и рабочих органов технологического*

модуля (ТМ), так как надежность всей системы определяется ВБР наименее надежных элементов. Для повышения ВБР предложено выполнить входной контроль запасных частей, как способ резервирования функции этих деталей (ФРВК). Полученные расчетные данные показали, что применение этого метода позволяет увеличить ВБР МТА в 1,5 раза. В качестве примера, представлено прогнозируемое изменение такого диагностического параметра для прецизионных деталей топливной аппаратуры как их гидравлическая плотность. Анализ теоретической модели показывает, что управление ресурсом прецизионных деталей возможно за счет применения ФРВК контроля начального диагностического параметра и упрочнения рабочих поверхностей прецизионных деталей. Оценку надежности ТМ производили по контролю твердости плужных лемехов и по величине их ресурса до достижения предельных параметров. Полученные экспериментальные результаты подтверждают теоретические положения, представленные в исследовании. Обеспечение входного контроля запасных частей позволит снизить риски применения не качественной продукции и тем самым управлять надежностью не только контролируемых деталей, но и МТА в целом.

***Ключевые слова**: ресурс, надежность, входной контроль, твердость, гидравлическая плотность, технологический модуль, рабочие органы, плунжерная пара, лемех.*

INPUT QUALITY CONTROL OF SPARE PARTS AS A METHOD OF INCREASING RELIABILITY OF MACHINE AND TRACTOR UNITS

[1]Zavrazhnov Anatoly
[2]Lebedev Anatoly
[2]Lebedev Pavel
[2]Zaharin Anton

[1]FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"
[2]FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"

***Abstract.** Among the spare parts for agricultural machinery sold, up to 40% are not of high quality, their use leads to a violation of agrotechnical requirements and equipment downtime during the period of agricultural work. The methodological approach to increasing the reliability of technological processes was applied for machine-tractor units (MTA). MTA are considered in the form of a hierarchical diagram of elements, in the structure of which the lower elements are the working surfaces of the parts that have the greatest impact on the reliability of the entire system. The reliability of the "environment" subsystem is assumed to be ≈1. The performed theoretical studies made it possible to establish that the probability of no-failure operation (FBR) of the original MTA can be increased due to functional redundancy of the properties of the working surfaces of the mobile power unit and the working bodies of the technological module, since the reliability of the entire system is determined by the FBG of the least reliable elements. Incoming inspection of spare parts, as a way of backing up the function of these parts (FRVK), is proposed to be performed to increase the FBG. The calculated data have shown that the use of this method makes it possible to increase FBR of the MTA by a factor of 1.5. As an example, the predicted change in such a diagnostic parameter for precision parts of fuel equipment as their hydraulic density is presented. Analysis of the theoretical model shows that the control of the resource of precision parts is possible through the use of the PRVK control of the initial diagnostic parameter and hardening of the working surfaces of precision parts. The assessment of the TM reliability was carried out by monitoring the hardness of the plow shares and by the value of their resource until the limiting parameters were reached. The obtained experimental results confirm the theoretical positions presented in the study. Ensuring the incoming inspection of spare parts will reduce the risks of using substandard products and thereby manage the reliability of not only the inspected parts, but also the MTA as a whole.*

***Keywords**: resource, reliability, input control, hardness, hydraulic density, process module, working bodies, plunger pair, ploughshare.*

Введение. При производстве сельскохозяйственной продукции необходимо обеспечение ее качества, которого можно добиться при соблюдении агротехнических норм и использовании инновационных технологий производства. Привлечение новейших технологий сопровождается

значительными капитальными вложениями, что является не всегда возможно из-за низкой платежеспособности сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Поддержание работоспособного состояния имеющегося машинно-тракторного парка осуществляется за счет увеличения количества ремонтов и приобретения запасных частей. Количество продаваемых запасных частей и комплектующих изделий для сельскохозяйственной техники увеличивается с каждым годом. Имеющийся опыт работы организаций по материально-техническому обеспечению позволил установить, что поступающие в продажу детали классифицируются на 4 основных группы (рисунок 1): оригинальные запасные части, аналоги, запасные части, изготовленные без лицензии и детали, бывшие в употреблении.

Рисунок 1 – Классификация запасных частей

Широкий спектр запасных частей на рынке сопровождается рядом преимуществ и недостатков каждой из представленных групп. Детали, бывшие в употреблении обладают одним большим преимуществом они имеют наименьшую стоимость по отношению к другим группам, но при этом определить остаточный ресурс очень сложно без проведения тщательных исследований. Запасные части, изготовленные без лицензии, встречаются очень редко и их использование не рекомендуется.

Аналоги или неоригинальные запасные части, изготовленные по лицензии, имеют меньшую стоимость по сравнению с оригинальными деталями. Несмотря на заявленные заводами изготовителями высокие показатели надежности, продажа запасных частей сопровождается снижением качества деталей.

Количество таких деталей достигает до 40% от общего количества изделий соответствующей номенклатуры [1]. Применение таких запасных деталей приводит к уменьшению их заявленного ресурса, нарушению агротехнических требований и простаиванию техники в период выполнения сельскохозяйственных работ. В конечном счете оказывая непосредственное влияние на себестоимость и качество производимой продукции.

Для повышения надежности машинно-тракторного агрегата и снижения вероятности применения некачественных запасных частей, нами предлагается осуществлять входной контроль наиболее ответственных деталей мобильных энергетических средств (МЭС) и технологических модулей (ТМ), которые входят в состав машинно-тракторного агрегата (МТА) и оказывают наибольшее влияние на его надежность.

Материалы и методика. Разработанный профессором Лебедевым А.Т. методологический подход повышения надежности технологических процессов [2], можно применить для МТА. В условиях реальной эксплуатации надежное функционирование поверхностных слоев деталей позволяет повысить общую надежность системы. Рассматривая повышение надежности МТА можно говорить о том, что на данную сложную систему оказывают влияние подсистемы, входящие в ее состав, такие как: технологический модуль, мобильное энергетическое средство и среда. Каждая из этих подсистем является не менее сложной и важной с точки зрения влияния на конечный результат.

В условиях рядовой эксплуатации выполнение технологических процессов зависит от агротехнических сроков. В результате чего сельскохозяйственные товаропроизводители вынуждены выполнять технологические операции в сложившихся условиях подсистемы «среда».

Природно-климатические условия не всегда позволяют выполнить необходимые операции в благоприятных условиях, но независимо от состояния подсистемы «среда» выполнение технологических операций обязательно. Оценивая данную подсистему показателем надежности, его значение может быть близким к единице (подсистема находится в благоприятных условиях), или приближаться к нулю (подсистема находится в неблагоприятных условиях), но это не будет оказывать влияние на исходную надежность подсистем МЭС и ТМ. Низкие, как и высокие, значения надежности подсистемы «среда» оказывают влияние на изменение состояния этих подсистем, и на конечную надежность системы МТА. Поэтому в данном исследовании влияние подсистемы «среда» не учитываем. Принимая ее надежность ≈1.

Используя методологический подход МТА рассмотрены в виде иерархической схемы (рис. 2) его подсистем, агрегатов и сборочных единиц, в структуре которых низшие элементы, - это рабочие поверхности деталей, оказывающие наибольшее влияние на надежность всей системы. Большинство ответственных рабочих поверхностей подсистемы МЭС контактируют друг с другом. Они за счет геометрических параметров и физико-механических свойств материала, должны обеспечивать требуемые эксплуатационные условия нормального функционирования подсистемы МЭС, что и является целевым назначением этих рабочих поверхностей. Рабочие поверхности подсистемы ТМ контактируют со «средой» и их целевым назначением является преобразование «среды» в соответствии с целевым назначением соответствующих рабочих органов ТМ.

Вероятность безотказной работы МТА можно представить в виде выражения:

$$P_{MTA}(t) = P_{МЭС}(t) \cdot P_{TM}(t), \quad (1)$$

где $P_{МЭС}(t)$– вероятность безотказной работы (ВБР) подсистемы МЭС; $P_{TM}(t)$– вероятность безотказной работы подсистемы ТМ.

Вероятность безотказной работы каждой из подсистем, согласно представленной иерархии, (рисунок 2) определяется надежностью агрегатов, сборочных единиц соединений и деталей, входящих в их состав.

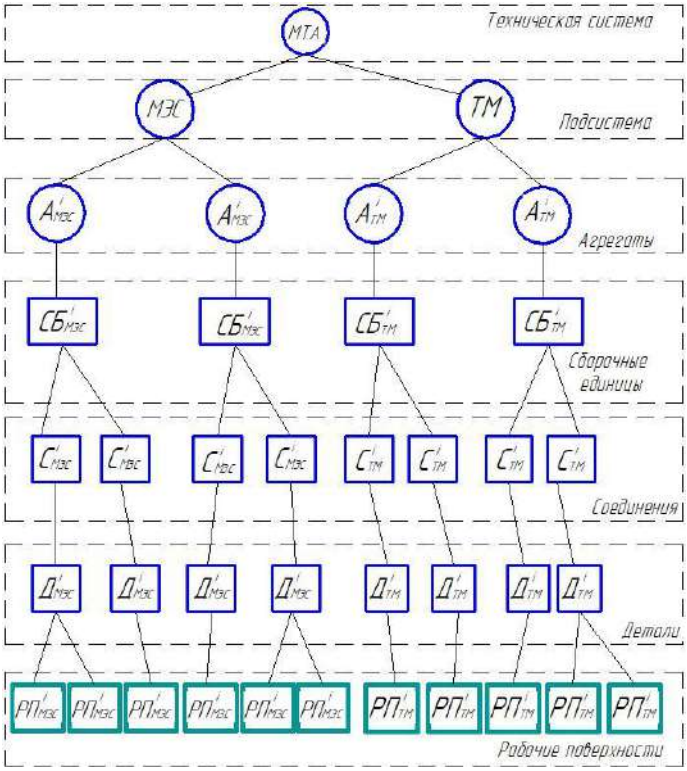


Рисунок 2 – Иерархическая схема МТА

Рассмотрим МЭС в виде структурной схемы (рисунок 3), в состав которой входят: двигатель внутреннего сгорания, трансмиссия, ходовая система, система электрооборудования, гидравлическая система и прочие системы.

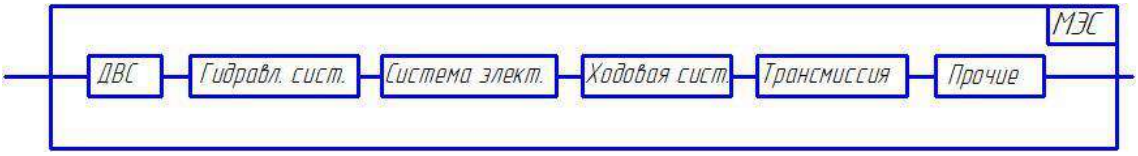


Рисунок 3 – Структурная схема МЭС

Учитывая представленную структурную схему МЭС вероятность безотказной работы можно определить из выражения:

$$P_{МЭС}(t) = P_{ДВС}(t) \cdot P_{ГС}(t) \cdot P_{ЭО}(t) \cdot P_{ХС}(t) \cdot P_{Т}(t) \cdot P_{П}(t) \quad (2)$$

где $P_{ДВС}(t)$, $P_{ГС}(t)$, $P_{ЭО}(t)$, $P_{ХС}(t)$, $P_{Т}(t)$, $P_{П}(t)$– соответственно вероятность безотказной работы двигателя внутреннего сгорания; гидравлической системы, системы электрооборудования, ходовой системы, трансмиссии и прочих систем.

Основываясь на результатах исследований [3], можно сказать, что из представленных элементов МЭС наименее надежной является двигатель внутреннего сгорания ВБР, которого равна 0,91. Для остальных элементов данный показатель составляет 0,99. Подставив имеющиеся данные в выражение (2) получим значение вероятности безотказной работы МЭС $P_{МЭС}(t)=0,86$. Для повышения надежности функционирования МЭС необходимо повысить ВБР двигателя.

Представим ДВС в виде структурной схемы (рисунок 4), состоящей из ряда элементов, надежность которых влияет на надежность двигателя. Отказы представленных элементов распределяются следующим образом [4]: система питания (СП) 35…50% отказов (большая часть которых приходится на прецизионные детали), газораспределительный механизм (ГРМ) 10…20% отказов, система смазки (СС) 10…20% отказов, цилиндропоршневая группа (ЦПГ) 10…20% отказов, система охлаждения (СО) 5…10% отказов, прочие системы (ПС) 10…20% отказов. С учетом имеющихся данных принимаем значения вероятности безотказной работы $P_{СП}(t)=0,96$, $P_{ЦПГ}(t)= P_{ГРМ}(t)= P_{СС}(t)= P_{СО}(t)= P_{ПС}(t)=0,99$, тогда ВБР двигателя внутреннего сгорания будет определяться из выражения:

$$P_{ДВС}(t) = P_{СП}(t) \cdot P_{ЦПГ}(t) \cdot P_{ГРМ}(t) \cdot P_{СС}(t) \cdot P_{СО}(t) \cdot P_{ПС}(t) = 0,91 \quad (3)$$

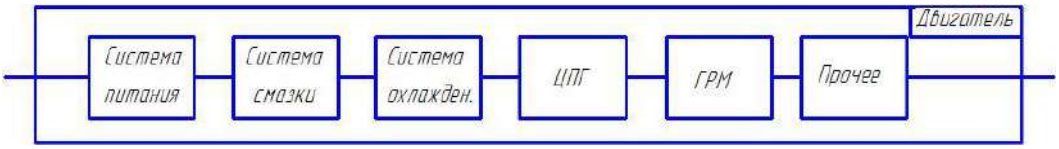


Рисунок 4 – Структурная схема двигателя внутреннего сгорания

Расчетное значение вероятности безотказной работы ДВС, является довольно низким показателем, для повышения которого нами предлагается выполнить функциональное резервирование за счет проведения контроля запасных частей деталей системы питания (рисунок 5). В частности, речь идет об обеспечении входного контроля прецизионных деталей топливной аппаратуры (ФРВК).

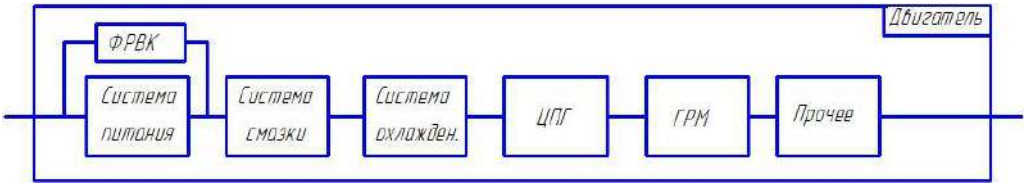


Рисунок 5 – Структурная схема двигателя внутреннего сгорания, с применением функционального резервирования входным контролем (ФРВК)

Определение вероятности безотказной работы с функциональным резервированием будет определяться по следующему выражению:

$$P_{ДВС1}(t) = \left[1 - \left(1 - P_{СП}(t)\right)\left(1 - P_{ФРВК}(t)\right)\right] \cdot P_{ЦПГ}(t) \cdot P_{ГРМ}(t) \cdot P_{СС}(t) \cdot P_{СО}(t) \cdot P_{ПС}(t) \quad (4)$$

Подставив значения и проведя вычисления получим, что вероятность безотказной работы двигателя составит $P_{ДВС1}(t)=0,95$, с учетом полученных расчетных данных $P_{МЭС1}(t)=0,9$. Теоретические исследования показывают, что предлагаемые методы позволят увеличить надежность мобильного энергетического средства, входящего в состав МТА.

Представляя вторую подсистему МТА технологический модуль в виде структурной схемы (рис. 5) которая состоит из подвесного устройства (ПУ), рамы (Р), балки жесткости (БЖ) и *i*-го количества рабочих органов (РО).

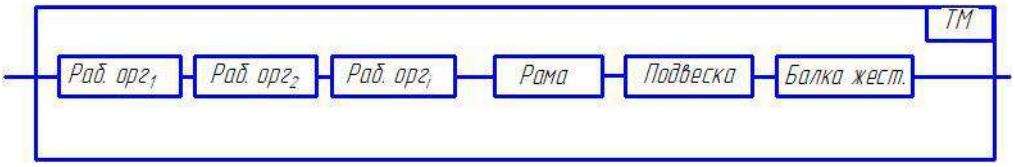


Рисунок 5 – Структурная схема технологического модуля

Анализ работ [5, 6, 7], позволил установить, что наибольшее количество отказов технологических модулей связано с рабочими органами. Не соответствующее качество запасных частей приводит к нарушению технологического процесса и увеличению затрат на выполнение восстановительных работ. С учетом исходной структурной схемы ТМ вероятность безотказной работы будет определяться из следующего выражения:

$$P_{ТМ}(t) = P_{РО}{}^{n}(t) \cdot P_{Р}(t) \cdot P_{ПУ}(t) \cdot P_{БЖ}(t) \quad (5)$$

где $P_{РО}(t)$, $P_{БЖ}(t)$, $P_{Р}(t)$, $P_{ПУ}(t)$ - соответственно вероятность безотказной работы рабочих органов, балки жесткости, рамы и подвесного устройства; n – количество рабочих органов.

Основываясь на полученные данные и задаваясь показателями вероятности безотказной работы элементов технологического модуля, принимаем $P_{РО}(t)=0,94$, $P_{БЖ}(t)= P_{Р}(t)= P_{ПУ}(t)=0,99$.

Рассмотрим вероятность безотказной работы, на примере плуга ПЛН-5-35, подставив значения в выражение 5 и проведя вычисления получим $P_{ТМ}(t)=0,71$. Такое значение надежности является не удовлетворительным, причинами столь низкого показателя являются не только условия работы рабочих органов, но и качество рабочих органов поступающих в виде запасных частей. С целью увеличения показателя надежности предлагается функциональное резервирование рабочих органов (рис. 6), входным контролем качества изделий.

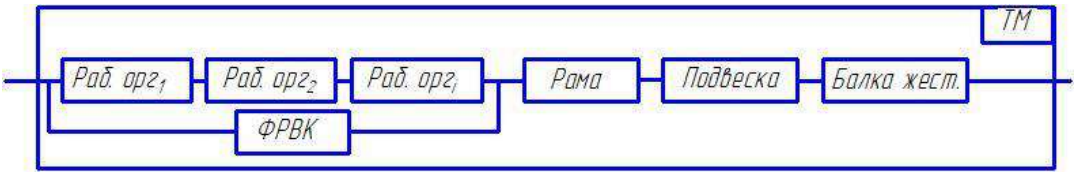


Рисунок 6 – Структурная схема технологического модуля, с применением функционального резервирования входного контроля рабочих органов (ФРВК)

С учетом применения функционального резервирования входного контроля рабочих органов вероятность безотказной работы ТМ будет определяться из выражения:

$$P_{ТМ1}(t) = \left[1 - \left(1 - P_{РО}(t)\right)^{n}\left(1 - P_{ФРВК}(t)\right)\right] \cdot P_{Р}(t) \cdot P_{ПУ}(t) \cdot P_{БЖ}(t) \quad (6)$$

Подставив в выражение 6 значения вероятности безотказной работы для рассматриваемого плуга ПЛН-5-35 получим $P_{ТМ1}(t)=0,97$.

Используя расчетные значения вероятности безотказной работы подсистем МЭС и ТМ можно определить значение ВБР для МТА без применения функционального резервирования:

$$P_{МТА}(t) = P_{МЭС}(t) \cdot P_{ТМ}(t) = 0,86 \cdot 0,71 = 0,61$$

Полученные значения вероятности безотказной работы МЭС и ТМ подтверждаются реальными условиями эксплуатации. Надежность ТМ определяется ресурсом рабочих органов, а также внезапными отказами, возникающими из-за низкого качества самих изделий или запасных частей.

Значение ВБР для МТА при реализации функционального резервирования входного контроля можно определить из выражения:

$$P_{MTA1}(t) = P_{МЭС}(t) \cdot P_{TM}(t) = 0{,}95 \cdot 0{,}97 = 0{,}92$$

Полученные расчетные данные показывают возможность увеличения вероятности безотказной работы МТА в 1,5 раза, за счет применения входного контроля методом ФРВК.

С учетом предложенной иерархии можно говорить о том, что надежность всей системы определяется ВБР наименее надежных элементов. Как показывает проведенный анализ надежности элементов системы МТА, использование метода ФРВК позволяет повысить надежность всей системы. В дальнейшем необходимо выбрать диагностируемый параметр и по нему разработать теоретические модели прогнозирования ресурса наиболее «слабых» элементов системы МТА? и для подсистемы МЭС и для ТМ. В качестве примера, представим прогнозируемое изменение такого диагностического параметра для прецизионных деталей топливной аппаратуры как их гидравлическая плотность. Наибольшее количество отказов МЭС связаны с системой питания двигателей. Большое количество которых связано с низким качеством прецизионных деталей, поступающих в качестве запасных частей, что оказывает существенное влияние на тяговые характеристики МЭС, расход топлива и увеличение выбросов вредных веществ.

Поступающие в качестве запасных частей плунжерные пары выполнены с некоторой точностью изготовления. В качестве показателя, характеризующего надежность прецизионных деталей, является гидравлическая плотность. В процессе эксплуатации гидравлическая плотность деталей достигает предельного значения $Г_{пред}$, после чего детали выбраковываются. На рисунке 7 представлена теоретическая модель изменения гидравлической плотности плунжерных пар, как критерия выбраковки этих деталей.

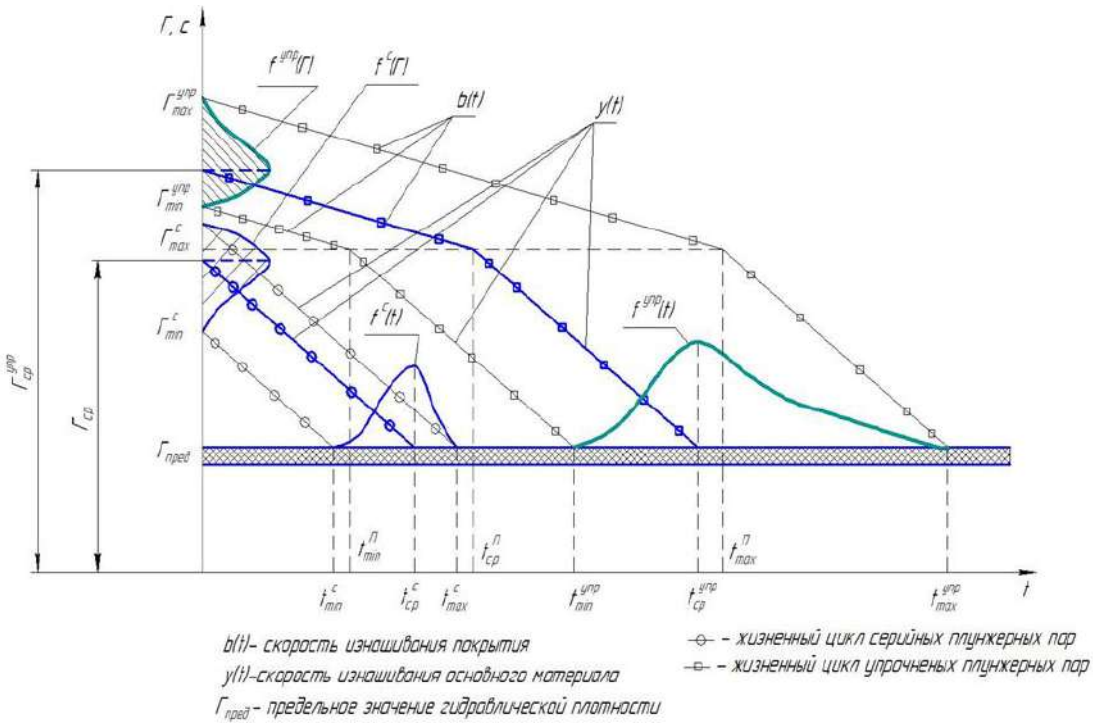


Рисунок 7 – Теоретическая модель изменения гидравлической плотности плунжерных пар

При рассмотрении серийных плунжерных пар эта группа характеризуется изменением гидравлической плотности в пределах $Г^{C}_{min} \dots Г^{C}_{max}$. Представленные изменения начального состояния прецизионных деталей до предельного состояния $Г_{пред}$ наглядно демонстрируют изменение ресурса при одинаковой интенсивности изменения этого показателя, связанной с износом рабочих поверхностей. В рассматриваемом случае достижение предельного состояния $Г_{пред}$, за какой-то промежуток времени работы t, будет починяться линейному закону и определяться из выражения:

$$Г_{пред} = Г_{ср} - y(t) \cdot t \quad (7)$$

Наступление предельного состояния деталей или максимального износа, соответствующего $Г_{пред}$ при условии одинаковой интенсивности изменения $y(t)$ будет зависеть от точности изготовления и среднего значения гидравлической плотности $Г_{ср}$.

При работе предлагаемого соединения, имеющего покрытие [8, 9], происходит изменение гидравлической плотности в два этапа. Упрочненные прецизионные детали проходят жизненный цикл первого этапа за какой-то период времени $t^{П}$, при интенсивности изменения гидравлической плотности $b(t_{П})$. Начальный этап жизненного цикла упрочненных плунжерных пар будет характеризоваться интенсивностью изнашивания нанесенного покрытия.

На наш взгляд, дальнейший жизненный цикл будет подчиняться с интенсивностью изменения $y(t)$. Наступление предельного состояния плунжерных пар, имеющих покрытие будет определяться по выражению:

$$Г^{упр}_{пред} = Г^{упр}_{ср} - t_n\big(b(t_n) + y(t)\big) - y(t_n) \quad (8)$$

где $Г^{упр}_{ср}$ – среднее значение гидравлической плотности упрочнённых плунжерных пар; $b(t_{П})$ – интенсивность изменения гидравлической плотности плунжерных пар с тонкопленочным покрытием; $t_{П}$ – ресурс покрытия.

Теоретическая модель, представленная на рисунке 7 демонстрирует эффективность предложенных решений, так как при минимальном значении гидравлической плотности упрочнённых деталей ресурс сопряжения намного выше, чем у серийно выпускаемых.

Проверку теоретических положений выполним при проведении экспериментальных исследований и контроля диагностируемых параметров. Как было сказано, оценка плунжерных пар осуществлялась по их гидравлической плотности, а оценка ТМ по твёрдости плужных лемехов.

Результаты и их обсуждение. Анализ работы топливной аппаратуры дизельных энергетических средств, показывает, что для обеспечения стабильной работы на всех режимах, необходима стабильная цикловая подача топлива, а также неравномерность по секциям не превышающая заданных заводом изготовителем показателей. При исследовании плунжерных пар поступающих в качестве запасных частей было установлено, что детали имеют среднее значение гидравлической плотности 43,4 с, а среднее квадратическое отклонение составляет σ = 2,49 с (рисунок 8). Среди исследованных прецизионных деталей 14% имели гидравлическую плотность, превышающую 45,7 с, остальные прецизионные сопряжения имели повышенный зазор в сопряжении. При этом следует отметить, что входной контроль поступивших плунжерных пар установил, что детали находятся в III группе гидравлической плотности, но полученные данные свидетельствуют о низкой надежности запасных частей.

Исследование гидравлической плотности плунжерных пар, которые были упрочнены финишным плазменным упрочнением, показало, что 82% деталей имели гидравлическую плотность, превышающую 45,7 с при среднем квадратическом отклонении σ = 1,05 с.

На этапе входного контроля плужных лемехов, поступающих в качестве запасных частей, производилось измерение твердости деталей. Для исследования были отобраны 4 образца серийных лемехов. Лемехи производства «Светлоградагромаш» из однородного материала без упрочнения (образец №1) и с упрочненной режущей кромкой методом дуговой наплавки (образец №2). Оригинальные лемехи фирмы Lemken с упрочненной режущей кромкой (образец №3) и без упрочнения (образец №4). Результаты исследований представлены на рисунке 9.

Проведение входного контроля плужных лемехов позволил установить, средние значение твердости основного материала и упрочненных режущих кромок, а также представлены данные по наработке исследуемых образцов.

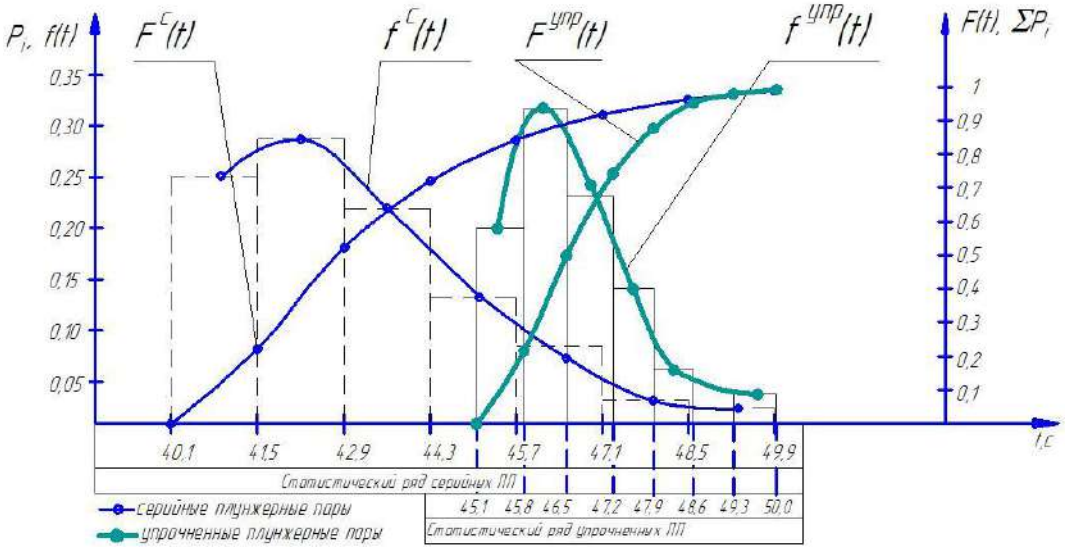


Рисунок 8 – Статистический ряд распределения гидравлической плотности плунжерных пар

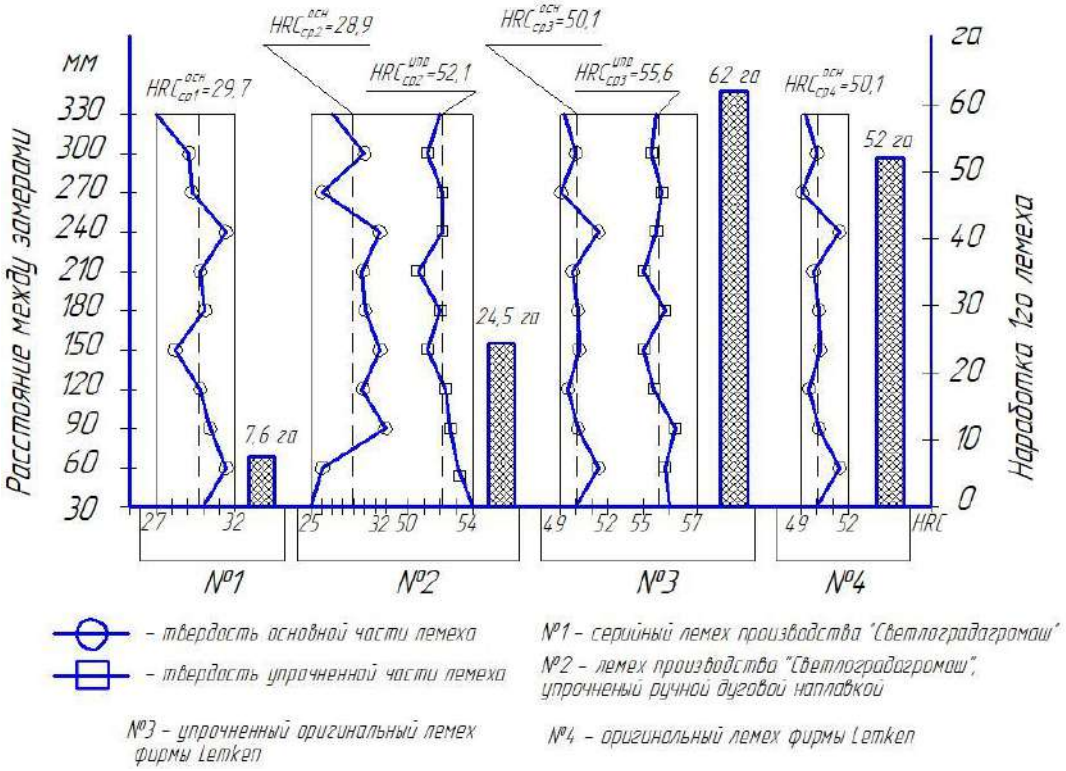


Рисунок 9 – Результаты исследования твердости исследуемых рабочих органов.

Наработка лемеха производства «Светлоградагромаш» без упрочнения (образец №1) составила *7,6 га*, что является наименьшим показателей среди сравниваемых вариантов, среднее значение твердости данного образца составило *29,7* HRC_1 при среднем квадратическом отклонении σ = *1,23 HRC*. Исследуемый лемех, имеющий упрочненную режущую кромку (образец №2) был выбракован после наработки в *24,5 га*, средние значения твердости основной

части и упрочненной соответственно составили *28,9* HRC_2 при $\sigma = 2,37$ *HRC* и *52,1* $HRC_{упр2}$ при $\sigma_{упр2} = 0,89$ *HRC.*

Исследования оригинальных лемехов фирмы Lemken с упрочненной режущей кромкой (образец №3) и без упрочнения (образец №4) показали, что в обоих образцах среднее значение твердости основного материала одинакова и составляет 50*,1 HRC при* $\sigma = 0,71$ *HRC,* а значение твердости упрочненной режущей кромки составило *55,6* $HRC_{упр3}$ *при* $\sigma_{упр2} = 0,36HRC$. Наработка упрочненного импортного лемеха Lemken составила *62 га*, в то время как без упрочнения *52 га*. Полученные результаты необходимо оценивать по технико-экономическому критерию, что будет реализовываться в дальнейших исследованиях.

Вывод. Таким образом, обеспечение входного контроля запасных частей позволит снизить риски применения не качественной продукции и тем самым управлять надежностью не только контролируемых деталей, но и МТА в целом.

Список литературы

1. Дорохов А.С. Повышение эффективности входного контроля качества запасных частей и сельскохозяйственной техники [Текст] / Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – Москва, 2011.

2. Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: моногр. – Ставрополь, 2012. – 376 с.

3. Арженовский А.Г. Совершенствование организации технического сервиса, методов и средств функционального оперативного диагностирования мобильных энергетических средств в агропромышленном комплексе [Текст]: дис. … д-ра технич. наук / Арженовский А.Г., Азово-Черноморский инженерный институт. – Зерноград, 2020.

4. Лепешкин Д.И. Улучшение показателей дизеля в условиях эксплуатации повышением стабильности работы топливной аппаратуры [Текст] / Лепешкин Д.И. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Омск, 2015.

5. Лебедев А.Т., Магомедов Р.А. Износостойкость рабочих органов почвообрабатывающих машин // Сельский механизатор. – 2011. – № 10. – С. 34-35.

6. Феськов С.А. Разработка технологии восстановления стрельчатых лап культиваторов для высева семян зерновых культур по подготовленной почве [Текст]: Дис. … канд. технич. наук/ Феськов С.А., Российский государственный аграрный университет. – Брянск, 2018.

7. Надежность и эффективность МТА при выполнении технологических процессов / А.Т. Лебедев, О.П. Наумов, Р.А. Магомедов, А.В. Захарин, П.А. Лебедев, Р.В. Павлюк // Ставрополь, 2015. – 332 с.

8. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Повышение износостойкости плунжера топливного насоса // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №1. – С.24-25.

9. Повышение ресурса плунжерных пар / Н.А. Марьин, А.Т. Лебедев, Р.В. Павлюк, Р.А. Магомедов, А.В. Захарин, М.А. Кобозев, П.А. Лебедев, В.А. Васин // Научная мысль. – 2015. – №3. – С. 249-253.

References

1. Dorohov A.S. Povyshenie effektivnosti vhodnogo kontrolya kachestva zapasnyh chastej i sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Tekst] / Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina. – Moskva, 2011.

2. Lebedev, A.T. Resursosberegayushchie napravleniya povysheniya nadezhnosti i effektivnosti tekhnologicheskih processov v APK: monogr. – Stavropol', 2012. – 376 s.

3. Arzhenovskij A.G. Sovershenstvovanie organizacii tekhnicheskogo servisa, metodov i sredstv funkcional'nogo operativnogo diagnostirovaniya mobil'nyh energeticheskih sredstv v agropromyshlennom komplekse [Tekst]: dis. … d-ra tekhnich. nauk / Arzhenovskij A.G., Azovo-CHernomorskij inzhenernyj institut. – Zernograd, 2020.

4. Lepeshkin D.I. Uluchshenie pokazatelej dizelya v usloviyah ekspluatacii povysheniem stabil'nosti raboty toplivnoj apparatury [Tekst] / Lepeshkin D.I. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Altajskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. I.I. Polzunova. Omsk, 2015.

5. Lebedev A.T., Magomedov R.A. Iznosostojkost' rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin // Sel'skij mekhanizator. – 2011. – № 10. – S. 34-35.

6. Fes'kov S.A. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya strel'chatyh lap kul'tivatorov dlya vyseva semyan zernovyh kul'tur po podgotovlennoj pochve [Tekst]: Dis. … kand. tekhnich. nauk/ Fes'kov S.A., Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – Bryansk, 2018.

7. Nadezhnost' i effektivnost' MTA pri vypolnenii tekhnologicheskih processov / A.T. Lebedev, O.P. Naumov, R.A. Magomedov, A.V. Zaharin, P.A. Lebedev, R.V. Pavlyuk // Stavropol', 2015. – 332 s.

8. Lebedev A.T., Lebedev P.A. Povyshenie iznosostojkosti plunzhera toplivnogo nasosa // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 2010. – №1. – S.24-25.

9. Povyshenie resursa plunzhernyh par / N.A. Mar'in, A.T. Lebedev, R.V. Pavlyuk, R.A. Magomedov, A.V. Zaharin, M.A. Kobozev, P.A. Lebedev, V.A. Vasin // Nauchnaya mysl'. – 2015. – №3. – S. 249-253.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Лебедев Анатолий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольского государственного аграрного университета», Россия, г. Ставрополь.

Лебедев Павел Анатольевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольского государственного аграрного университета», Россия, г. Ставрополь, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Захарин Антон Викторович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ставропольского государственного аграрного университета», Россия, г. Ставрополь.

Author credentials

Affiliations

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

Lebedev Anatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol.

Lebedev Pavel – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Zaharin Anton – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol.

Поступила в редакцию (Received): 29.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 07.06.2021

УДК 631.311.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-78-87

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

[1]Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович
[1]Балабанов Виктор Иванович
[1]Мартынова Наталья Борисовна
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. *Известно, что разработка новых конструкций рабочего оборудования мелиоративных и строительных машин, также, как и других технологических машин, требует проведения прочностных расчетов перед их изготовлением с целью определения запаса*

прочности. С использованием компьютерной программы Inventor Pro проводили уточненные прочностные расчеты (при разных размерах конечных элементов и их количестве) для деталей и конструкций мелиоративных и строительных машин нестандартной формы. Использовали методы однофакторного эксперимента в комплексе с методом конечных элементов (МКЭ). Рассмотрен уточненный расчет рабочего органа - ковша мелиоративной каналоочистительной машины, спроектированного в системе Inventor Pro. Размеры конечных элементов изменялись в диапазоне от 0,06 до 0,12 с шагом 0,02 мм. Установлено, что полиномиальная аппроксимация полученных зависимостей запаса прочности от величины размеров конечных элементов наиболее адекватна. Получены уравнения регрессии процесса изменения запаса прочности деталей в зависимости от размеров конечных элементов. Рекомендуется проверку конструкции по максимальным напряжениям и величинам запаса прочности в опасных сечениях проводить при минимальных значениях конечных элементов. При значениях запаса прочности, близких к минимально допустимым, необходимо проводить уточненные прочностные расчеты с разбивкой деталей на большое количество тетраэдров.

***Ключевые слова**: прочностной расчет, запас прочности, метод конечных элементов, твердотельное моделирование, конечно-элементная сетка.*

STRESS STATE ANALYSIS IN THE DEVELOPMENT OF NEW STRUCTURES WORKING EQUIPMENT FOR CONSTRUCTION AND RECLAMATION MACHINES

[1]Abdulmazhidov Hamzat
[1]Balabanov Viktor
[1]Martynova Natalia
[1]FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Abstract. *It is known that the development of new designs of working equipment for land reclamation and construction machines, as well as other technological machines, requires strength calculations before their manufacture in order to determine the margin of safety. Refined strength calculations (for different sizes of finite elements and their number) for parts and structures of irregular-shaped land reclamation and construction machines were carried out using the computer program Inventor Pro. The methods of one-factor experiment in combination with the finite element method (FEM) were used. The revised calculation of the working body - the bucket of the reclamation channel cleaning machine, designed in the Inventor Pro system is considered. The dimensions of the finite elements varied in the range from 0.06 to 0.12 with a step of 0.02 mm. It was found that the polynomial approximation of the obtained dependences of the safety factor on the size of the finite elements is most adequate. Regression equations for the process of changing the safety factor of parts depending on the size of the finite elements are obtained. It is recommended to check the structure for maximum stresses and safety factors in dangerous sections at minimum values of finite elements. Refined strength calculations with a breakdown of parts into a large number of tetrahedrons must be carried out at values of the safety factor close to the minimum permissible.*

***Keywords**: strength calculation, strength reserve, end-element method, solid state modeling, of course-element grid.*

Введение. Кафедра «Мелиоративные и строительные машины» института Мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева является выпускающей. На кафедре реализуется направление подготовки бакалавров 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» профиль «Машины и оборудование для городского хозяйства». Кроме того, с 2020 года ведется подготовка бакалавров по направлению 35.03.11 «Гидромелиорация» профиль «Механизация и автоматизация гидромелиоративных работ». В течение всего курса обучения студенты выполняют различные отчеты по учебным и производственным практикам, курсовые работы, курсовые проекты, а в конце обучения выполняют выпускную квалификационную работу [1, 2, 3].

Тематика курсовых работ и проектов темы ВКР по перечисленным направлениям обычно связаны с разработкой и конструированием нового рабочего оборудования, а также

модернизацией элементов и конструкций существующего рабочего оборудования мелиоративных и строительных машин. При выполнении курсовых работ и проектов, а также выпускных квалификационных работ широко используются различные компьютерные программы. Их условно можно разделить на четыре группы:

1. Текстовые редакторы (здесь преимущественно применяется Microsoft Word, с помощью которого можно совершенно четко отобразить любой текст с различными формулами, рисунками и таблицами).

2. Расчетные пакеты (поскольку курсовые работы и проекты, а также ВКР содержат расчетные части – то их студенты выполняют в таких расчетных программах как Mathcad, MATLAB, Mathematica, Maple, Microsoft Excel и т.д.).

3. Графические пакеты (курсовые работы и проекты, а также ВКР содержат графическую часть, т.е. чертежи, они выполняются с помощью таких компьютерных программ как Inventor Pro, AutoCAD, SolidWorks, Компас и др.).

4. Презентационные программы (в настоящее время материалы для защиты курсовых работ и проектов, а также ВКР преимущественно представляются в виде презентаций, выполняемых в таких компьютерных программах как Microsoft PowerPoint и Google Workspace, также допустима дистанционная защита проектов с использованием сервисов Google Meet, Zoom, Skype, Webinar, Яндекс-Телемост и др.).

Обычно курсовые работы выполняются на 40-50 печатных страницах формата А4, курсовые проекты - 50-60 страниц, выпускные квалификационные работы бакалавров 70-80 страниц. Графическая часть курсовых работ и проектов может включать до 3-х листов формата А1 (здесь преимущественно представляются общий вид машины, сборочных чертеж разрабатываемого или модернизируемого узла и деталировка). ВКР бакалавра содержит обычно до 8-ми листов формата А1 (здесь также представлены общий вид машины с рабочим оборудованием, сборочных чертеж разрабатываемого или модернизируемого узла, деталировка, а также кинематическая и гидравлическая схемы, план производства работ, основной элемент рабочего оборудования – рабочий орган в объеме (3D), лист с прочностными расчетами и лист по экономической эффективности разработанной машины).

Материалы и методы. Создание новых конструкций и деталей технологических машин требует проведения прочностных расчетов. Анализ напряженного состояния новых деталей и конструкций, выполненных на кафедре мелиоративных и строительных машин проводится преимущественно с использованием графических пакетов Inventor Pro и Компас. Данные пакеты изучаются студентами на кафедре по дисциплинам «Основы работы в Inventor Pro» и «Основы работы в графическом редакторе Компас» [4, 5].

Стандартные профили, из которых изготавливаются элементы строительных и мелиоративных машин, такие как швеллеры, двутавры, тавры, уголки, круглые трубы, квадратные трубы представлены в библиотеках рассматриваемых программ. Их масс-инерционные характеристики - моменты инерции, моменты сопротивления, масса погонного метра используются при проведении прочностных расчетов, и они также представлены в справочной литературе. Более того исследуемые характеристики легко определяются с помощью графических пакетов. Проведение анализа напряженного состояния для конструкций, изготовленных из стандартных профилей не вызывает сложностей. Однако, часто элементы рабочего оборудования строительных и мелиоративных машин имеют сложную конфигурацию, к примеру, конструкции стрел и рукоятей экскаваторов, корпусные детали узлов несущие определенную нагрузку. Поперечное сечение таких конструкций может меняться по их длине, а масс-инерционные характеристики не представлены в справочной литературе.

Многие современные графические программы позволяют изначально создавать объемные детали, затем деталь переводится в «плоскость», то есть формируется техническая документация для ее изготовления. Такой способ черчения получил название – ассоциативное черчение. Существуют различные способы твердотельного моделирования, в основе которого лежит формирование эскиза и придание ему объема. Часто используются такие способы как выдавливание, вращение, лофтинг, изгиб и т.д. Таким образом создаются сложные конструкции рабочего оборудования строительных и мелиоративных машин.

Все вновь созданные конструкции машин требуют проведения прочностного расчета. Цель прочностного расчета заключается в определении запаса прочности. Запас прочности n представляет собой отношение предельных напряжений $\sigma_п$ к действующим в элементе напряжениям σ. Детали и конструкции рабочего оборудования преимущественно изготавливаются из сплавов черных металлов: стали и чугуна. Запас прочности для стальных конструкций обычно для учебных расчетов находится в пределах от 1,5 до 2 единиц, для чугунных – от 2 до 2,5. В случае если запас прочности окажется больше допустимых значений можно утверждать, что имеется расход материала, а если запас прочности меньше допустимых значений – значит конструкция не выдерживает заданных нагрузок. Часто бывает так, что в конструкции рабочего оборудования преимущественно возникает один из видов напряжений (напряжения сжатия $\sigma_{сж}$, изгиба $\sigma_{изг}$ или кручения $\tau_{кас}$). Прочностной расчет подразумевает соблюдение условия прочности, т.е. действующие в детали напряжения должны быть меньше допускаемых значений $\sigma_{сж} \leq [\sigma]$. Если деталь нагружена нормальными и касательными нагрузками – то в ней возникают все три вида напряжений (обычно такими деталями являются валы, несущие нормальную нагрузку и передающие вращающий момент, в таком случае необходимо определить эквивалентные, суммарные напряжения и проверить условие прочности) [6].

В программе Inventor Pro имеется модуль, с помощью которого определяются все необходимые для анализа прочности характеристики. Способ проведения прочностных расчетов в графических пакетах носит название метода конечных элементов. Сущность метода заключается в формировании сложной твердотельной нагруженной конструкции и разбивке ее на конечные элементы – тетраэдры. Расчет проводится программой для каждого элемента, затем промежуточные результаты интегрируются. Окончательные результаты выдаются в виде таблиц и гистограмм.

Более подробно расчет на прочность деталей методом конечных элементов выполняется в следующей последовательности:

1. Создание твердотельной детали или конструкции машины.
2. Задание материала конструкции.
3. Определение опорных поверхностей.
4. Задание нагрузок заданной величины в определенных точках. Нагрузки могут быть сосредоточенные и распределенные, а также касательные.
5. Разбивка детали на конечные элементы - тетраэдры, т.е. создание конечно-элементной сетки.
6. Работа модуля проведения расчета методом конечных элементов.
7. Представление результатов расчета с таблицами и гистограммами в виде отдельного файла-отчета.

Результатами расчета являются величины действующих напряжений, деформаций и смещений. Цветные гистограммы позволяют выяснить наиболее нагруженные участки конструкции. Основным результатом расчета, на основе которого можно сделать выводы о возможности использования детали или конструкции, является запас прочности.

При расчетных значениях запаса прочности в допустимых пределах, значениями, близкими к максимально допустимым можно было ограничиться. Однако, при значениях, близких к минимально допустимым, а также в случаях выяснения опасных сечений необходимо проводить уточненные прочностные расчеты. К примеру, если для стальных конструкций при предварительном прочностном расчете получены значения запаса прочности n = 1,508, казалось бы, полученная величина находится в допустимых пределах, но это требует уточнения.

При проведении прочностного расчета методом конечных элементов, как известно, твердотельная модель разбивается на тетраэдры, причем эти элементы имеют определенные размеры. Программа Inventor Pro формирует конечно-элементную сетку с размерами конечных элементов равных по умолчанию l = 0,1 мм.

Уточненный прочностной расчет позволяет оценивать запас прочности при уменьшенных размерах конечных элементов. Уменьшение размеров конечных элементов ведет к увеличению их количества, что в свою очередь позволяет получить более подробную и точную картину распределения напряжений в конструкции.

В настоящей статье рассматривается уточненный расчет рабочего органа - ковша мелиоративной каналоочистительной машины. Ковш спроектирован в системе Inventor Pro, имеет прямоугольный профиль и предназначен для очистки дна мелиоративных каналов от наносов, заилений и грунтов. Ковш может перемещаться на роликах по жестким направляющим, разрабатывая при этом режущей кромкой грунт. Величина нагрузок приходящихся на рабочий орган определена по формуле Н.Г. Домбровского $P_1 = K_к \cdot F$, где $K_к$ - удельное сопротивление копанию, МПа, F - площадь поперечного сечения стружки, см^2 [7].

Методика проведения уточненного расчета заключается в том, что расчеты проводятся при разных значениях размеров конечных элементов, но при этом конфигурация детали, материал изготовления, опорные поверхности, величина нагрузки и точки ее приложения не меняются.

На рисунках 1, 2 и 3 представлена конструкция ковша каналоочистителя, выполненная в системе Inventor Pro, разбивка конструкции на конечные элементы (конечно-элементная сетка) и прочностной расчет [8, 9, 10, 11, 12].

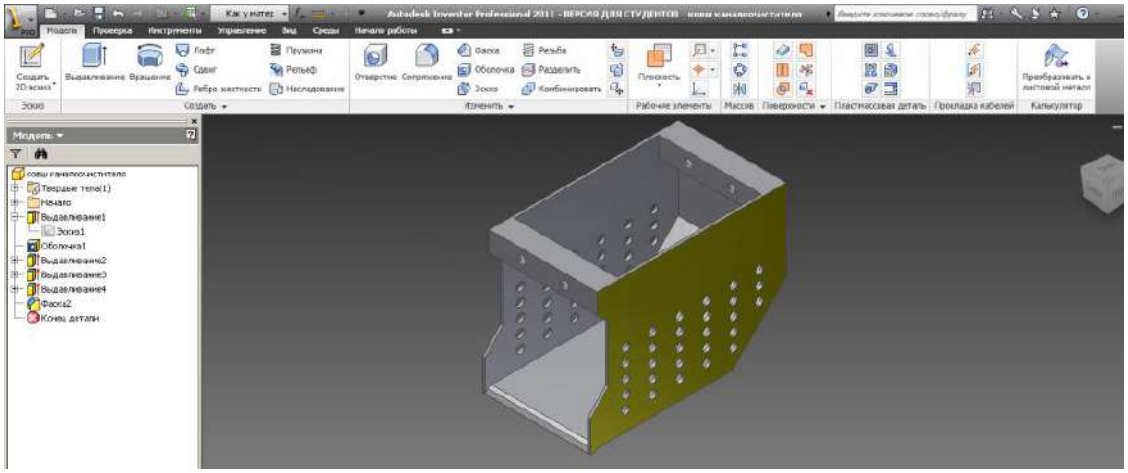


Рисунок 1 – Объемная конструкция ковша каналоочистителя, выполненная в системе Inventor Pro

Исследование было проведено согласно правилам однофакторного эксперимента [13, 14, 15], размеры конечных элементов изменялись в диапазоне от 0,06 до 0,12 с шагом 0,02 мм (таблица 1), соответственно получились четыре точки 0,06; 0,08; 0,1 и 0,12.

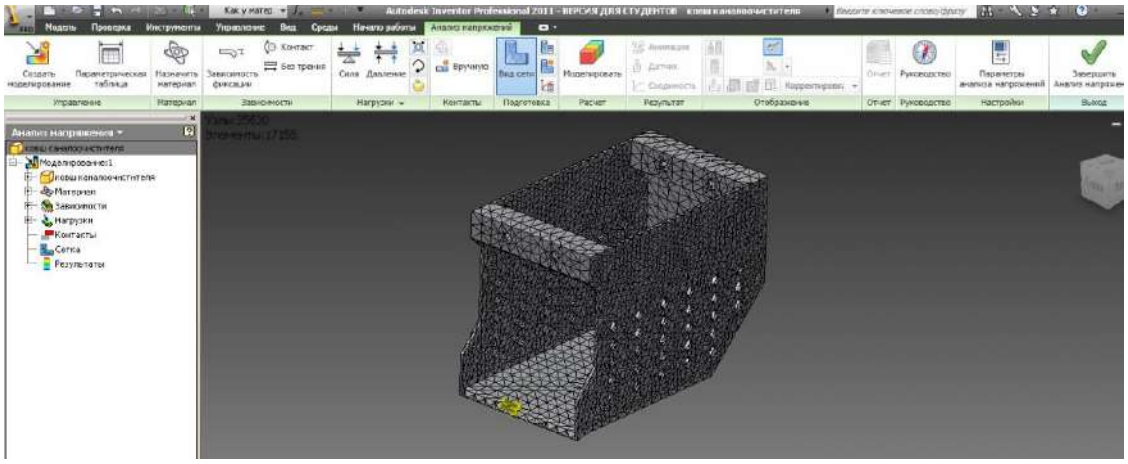


Рисунок 2 – Создание конечно-элементной сетки

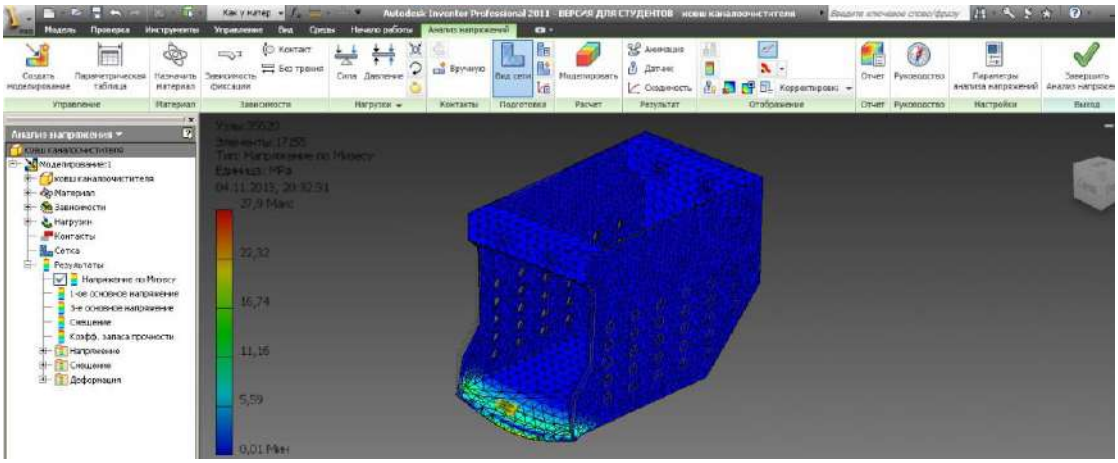


Рисунок 3 – Прочностной расчет ковша

Таблица 1 – Результаты уточненного прочностного расчета

Номер опыта	Нагрузка, *P*, Н	Размеры конечных элементов *l*, мм	Запас прочности *n*, бр
1	12500	0,12	1,89572
2	12500	0,10	1,77461
3	12500	0,08	1,62023
4	12500	0,06	1,40316

Листинг получения линейного уравнения регрессии по результатам уточненного расчета, полученного в системе Mathcad представлен на рисунке 4.

Обработка результатов уточненных расчетов исследований по определению запаса прочности конструкции методом конечных элементов в зависимости от размеров тетраэдров

1. Представление значений размеров конечных элементов каждого опыта в виде матрицы-строки с транспонированием

$X := (0.06 \quad 0.08 \quad 0.10 \quad 0.12) \qquad X := X^T$

2. Представление значений запаса прочности каждого опыта в виде матрицы-строки с транспонированием

$Y := (1.40316 \quad 1.62023 \quad 1.77461 \quad 1.89572) \qquad Y := Y^T$

3. Определение коэффициента A линейного уравнения регрессии

$A := \mathrm{slope}(X, Y) \qquad A = 8.16$

4. Определение коэффициента B линейного уравнения регрессии

$B := \mathrm{intercept}(X, Y) \qquad B = 0.939$

5. Представление линейного уравнения регрессии

$Y := 8.16X + 0.939$

Рисунок 4 – Листинг результатов уточненного расчета в системе Mathcad

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований получены зависимости запаса от величины размеров конечных элементов в линейной и полиномиальной аппроксимации (рисунок 5).

По величине достоверности аппроксимации R^2 = 0,9997 можно сделать вывод от том, что наиболее адекватно описывает процесс полиномиальная аппроксимация, для линейной аппроксимации этот показатель составляет равен R^2=0,9827 [16, 17, 18].

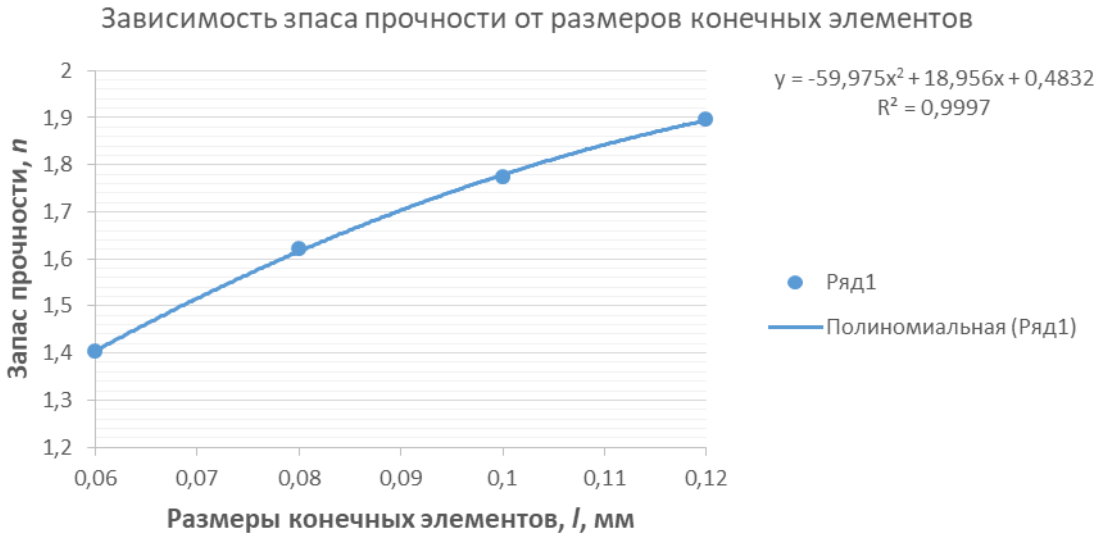


Рисунок 5 – Зависимость запаса прочности конструкции от размеров конечных элементов

Некоторая неясность в исследованиях на первый взгляд формируется в связи с тем, что для одной и той же конструкции, выполненной из определенной марки стали, при одних и тех же нагрузках, приложенных в соответствующих точках для каждого опыта, получаются разные запасы прочности. Это можно объяснить более детальным и подробным рассмотрением детали или конструкции с более подробной конечно-элементной сеткой.

Заключение. По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

1. Предварительные прочностные расчеты методом конечных элементов для новых или модернизируемых конструкций строительных и мелиоративных машин не являются достаточными при значениях запаса прочности близких к минимальным.
2. При значениях запаса прочности близких к минимально допустимым необходимо проводить уточненные прочностные расчеты, подразумевающие разбивку детали на большее количество тетраэдров.
3. Проверка конструкции по максимальным напряжениям и величинам запаса прочности в опасных сечениях желательно проводить при минимальных значениях конечных элементов.

Список литературы

1. Абдулмажидов Х. А., Матвеев А. С. Уточненные прочностные расчеты рабочих органов машин природообустройства в системе Inventor pro // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 3. – С. 7-14.
2. Абдулмажидов Х. А., Матвеев А. С. Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor pro // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 2(72). – С. 40-46.
3. Карапетян М. Л., Абдулмажидов Х. Л. Теоретическое исследование динамики рабочего органа каналоочистителя РР-303 // Природообустройство. – 2015. – № 2. – С. 78-80.
4. Теловов Н. К. , Абдулмажидов Х. Л. Экспериментальные исследования физической модели рабочего органа двухуровневого глубокорыхлителя // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 3(91). – С. 22-27. – DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-22-27.
5. Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И. Расчет машин и оборудования природообустройства. - М.: МЭСХ.-2020. -86 с.
6. Балабанов В.И., Лилова-Маркова С.В., Миташев Д.П. Обеспечение прочности машиностроительных конструкций / Доклады ТСХА: Материалы Международной научной конференции. – 2017. – С. 201-202.

7. Корнеев, А. Ю., Мартынова Н. Б. Плужный рабочий орган для строительства мелиоративных каналов полуэллиптического профиля в зоне осушения // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2017. – № 2(78). – С. 26-29.

8. Механизация растениеводства /В.М. Халанский [и др.]. – М.: РГАУ-МСХА, 2014. – 524с.

9. Суриков, С. Ю. Inventor HSM pro -новое CAD/CAM решение для технологов-машиностроителей / С. Ю. Суриков // Научно-технические и инженерные разработки - основа решения современных экологических проблем: Сборник материалов Юбилейной семидесятой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием: в 3-х частях; Ярославль, 19 апреля 2017 года. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2017. – С. 83-85.

10. Николаев, К. В., Хамитова Д. В. Перспективы использования параметризации Autodesk Inventor и среды Ilogic в производстве // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: XIV Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция, Казань, 06–08 ноября 2019 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 424-429.

11. Круль К., Белов В. А., Олеярчик К. Моделирование и расчет конструкций строительных машин и сооружений: учеб. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2008. – 232 с. – ISBN 5726404696.

12. Макеев В. Н., Сушков С. И. Курсовое и дипломное проектирование дорожно-строительных машин. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2015. – 187 с. – ISBN 9785799405939.

13. Курилин А. В. Обработка и интерполяция числовых данных в Mathcad // Образование – путь к успеху: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 28–29 ноября 2018 года / Под общей редакцией Е.В. Плужника, Т.В. Яблоновской. – Москва: Негосударственное образовательное учреждение высшего образования Московский технологический институт, 2018. – С. 79-82.

14. Рындин В. В., Волкова Л. Ю. Применение системы Mathcad при статистическом анализе экспериментальных данных // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 4. – С. 6-18.

15. Пузанкова Л. В., Павлушина В. А. Изучение возможностей пакета Mathcad в учебном процессе // Информатика и прикладная математика. – 2018. – № 24. – С. 64-65.

16. Кукаркин, И. Д., Сиротенко А. Н. Особенности прочностного расчета несущей конструкции портального самопогрузчика // Актуальные проблемы науки и техники. 2019: Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26–28 марта 2019 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019. – С. 375-376.

17. Ертаева Ж. А., Байтуреев А. М. Математическая обработка экспериментальных исследований и проверка адекватности математической модели // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 9-3. – С. 489-491.

18. Кудрявцева-Сидоренко И. С. Методика оценки статистических свойств характеристических функций // Омский научный вестник. – 2016. – № 5(149). – С. 121-124.

References

1. Abdulmazhidov H. A., Matveev A. S. Utochnennye prochnostnye raschety rabochih organov mashin prirodoobustrojstva v sisteme Inventor pro // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2018. – № 3. – S. 7-14.

2. Abdulmazhidov H. A., Matveev A. S. Kompleksnoe proektirovanie i prochnostnye raschety konstrukcij mashin prirodoobustrojstva v sisteme Inventor pro // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2016. – № 2(72). – S. 40-46.

3. Karapetyan M. L., Abdulmazhidov H. L. Teoreticheskoe issledovanie dinamiki rabochego organa kanaloochistitelya RR-303 // Prirodoobustrojstvo. – 2015. – № 2. – S. 78-80.

4. Telovov N. K. , Abdulmazhidov H. L. Eksperimental'nye issledovaniya fizicheskoj modeli rabochego organa dvuhurovnevogo glubokoryhlitelya // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2019. – № 3(91). – S. 22-27. – DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-22-27.

5. Martynova N.B., Abdulmazhidov H.A., Balabanov V.I. Raschet mashin i oborudovaniya prirodoobustrojstva. - M.: MESKH.-2020. -86 s.

6. Balabanov V.I., Lilova-Markova S.V., Mitashev D.P. Obespechenie prochnosti mashinostroitel'nyh konstrukcij / Doklady TSKHA: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – 2017. – S. 201-202.

7. Korneev, A. YU., Martynova N. B. Pluzhnyj rabochij organ dlya stroitel'stva meliorativnyh kanalov poluellipticheskogo profilya v zone osusheniya // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2017. – № 2(78). – S. 26-29.

8. Mekhanizaciya rastenievodstva /V.M. Halanskij [i dr.]. – M.: RGAU-MSKHA, 2014. – 524s.

9. Surikov, S. YU. Inventor HSM pro -novoe CAD/CAM reshenie dlya tekhnologov-mashinostroitelej / S. YU. Surikov // Nauchno-tekhnicheskie i inzhenernye razrabotki - osnova resheniya sovremennyh ekologicheskih problem: Sbornik materialov YUbilejnoj semidesyatoj vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov, magistrantov i aspirantov s mezhdunarodnym uchastiem: v 3-h chastyah; YAroslavl', 19 aprelya 2017 goda. – YAroslavl': YAroslavskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2017. – S. 83-85.

10. Nikolaev, K. V., Hamitova D. V. Perspektivy ispol'zovaniya parametrizacii Autodesk Inventor i sredy Ilogic v proizvodstve // Dispetcherizaciya i upravlenie v elektroenergetike: XIV Vserossijskaya otkrytaya molodezhnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Kazan', 06–08 noyabrya 2019 goda. – Kazan': Kazanskij gosudarstvennyj energeticheskij universitet, 2019. – S. 424-429.

11. Krul' K., Belov V. A., Oleyarchik K. Modelirovanie i raschet konstrukcij stroitel'nyh mashin i sooruzhenij: ucheb. – Moskva: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2008. – 232 s. – ISBN 5726404696.

12. Makeev V. N., Sushkov S. I. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie dorozhno-stroitel'nyh mashin. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2015. – 187 s. – ISBN 9785799405939.

13. Kurilin A. V. Obrabotka i interpolyaciya chislovyh dannyh v Mathcad // Obrazovanie – put' k uspekhu: Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 28–29 noyabrya 2018 goda / Pod obshchej redakciej E.V. Pluzhnika, T.V. YAblonovskoj. – Moskva: Negosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Moskovskij tekhnologicheskij institut, 2018. – S. 79-82.

14. Ryndin V. V., Volkova L. YU. Primenenie sistemy Mathcad pri statisticheskom analize eksperimental'nyh dannyh // Nauka i tekhnika Kazahstana. – 2018. – № 4. – S. 6-18.

15. Puzankova L. V., Pavlushina V. A. Izuchenie vozmozhnostej paketa Mathcad v uchebnom processe // Informatika i prikladnaya matematika. – 2018. – № 24. – S. 64-65.

16. Kukarkin, I. D., Sirotenko A. N. Osobennosti prochnostnogo rascheta nesushchej konstrukcii portal'nogo samopogruzchika // Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2019: Materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 26–28 marta 2019 goda. – Rostov-na-Donu: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2019. – S. 375-376.

17. Ertaeva ZH. A., Bajtureev A. M. Matematicheskaya obrabotka eksperimental'nyh issledovanij i proverka adekvatnosti matematicheskoj modeli // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2015. – № 9-3. – S. 489-491.

18. Kudryavceva-Sidorenko I. S. Metodika ocenki statisticheskih svojstv harakteristicheskih funkcij // Omskij nauchnyj vestnik. – 2016. – № 5(149). – S. 121-124.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: hamzat72@mail.ru.

Балабанов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Мартынова Наталья Борисовна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: yourim2@rambler.ru.

Author credentials
Affiliations

Abdulmazhidov Hamzat – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy", Russia, Moscow, e-mail: hamzat72@mail.ru.

Balabanov Viktor – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy", Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Natalia Martynova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy", Russia, Moscow, e-mail: yourim2@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 14.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021

УДК 621.822.6.004.67:668.3:631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-87-95

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОЛИМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

[1]Ли Роман Иннакентьевич
[2]Псарев Дмитрий Николаевич
[3]Киба Мария Романовна
[1]Мельников Антон Юрьевич

[1]ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Реферат. *Способы восстановления полимерными материалами значительно увеличивают послеремонтный ресурс корпусных деталей, подшипниковых узлов, валов и шестерен. Представляют большой научный и практический интерес исследования наполнения эластомеров углеродными нанотрубками с целью разработки перспективного нанокомпозита для восстановления корпусных деталей автомобилей. Исследовали влияние углеродных нанотрубок «Таунит-М» на деформационно-прочностные и адгезионные свойства эластомера Ф-40С. Деформационно-прочностные свойства не наполненного эластомера Ф-40С и композитов на его основе исследовали по методикам ГОСТ 14236-81 и ГОСТ 12423-66 с использованием оригинальной оснастки и образцов. Адгезию покрытий не наполненного эластомера Ф-40С и композитов на его основе оценивали прочностью связи покрытия с металлической подложкой при отслаивании образцов по методике ГОСТ 21981-76. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50. По результатам исследований определен оптимальный состав нанокомпозита эластомера Ф-40С: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч. Новый нанокомпозит, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, имеет более высокие потребительские свойства: прочность материала увеличилась на 32%, деформация – 1,66 раза, адгезия – 30%. Удельная работа разрушения увеличилась на 82%, что свидетельствует о более высокой выносливости материала и создает условия для повышения долговечности восстановленных посадок подшипников. Увеличение модуля упругости нанокомпозита в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С на 59%, позволит уменьшить податливость восстановленной опоры при радиальном нагружении подшипника, исключить смещение осей подшипника относительно оси отверстия, увеличить предельно допустимую толщину полимерного покрытия при восстановлении корпусных деталей. Разработан перспективный эластомерный нанокомпозит для восстановления корпусных деталей автотракторной техники.*

Ключевые слова: *эластомер, углеродные нанотрубки, нанокомпозит, деформационно-прочностные и адгезионные свойства, корпусная деталь, восстановление.*

PROMISING POLYMER NANOCOMPOSITE FOR RESTORATION WORN-OUT BODY PARTS VEHICLES

[1]***Li Roman***
[2]***Psarev Dmitry***
[3]***Kiba Maria***
[1]***Melnikov Anton***

[1]FSBEI HE "Lipetsk State Technical University"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
[3]FSBEI HE "St. Petersburg State University of Architecture and Construction"

Abstract. *Recovery methods with polymer materials significantly increase post-repair life of housing parts, bearing units, shafts and gears. Research into the filling of elastomers with carbon nanotubes is of great scientific and practical interest in order to develop a promising nanocomposite for the restoration of body parts of cars. The effect of Taunit-M carbon nanotubes on the strain-strength and adhesion properties of the elastomer F-40C was investigated. The strain-strength properties of the non-filled elastomer F-40C and composites based on it were investigated according to the methods GOST 14236-81 and GOST 12423-66 using original tooling and samples. Adhesion of coatings of non-filled elastomer of F-40C and composites based on it was evaluated by strength of coating bond with metal substrate at peeling of samples according to the procedure GOST 21981-76. Tests of samples were carried out on a break machine IR 5082-50. According to the results of the studies, the optimal composition of the elastomer nanocomposite F-40C was determined: elastomer F-40C - 100 parts by weight, carbon nanotubes "Taunit-M" - 0.1 parts by weight. The new nanocomposite, in comparison with the non-filled elastomer F-40C, has higher consumer properties: the strength of the material increased by 32%, deformation - 1.66 times, adhesion - 30%. The specific work of the fracture increased by 82%, which indicates a higher endurance of the material and creates conditions for improving the durability of the restored bearing fits. Increasing the modulus of elasticity of the nanocomposite in comparison with the non-filled elastomer F-40C by 59%, will reduce the compliance of the restored support with radial loading of the bearing, prevent displacement of the bearing axes relative to the hole axis, increase the maximum permissible thickness of the polymer coating when restoring the body parts. A promising elastomeric nanocomposite has been developed for the restoration of body parts of autotractor equipment.*

Keywords: *elastomer, carbon nanotubes, nanocomposite, deformation-strength and adhesion properties, body part, restoration.*

Введение. Корпусные детали представляют собой базисные, наиболее материалоемкие и дорогие детали. Долговечность корпусных деталей определяет ресурс агрегатов и надежность автомобиля в целом. Поэтому восстановление и упрочнение изношенных корпусных деталей позволяет значительно снизить затраты на ремонт и повысить надежность автомобильной техники. Основной причиной выбраковки корпусных деталей являются изношенные посадочные отверстия под подшипники качения. Для восстановления изношенных посадочных отверстий используют различные способы восстановления: нанесение гальванических покрытий, электроконтактную приварку стальной ленты, электроискровое наращивание, различные способы наплавки и др. Эти способы имеют общие недостатки: сложность технологии и технологического оборудования, значительное энергопотребление, необходимость механической обработки отверстий после наращивания [1 – 4].

При восстановлении корпусных деталей полимерными материалами не используют сложное технологическое оборудование, не требуются высокая квалификация ремперсонала и большие затраты материалов и электроэнергии. Способы восстановления полимерными материалами значительно увеличивают послеремонтный ресурс корпусных деталей и подшипниковых узлов, валов и шестерен [5 – 10]. Перспективным направлением, в повышении эффективности восстановления корпусных деталей автомобилей, является применение полимерных композитов. Наполнение полимерной матрицы различными частицами органического и не органического происхождения существенно меняет в лучшую сторону механические и теплофизические свойства

материала, уменьшает стоимость материала и повышает эффективность технологии восстановления [11 – 13].

В настоящее время производители предлагают большой ассортимент наноразмерных частиц. Частицы получены из различных материалов и отличаются формой, размером и другими параметрами. Высокая удельная поверхность наночастиц, в сравнении с микроразмерными частицами, обеспечивает в единице объема полимерной матрицы существенно большее их количество. По этой причине более высокие потребительские свойства полимерных нанокомпозитов проявляются уже при очень низком содержании наночастиц (до 5%) [14].

Введение углеродных нанотрубок (УНТ) в термо- и реактопласты повышает деформационно-прочностные свойства [1, 15, 16]. Представляют большой научный и практический интерес исследования наполнения эластомеров УНТ с целью разработки перспективного эластомерного нанокомпозита для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автомобилей.

К полимерным материалам, используемым при восстановлении изношенных посадочных отверстий в корпусных деталях агрегатов трансмиссии автомобилей и тракторов, предъявляются специфические требования. Посадки подшипников в корпусных деталях автомобилей, восстановленные полимерным материалом, работают в особых условиях эксплуатации: знакопеременные динамические нагрузки, не установившийся режим, термоциклирование. Полимерное покрытие, как и подшипник при эксплуатации, подвергается радиальным, окружным и осевым нагрузкам. Поэтому полимерный материал должен обладать высокой прочностью и выносливостью. Чтобы обеспечить необходимую деформацию наружного кольца нагруженного подшипника и, соответственно снижение напряжений в зоне контакта нагруженных тел с дорожками качения, материал должен иметь высокие деформационные свойства. В тоже время модуль сжатия полимерного материала должен быть достаточно высоким, чтобы исключить малую податливость восстановленных опор и, соответственно, смещение осей подшипника относительно оси отверстия при нагружении [8, 10].

Покрытие, во избежание отслаивания при запрессовке подшипника в посадочное отверстие, должно иметь высокую адгезию к изношенной поверхности отверстия [5].

Цель работы – исследование влияния углеродных нанотрубок на деформационно-прочностные и адгезионные свойства эластомера Ф-40С, определение оптимального состава нанокомпозита, обеспечивающего необходимые механические свойства (Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20).

Материалы и методы. Деформационно-прочностные свойства пленок нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С оценивали прочностью пленок при одноосном растяжении σ_p, относительным удлинением ε_p и удельной работой деформации при разрыве пленок α_p [17].

В качестве образцов использовали пленки прямоугольной формы размерами: $50 \times 10 \times 0{,}15$ мм. Расчетная длина образца составляла 30 мм. Подложку для формирования пленок изготовили из фторопласта-4 в виде пластины размерами: $200 \times 160 \times 4$ мм. Для получения пленок необходимой формы и геометрических размеров использовали рамку-трафарет, которую изготовили из стали 3. Габаритные размеры рамки: $180 \times 140 \times 0{,}8$ мм. Рамка имеет шесть окон, размеры которых составляют: 60×15 мм.

Рамку-трафарет наложили на подложку и заполнили ее окна раствором полимерного материала, нанося послойно покрытие волосяной кистью № 5. После заполнения окон рамки-трафарета раствором полимерного материала, поверхность последнего формовали фторопластовой крышкой, для придания равнотолщинности полимерным покрытиям. Образцы подвергали термической обработке при температуре 150 °С в течение 3 ч в шкафу сушильном СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3. По завершении отверждения образцы кондиционировали при комнатной температуре в течение 16 ч [18]. Предельное отклонение размеров образцов по длине и ширине не превышало ±0,1 мм.

Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50 с постоянной скоростью нагружения 50 мм/мин. Исследования проводили с одновременной записью диаграммы «нагрузка-деформация». Масштабы измерений: нагрузки М:1мм = 1,6 Н; деформации М1:1.

Работу деформации при растяжении образцов A определили измерением площади ограниченной кривой «нагрузка – деформация» и осью абсцисс на диаграмме. Удельную работу разрушения образцов α_p рассчитали делением величины A на объем полимерной пленки $V = 180 \times 10^9$ м^3.

Модуль упругости при сжатии пленок полимерного материала определяли по ГОСТ 9550-81 как отношение приращения напряжения к соответствующему приращению относительного сжатия [19]. Равномерность нагружения образцов при сжатии обеспечивало специальное приспособление, которое изготовили из стали 40Х (рисунок 1).

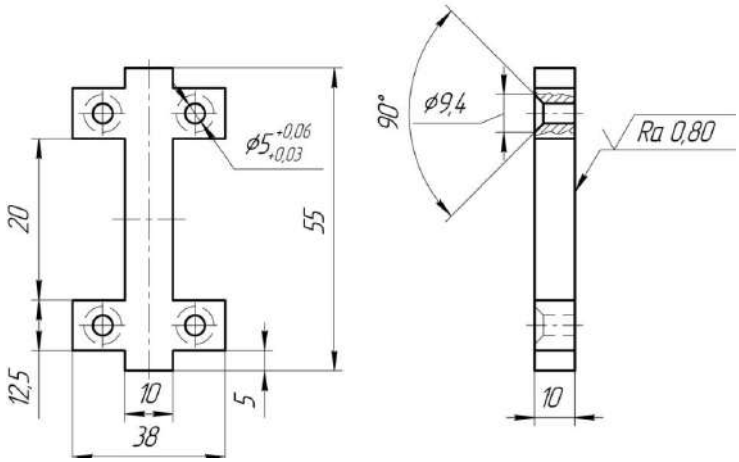
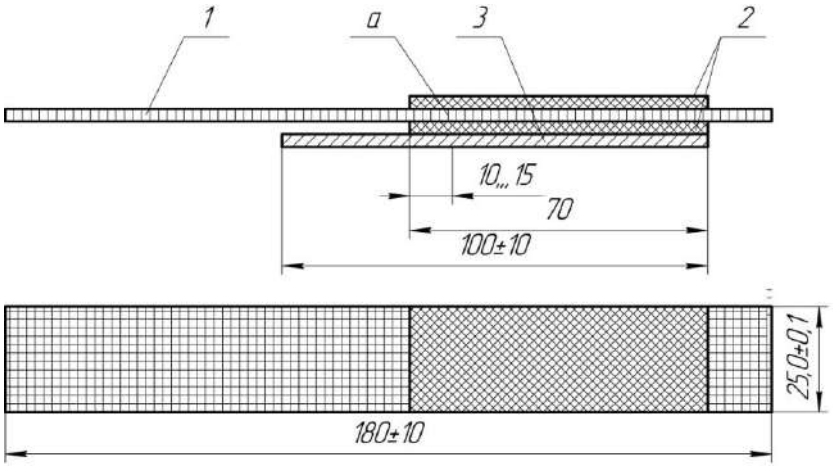


Рисунок 1 – Приспособление для равномерного нагружения полимерных пленок при испытаниях на сжатие

Адгезию полимерных покрытий исследовали по ГОСТ 21981-76 [20]. Оценочным параметром адгезии использовали прочность связи *F* покрытия с металлической подложкой при отслаивании образцов. Подложка представляла собой пластину из стали 45 размерами: $100 \times 25 \times 3$ мм. Шероховатость поверхности пластины после механической обработки Ra 0,63. Первоначально, волосяной кистью № 5, на поверхность пластины наносили послойно покрытие из раствора полимерного материала. Затем на покрытие уложили железную сетку № 7 (ГОСТ 3826-82). В завершении на уложенную сетку послойно нанесли покрытие из раствора полимерного материала (рисунок 2). Расчетная длина соединения сетки с пластиной посредством полимерного материала составляла 70 мм. Образцы подвергали термической обработке по режиму описанному ранее. Далее образцы кондиционировали в течение 16 ч при комнатной температуре 23°С [18]. Испытания образцов проводили на разрывной машине ИР 5082-50.



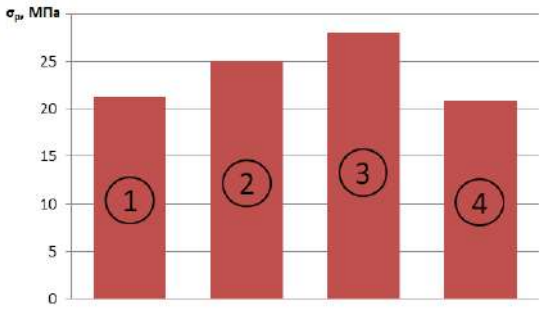
1 – сетка металлическая; 2 – покрытие эластомера Ф-40С;
3 – металлическая пластина *a* – место подреза
Рисунок 2 – Образец для исследования адгезии полимерных материалов

Результаты исследования. В результате проведенных экспериментальных исследований получены зависимости деформационно-прочностных и адгезионных свойств нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С от концентрации углеродных нанотрубок «Таунит-М».

Исследованиями установлено, что прочность пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $\sigma_р$ = 21,23 МПа (рисунок 3). С увеличением содержания наполнителя прочность пленок нанокомпозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. прочность пленок при одноосном растяжении составляет $\sigma_р$ = 25,02 МПа. В сравнении с не наполненным эластомером прочность увеличилась на 18 %.

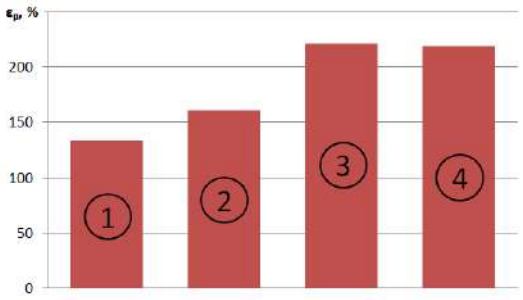
Пленки имеют максимальную прочность $\sigma_р$ = 28,05 МПа при концентрации наполнителя $K = 0{,}1$ масс.ч.

В сравнении с на наполненным эластомером прочность увеличилась на 32%, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. – 12 %. С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0{,}125$ масс.ч. прочность достигает минимального, в исследуемом интервале, значения $\sigma_р$ = 20,83 МПа. Снижение прочности составляет 20 и 35 % соответственно, в сравнении с пленками, содержащими наполнитель в концентрации $K = 0{,}075$ масс.ч. и $K = 0{,}1$ масс.ч., и 2 % – пленками не наполненного эластомера. Деформация пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $\varepsilon_р = 133$ % (рисунок 4).



1 – не наполненный эластомер Ф-40С;
2 – нанокомпозит с $K = 0{,}075$ масс.ч.;
3 – нанокомпозит с $K = 0{,}1$ масс.ч.;
4 – нанокомпозит с $K = 0{,}125$ масс.ч.

Рисунок 3 – Зависимость прочности пленок $\sigma_р$ от концентрации УНТ в эластомерном нанокомпозите *K*



1 – не наполненный эластомер Ф-40С;
2 – нанокомпозит с $K = 0{,}075$ масс.ч.;
3 – нанокомпозит с $K = 0{,}1$ масс.ч.;
4 – нанокомпозит с $K = 0{,}125$ масс.ч.

Рисунок 4 – Зависимость деформации пленок $\varepsilon_р$ от концентрации УНТ в эластомерном нанокомпозите *K*

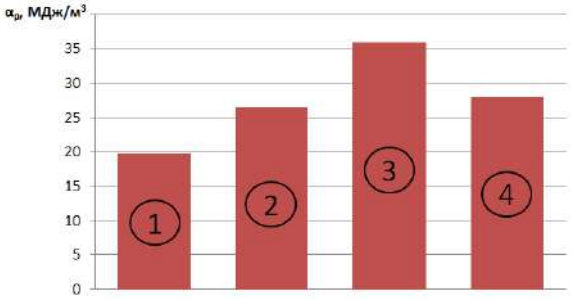
С увеличением содержания наполнителя деформация пленок нанокомпозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. деформация пленок при одноосном растяжении составляет ε = 161 %. В сравнении с не наполненным эластомером деформация увеличилась в 1,21 раза. Пленки имеют максимальные деформационные свойства ε = 221 % при концентрации наполнителя $K = 0{,}1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером деформация увеличилась в 1,66 раза, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. – 1,37 раза. С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0{,}125$ масс.ч. деформация уменьшается до значения $\varepsilon = 219$ %. В сравнении с максимальным значением уменьшение деформации составляет 2 %.

Удельная работа деформации разрыва является оценочным параметром выносливости материала при циклическом нагружении. Чем больше величина $\alpha_р$, тем выше выносливость [18]. На рисунке 5. показана зависимость удельной работы разрушения пленок $\alpha_р$ от содержания УНТ в эластомерном нанокомпозите *K*. Удельная работа разрушения пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $\alpha_р$ = 19,7 МДж/м^3. С увеличением содержания наполнителя удельная работа разрушения пленок нанокомпозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя

$K = 0{,}075$ масс.ч. величина $\alpha_р$ для пленок составляет $26{,}51$ МДж/м^3. В сравнении с не наполненным эластомером величина $\alpha_р$ увеличилась на 35 %. Пленки имеют максимальную удельную работу разрушения $\alpha_р$ = 35,88 МДж/м^3 при концентрации наполнителя $K = 0{,}1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером величина $\alpha_р$ увеличилась на 82 %, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. – 36 %.

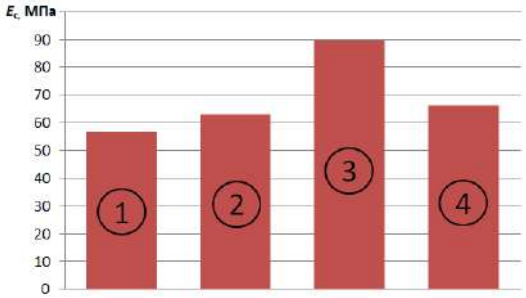
С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0{,}125$ масс.ч. величина $\alpha_р$ уменьшается до значения $\alpha_р$ = 27,93 МДж/м^3. В сравнении с максимальным значением уменьшение удельной работы разрушения составляет 28 %.

Поэтому наиболее высокую выносливость будет иметь нанокомпозит с концентрацией УНТ – 0,1 масс.ч. На рисунке 6 показана зависимость модуля упругости при сжатии пленок $E_с$ от содержания УНТ в эластомерном нанокомпозите *K*.



1 – не наполненный эластомер Ф-40С;
2 – нанокомпозит с $K = 0{,}075$ масс.ч.;
3 – нанокомпозит с $K = 0{,}1$ масс.ч.;
4 – нанокомпозит с $K = 0{,}125$ масс.ч.

Рисунок 5 – Зависимость удельной работы разрушения пленок $\alpha_р$ от концентрации УНТ в эластомерном нанокомпозите *K*



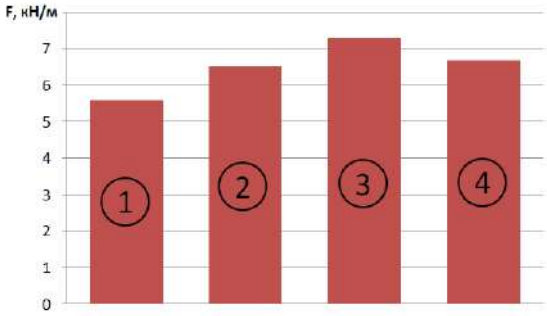
: 1 – не наполненный эластомер Ф-40С;
2 – нанокомпозит с $K = 0{,}075$ масс.ч.;
3 – нанокомпозит с $K = 0{,}1$ масс.ч.;
4 – нанокомпозит с $K = 0{,}125$ масс.ч.

Рисунок 6 – Зависимость модуля упругости при сжатии пленок $E_с$ от содержания УНТ в эластомерном нанокомпозите *K*

Модуль упругости при сжатии пленок не наполненного эластомера Ф-40С составляет $E_с = 56{,}37$ МПа. С увеличением содержания наполнителя модуль упругости пленок нанокомпозита изменяется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. модуль упругости пленок составляет $E_с = 63$ МПа. В сравнении с не наполненным эластомером модуль упругости увеличился на 12 %. Пленки имеют максимальное значение модуля упругости $E_с = 89{,}64$ МПа при концентрации наполнителя $K = 0{,}1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером модуль упругости увеличился на 59 %, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. – 42 %. С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до $K = 0{,}125$ масс.ч. модуль упругости уменьшается до значения $E_с = 66{,}41$ МПа. В сравнении с максимальным значением уменьшение модуля упругости составляет 35 %.

На завершающем этапе исследовали адгезию покрытий не наполненного эластомера Ф-40С и нанокомпозитов на его основе (рисунок 7). Показатель прочности связи (адгезия) покрытий не наполненного эластомера Ф-40С с подложкой при отслаиваниий составляет $F = 5{,}6$ кН/м.

С увеличением содержания наполнителя адгезия меняется. При минимальной концентрации наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. адгезия покрытий составляет $F = 6{,}5$ кН/м. В сравнении с не наполненным эластомером адгезия увеличилась на 16 %. Покрытия имеют максимальную адгезию $F = 7{,}3$ кН/м при концентрации наполнителя $K = 0{,}1$ масс.ч. В сравнении с не наполненным эластомером адгезия увеличилась на 30 %, композитом с концентрацией наполнителя $K = 0{,}075$ масс.ч. – 12 %.



1 – не наполненный эластомер Ф-40С; 2 – нанокомпозит с $K = 0{,}075$ масс.ч.;
3 – нанокомпозит с $K = 0{,}1$ масс.ч.; 4 – нанокомпозит с $K = 0{,}125$ масс.ч.

Рисунок 7 – Адгезия покрытий F эластомера Ф-40С
и нанокомпозитов на его основе с концентрацией наполнителя *K*

С дальнейшим увеличением концентрации наполнителя до *K* = 0,125 масс. ч адгезия уменьшается до значения *F* = 6,7 кН/м. В сравнении с максимальным значением адгезия уменьшилась на 9 %.

Исходя из вышеизложенного, наиболее высокие деформацинно-прочностные и адгезионные свойства, а также выносливость имеет следующий состав нанокомпозита: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч.

Выводы. 1. Разработан перспективный эластомерный нанокомпозит для восстановления корпусных деталей автотракторной техники. Определен оптимальный состав нанокомпозита эластомера Ф-40С: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., углеродные нанотрубки «Таунит-М» – 0,1 масс.ч.

2. Новый нанокомпозит, в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С, имеет более высокие потребительские свойства: прочность материала увеличилась на 32%, деформация – 1,66 раза, адгезия – 30%. Удельная работа разрушения увеличилась на 82%, что свидетельствует о более высокой выносливости материала и создает условия для повышения долговечности восстановленных посадок подшипников.

3. Увеличение модуля упругости нанокомпозита в сравнении с не наполненным эластомером Ф-40С на 59%, позволит уменьшить податливость восстановленной опоры при радиальном нагружении подшипника, исключить смещение осей подшипника относительно оси отверстия, увеличить предельно допустимую толщину полимерного покрытия при восстановлении корпусных деталей.

4. Необходимы дальнейшие всесторонние исследования нового эластомерного нанокомпозита с целью разработки оригинальной технологии восстановления изношенных корпусных деталей автомобилей.

Список литературы

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

2. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома / Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – №3 (32). – С. 49-54.

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

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

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

6. Ли Р.И. Условия формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали // Клеи. Герметики. Технологии – 2015. – №4. – С. 33-38.

7. Li R. I., Kiba M. R. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – Vol. 9, No. 2. – Pp. 161–164.

8. Машин Д. В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники композицией на основе эластомера Ф – 40С: дис. ... канд. техн. наук / Машин Д. В. – Мичуринск, 2013. – 149 с.

9. Колесников А. А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Колесников А. А. – Орел, 2017. – 179 с.

10. Мироненко А. В. Повышение долговечности роликоподшипниковых узлов в корпусных деталях автомобилей, восстановленных композицией адгезива АН-110: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Мироненко А. В. – Орел, 2017. – 179 с.

11. Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин / Ли Р.И., Псарев Д. Н., Мироненко А. В., Киба М. Р. // Клеи. Герметики. Технологии. – 2017. – № 5. – С. 34-37.

12. Li R. I., Psarev D. N., Kiba M. R. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12, No. 1. – Pp. 15-19.

13. Li R. I., Psarev D. N., Malyugin V. A. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. // Polymer Science, Series D. – 2019. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 261-265.

14. Малюгин В. А. Восстановление посадок подшипников качения автомобилей нанокомпозитом на основе анаэробного герметика АН-111: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Малюгин В. А. – Мичуринск, 2019. – 169 с.

15. Углеродный наноматериал "Таунит" // Нанометр. – Режим доступа: URL: http://www.nanometer.ru/2009/09/25/taunit_157057.html.

16. Полимерные нанокомпозиты: многообразие структурных форм и приложений / А.К. Микитаев, Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков; Ин-т биохим. физики им. Н.М. Эмануэля РАН. – М.: Наука, 2009. – 278 с.

17. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

18. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб). – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

19. ГОСТ 9550-81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе (проб). – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.

20. ГОСТ 21981-76. Метод определения прочности связи с металлом при отслаивании (проб). – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 7 с.

References

1. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Povyshenie stojkosti polimernyh kompozitov holodnogo otverzhdeniya k vozdejstviyu rabochih zhidkostej ispol'zovaniem nanomaterialov // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2015. – № 1. – S. 89–94.

2. Intensifikaciya vosstanovleniya detalej sel'hozmashin dispersno-uprochnennym kompozitnym pokrytiem na osnove hroma / ZHachkin S.YU., Pen'kov N.A., Mandrykin I.A., Belencov V.G. // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – 2019. – №3 (32). – S. 49-54.

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

4. Li R.I. Tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detalej avtotraktornoj tekhniki. – Lipeck : Izd-vo LGTU, 2014. – 379 s.

5. Li R. I. Polimernye kompozicionnye materialy dlya fiksacii podshipnikov kacheniya v uzlah mashin monografiya. – Lipeck: Izd-vo Lipeckogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2017. − 224 s.

6. Li R.I. Usloviya formirovaniya ravnomernogo polimernogo pokrytiya na naruzhnoj poverhnosti vrashchayushchejsya cilindricheskoj detali // Klei. Germetiki. Tekhnologii – 2015. – №4. – S. 33-38.

7. Li R. I., Kiba M. R. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2016. – Vol. 9, No. 2. – Pp. 161–164.

8. Mashin D. V. Povyshenie effektivnosti vosstanovleniya posadochnyh otverstij v korpusnyh detalyah sel'skohozyajstvennoj tekhniki kompoziciej na osnove elastomera F – 40S: dis. ... kand. tekhn. nauk / Mashin D. V. – Michurinsk, 2013. – 149 s.

9. Kolesnikov A. A. Povyshenie kachestva vosstanovleniya korpusnyh detalej avtomobilej polimernymi kompozicionnymi materialami posle ul'trazvukovoj obrabotki: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10: / Kolesnikov A. A. – Orel, 2017. – 179 s.

10. Mironenko A. V. Povyshenie dolgovechnosti rolikopodshipnikovyh uzlov v korpusnyh detalyah avtomobilej, vosstanovlennyh kompoziciej adgeziva AN-110: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10: / Mironenko A. V. – Orel, 2017. – 179 s.

11. Perspektivnyj polimernyj material dlya vosstanovleniya korpusnyh detalej mashin / Li R.I., Psarev D. N., Mironenko A. V., Kiba M. R. // Klei. Germetiki. Tekhnologii. – 2017. – № 5. – S. 34-37.

12. Li R. I., Psarev D. N., Kiba M. R. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition // Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials. – 2019. – Vol. 12, No. 1. – Pp. 15-19.

13. Li R. I., Psarev D. N., Malyugin V. A. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. // Polymer Science, Series D. – 2019. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 261-265.

14. Malyugin V. A. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kacheniya avtomobilej nanokompozitom na osnove anaerobnogo germetika AN-111: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03: / Malyugin V. A. – Michurinsk, 2019. – 169 s.

15. Uglerodnyj nanomaterial "Taunit" // Nanometr. – Rezhim dostupa: URL: http://www.nanometer.ru/2009/09/25/taunit_157057.html.

16. Polimernye nanokompozity: mnogoobrazie strukturnyh form i prilozhenij / A.K. Mikitaev, G.V. Kozlov, G.E. Zaikov; In-t biohim. fiziki im. N.M. Emanuelya RAN. – M.: Nauka, 2009. – 278 s.

17. GOST 14236-81. Plenki polimernye. Metod ispytaniya na rastyazhenie. – M.: Izd-vo standartov, 1982. – 10 s.

18. GOST 12423-66. Plastmassy. Usloviya kondicionirovaniya i ispytaniya obrazcov (prob). – M.: Izd-vo standartov, 1989. – 6 s.

19. GOST 9550-81. Plastmassy. Metody opredeleniya modulya uprugosti pri rastyazhenii, szhatii i izgibe (prob). – M.: Izd-vo standartov, 1981. – 7 s.

20. GOST 21981-76. Metod opredeleniya prochnosti svyazi s metallom pri otslaivanii (prob). – M.: Izd-vo standartov, 1976. – 7 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

Киба Мария Романовна – старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: damsel_91@mail.ru.

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

Author credentials

Affiliations

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

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

Kiba Maria – senior lecturer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State University of Architecture and Construction”, Russia, St. Petersburg, e-mail: loseroff@mail.ru.

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

Поступила в редакцию (Received): 28.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 07.06.2021

УДК 631.173: 66.063.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-96-107

РЕАКТОР-СМЕСИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОНСЕРВАЦИОННЫХ СОСТАВОВ В УСЛОВИЯХ АПК

[1]***Петрашев Александр Иванович***
[1]***Клепиков Виктор Валерьевич***
[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»*

Реферат. *Известно, что для эффективной защиты от коррозии аграрной техники необходимы доступные и качественные консервационные составы. Для их производства в условиях агропромышленного комплекса разрабатывается малогабаритный реактор-смеситель. Он предназначен для выполнения функций нагрева и смешивания термопластичных и тугоплавких компонентов с высококипящими растворителями. Обоснована функциональная схема реактора-смесителя с обогреваемым резервуаром, имеющим масляную рубашку для теплоносителя и рамную мешалку с нижним приводом через обсадную трубу. Получено уравнение затрат мощности на привод рамной мешалки при перемешивании твердых и жидких компонентов. Доказана возможность рекуперации остаточной теплоты, накопленной в теплоносителе и резервуаре после окончания цикла приготовления консервационного состава. Расчеты показали, что благодаря быстрой загрузке реактора-смесителя новой порции компонентов рекуперация остаточной теплоты может дать экономию до 37 % потребляемой энергии. Разработана конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец реактора-смесителя. В процессе экспериментальных исследований оптимизирован техпроцесс приготовления ингибированного битумного состава МЭБ-4 за счет рекуперации остаточной теплоты, дифференцированной загрузки, нагрева и перемешивания компонентов в реакторе-смесителе. В результате длительность процесса приготовления составов снизилась с 4-х до 2-х часов, а энергоемкость – в 1,7 раза.*

Ключевые слова: *консервационный состав, рамная мешалка, мощность привода, рекуперация теплоты, дифференцированная загрузка.*

REACTOR-MIXER FOR PRODUCTIONPROTECTIVE COMPOSITIONS IN THE CONDITIONS OF AGROINDUSTRIAL COMPLEX

[1]***Petrashev Alexandr***
[1]***Klepikov Viktor***
[1]*FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"*

Abstract. *It is known that affordable and high-quality preservatives are necessary for effective corrosion protection of agricultural machinery. A small-sized reactor-mixer is being developed for their production in the conditions of the agro-industrial complex. It is designed to perform the functions of heating and mixing thermoplastic and refractory components with high boiling solvents. The functional diagram of the reactor-mixer with a heated tank having an oil jacket for the coolant and a frame mixer with a bottom drive through a casing is substantiated. The equation of power consumption for the drive of a frame mixer with mixing of solid and liquid components is obtained. The possibility of recuperating the residual heat accumulated in the coolant and the reservoir after the end of the preparation cycle of the conservation composition has been proven. Calculations have shown that the recovery of residual heat can save up to 37% of the consumed energy, due to the fast loading of the reactor-mixer with a new portion of the components. Design documentation has been developed and an experimental sample of the reactor-mixer has been manufactured. The technological process of preparing the inhibited bitumen composition MEA-4 due to the recuperation of residual heat, differential loading, heating and mixing of the components in the mixing reactor was optimized in the process of experimental research. The duration of the preparation process of the formulations decreased from 4 to 2 hours, and the energy intensity - 1.7 times as a result.*

Keywords: *conservation composition, frame mixer, drive power, heat recovery, differentiated loading.*

Введение. Каждое сельхозпредприятие или фермерское хозяйство имеет машинно-тракторный парк, структуру и загрузку которого определяет специфика возделываемых сельскохозяйственных культур [1]. Интенсивное использование техники по назначению приходится на весенне-летне-осенний сезон, при этом многие машины работают всего 1 – 2 месяца в году. Для того чтобы поддерживать высокую готовность таких машин к работе, их необходимо не только заблаговременно ремонтировать, но и защищать от коррозии на период технологического простоя. В связи с тем, что специалисты хозяйств для защиты техники широко используют недостаточно эффективные, но более дешевые консервационные составы кустарного приготовления [2], актуальна разработка технических средств для малотоннажного производства составов более высокого качества [3].

Участкам для малотоннажного производства консервационных составов, организуемым на предприятиях АПК, необходим малогабаритный и надежный в работе реактор-смеситель [4]. В реактор-смеситель, содержащий резервуар и мешалку, в соответствии с рецептурой консервационного состава могут загружаться жидкие, термопластичные и тугоплавкие компоненты. Для того чтобы получить однородный консервационный состав, эти компоненты необходимо перевести в жидкое состояние и тщательно перемешать [5, 6]. Разжижить термопластичный компонент, например, кубовые амины (КА) можно нагревом, а тугоплавкий компонент битум, необходимо греть и длительно перемешивать вместе с высококипящим растворителем [7]. В качестве высококипящего растворителя подходит уайт-спирит (температура начала кипения – 150 ºС) или дизельное топливо (температура выкипания 180-360 ºС).

Затраты мощности на привод перемешивающего устройства. На длительность смешивания компонентов, в основном, влияют диаметры резервуара – D и лопастей мешалки – d, частота вращения лопастей – $n_м$. В работе [8] предложена формула для определения длительности $t_п$ смешивания:

$$t_п = \frac{k_м}{n_м}\left(\frac{D}{d}\right)^2, \quad (1)$$

где $k_м$ - коэффициент, учитывающий тип мешалки.

Как видно из формулы, увеличение частоты вращения $n_м$ лопастей мешалки снижает длительность процесса смешивания. При этом возрастают затраты мощности N на ее привод [9]:

$$N = K_м n_м^2 d^3 \eta, \quad (2)$$

где $K_м$ – коэффициент, постоянный для данной мешалки; η – динамическая вязкость разжиженных компонентов.

Из формулы (2) определим частоту вращения лопастей мешалки:

$$n_м = \left(\frac{N}{K_м d^3 \eta}\right)^{0,5}.$$

Подставим полученное выражение в формулу (1), и, сократив избыточные величины, выявим тенденцию влияния динамической вязкости η разжиженных компонентов и мощности N привода мешалки на длительность $t_п$ процесса смешивания:

$$t_п \sim \left(\frac{\eta}{N}\right)^{0,5}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что благодаря нагреву и снижению вязкости смеси можно уменьшить затраты мощности на привод мешалки, не повлияв на длительность процесса смешивания.

Затраты мощности на привод мешалки зависят не только от вязкости и частоты вращения, но и от типа ее конструкции, параметров лопастей и резервуара, наличия перегородок и отбойных устройств [10]. Так как процесс перемешивания компонентов консервационных составов протекает достаточно длительно, сопровождаясь их плавлением и растворением, то реактор-смеситель уместно оснастить тихоходной рамной мешалкой усиленной конструкции. Рамными мешалками перемешивают вязкие компоненты и интенсифицируют теплоперенос в перемешиваемой среде при нагреве [11].

На рисунке 1 показана расчетная схема рамной мешалки, состоящей из резервуара, приводного вала с тремя парами горизонтальных лопастей и двумя вертикальными лопастями. На схеме: h – ширина лопасти; R – длина горизонтальной лопасти (радиус мешалки); L – длина вертикальной лопасти, δ – зазор между резервуаром и лопастями; r – расстояние от оси до элементарного кольца; dr – ширина элементарного кольца.

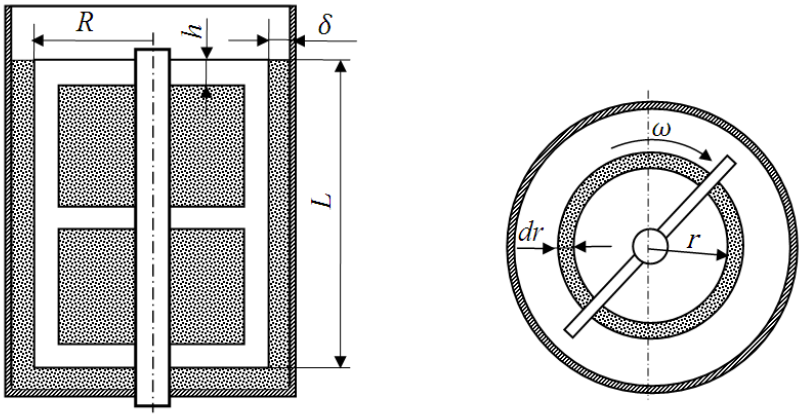


Рисунок 1 – Расчетная схема рамной мешалки

Расчет мощности на привод рамной мешалки проведем для условия наибольшей нагрузки, которая возникает в начале работы, когда мешалка начинает вращать массу не расплавленных и не растворенных компонентов. Они трутся о корпус резервуара, нагружая мешалку. Для получения расчетной формулы определим момент M сил трения, действующих на лопасти мешалки со стороны корпуса резервуара:

$$M = M_1 + M_2, \tag{4}$$

где M_1 и M_2 – моменты сил трения со стороны стенки и дна резервуара.

Рассмотрим случай, когда уровень загрузки резервуара равен высоте вертикальной лопасти, а весь объем компонентов первоначально вращается как монолит. При этом частота вращения монолита равна частоте n (об/мин) вращения лопастей.

Момент от силы трения перемешиваемой среды о стенку резервуара, воспринимаемый вертикальными лопастями мешалки:

$$M_1 = F_1 \cdot R, \tag{5}$$

где F_1 – сила трения перемешиваемой среды о стенку резервуара, Н.

Силу трения перемешиваемой среды о стенку резервуара определим по формуле [12]:

$$F_1 = \eta \frac{u \cdot S}{\delta} = 2\pi R^2 \frac{L}{\delta} \omega\eta, \tag{6}$$

где η – динамическая вязкость перемешиваемой среды, Па·с; ω - угловая скорость вращения мешалки, $\omega = 2\pi n/60$, с$^{-1}$; u – линейная скорость у конца лопасти, $u = \omega R$, м/с; S – площадь трения перемешиваемой среды о стенку резервуара, $S \approx 2\pi RL$, м^2.

Подставив выражение (6) в (5), получим момент:

$$M_1 = 2\pi R^3 \frac{L}{\delta} \omega\eta. \tag{7}$$

Для того чтобы определить момент от силы трения перемешиваемой среды по дну резервуара, выделим на расстоянии r от оси мешалки элементарное кольцо шириной dr. Площадь элементарного кольца:

$$dS = 2\pi r \cdot dr.$$

Элементарный момент dM_2 от силы трения перемешиваемой среды по дну резервуара, воспринимаемый нижней лопастью мешалки на элементарном кольце:

$$dM_2 = dF_2 \cdot r, \tag{8}$$

где dF_2 – сила трения перемешиваемой среды в пределах элементарного кольца.

Сила трения перемешиваемой среды, воздействующая на нижние лопасти со стороны элементарного кольца, определяется по аналогии с формулой (6):

$$dF_1 = 2\pi \frac{r^2 dr}{\delta} \omega\eta. \tag{9}$$

Подставив выражение (9) в (8), получим элементарный момент:

$$dM_2 = 2\pi \frac{r^3 dr}{\delta} \omega\eta. \quad (10)$$

Для определения момента M_2 от силы трения по всей площади дна, проинтегрируем выражение (10) в интервале от 0 до R:

$$M_2 = \int_0^{M_2} dM_2 = \frac{2\pi\omega\eta}{\delta} \int_0^R r^3 dr = \omega\eta \frac{\pi R^4}{2\delta}. \quad (11)$$

Суммируя моменты M_1 и M_2 по формуле (4), получим момент M сил вязкого трения, действующий на лопасти вращающейся мешалки со стороны стенки и дна резервуара:

$$M = \omega\eta\pi R^3 \frac{(4L + R)}{2\delta}.$$

Мощность N привода, необходимая для вращения рамной мешалки в начале работы:

$$N = M\omega = \omega^2\eta\pi R^3 \frac{(4L + R)}{2\delta}. \quad (12)$$

В работе [13] предложено обобщенное уравнение мощности для ламинарного режима перемешивания, который характерен для перемешивания вязких сред:

$$N_{\text{лам}} = C\eta\omega^2 R^3. \quad (13)$$

где C – безразмерный коэффициент, учитывающий геометрические соотношения размеров корпуса аппарата и перемешивающего устройства.

Значение коэффициента С зависит от типа и конструкции аппарата. Обобщенное уравнение (13) идентично уравнению (2) и согласуется с нашим частным уравнением (12) для реактора-смесителя с рамной мешалкой, в котором безразмерный коэффициент C равен:

$$C = \pi \frac{(4L + R)}{2\delta}.$$

При разработке реактора-смесителя для участка по малотоннажному производству консервационного состава приняты следующие конструкционные параметры: вместимость резервуара 65 л; длина горизонтальной лопасти рамной мешалки R = 0,22 м; длина вертикальной лопасти $L_л$ = 0,4 м; зазор δ = 0,004 м; частота вращения мешалки n = 20 об/мин (ω = 2,1 с$^{-1}$). Вязкость перемешиваемых компонентов η = 8 Па·с соответствует особо вязким средам, перемешиваемым рамными и якорными мешалками [11].

Устройство и принцип действия реактора-смесителя с нижним приводом мешалки. Расчет по формуле (12) дает величину затрат мощности N = 270 Вт на привод рамной мешалки реактора-смесителя. ГОСТ 20680-75 [14] на «Аппараты с механическими перемешивающими устройствами вертикальные» рекомендует мешалки в аппаратах объемом 0,063 м^3 оснащать приводом мощностью от 0,75 до 1,5 кВт. Привод предлагается размещать вверху, на крышке.

Верхнее размещение привода сопряжено с дополнительными металлозатратами на усиление корпуса и крышки аппарата, с ограничением пространства для заправки смесителя компонентами, контроля и обслуживания, особенно, на резервуарах небольшой вместимости [15]. Проведенный анализ известных технических решений привода мешалок позволил выбрать вариант с нижним размещением привода и передачей вращения в трубе, прикрепленной к дну аппарата [16]. При этом верхний срез трубы находится выше уровня заправки резервуара, что исключает утечки компонентов вдоль приводного вала. Функциональная схема реактора-смесителя с нижним размещением привода показана на рисунке 2.

Основные узлы реактора-смесителя: корпус, мешалка и привод. Мешалка содержит осевую трубу 8, к которой присоединены три пары горизонтальных лопастей 7. С ними связаны две вертикальные лопасти 6, размещенные вблизи стенки реактора-смесителя. Благодаря распоркам 13, соединяющим концы горизонтальных лопастей 7 с осевой трубой 8, конструкция мешалки существенно усилена. Корпус реактора-смесителя состоит из внутреннего 11 и внешнего 10 резервуаров разного диаметра, установленных друг в друга и сваренных вверху. Между резервуарами имеется зазор по бокам и снизу, образующий масляную рубашку для теплоносителя. На дне внутреннего резервуара закреплены две отбойные пластины 12, предназначенные для обдирания размягченных слоев с кусков компонентов в процессе вращения мешалки.

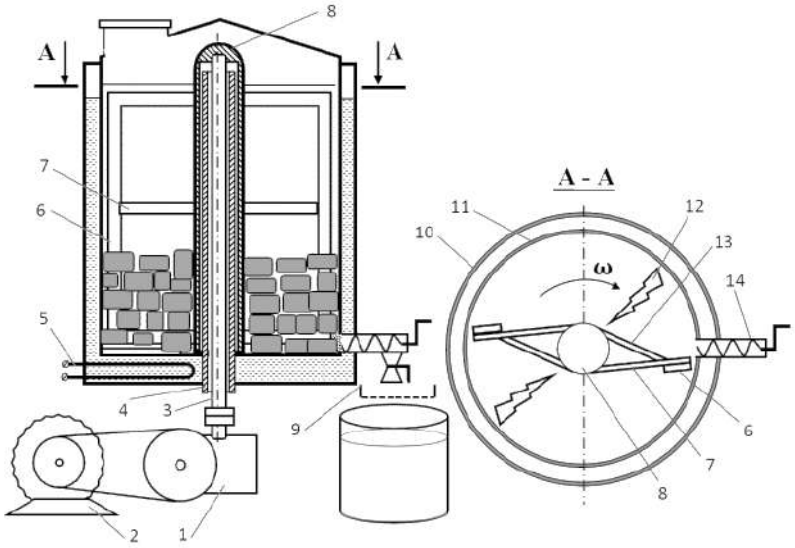


Рисунок 2 – Функциональная схема реактора-смесителя
для приготовления консервационного состава

По центру резервуаров, в их доньях, выполнены отверстия, соосные друг другу. Сквозь отверстия пропущена обсадная труба 4, которая сварена с доньями резервуаров. Верхний конец обсадной трубы 4 поднят над уровнем максимальной загрузки внутреннего резервуара 11. Обсадная труба 4 предотвращает утечки теплоносителя из рубашки и состава из резервуара 11 в процессе нагрева и перемешивания компонентов. Внутри обсадной трубы 4 проходит приводной вал 3, который в нижней части посредством муфты соединен с выходным валом червячного редуктора 1, а в верхней части – с осевой трубой 8 мешалки. Привод изготовлен из червячного редуктора 1 и электродвигателя 2, соединенных клиноременной передачей.

Масляная рубашка оснащена ТЭН 5 для нагрева теплоносителя – моторного масла. Патрубок 14 для слива приготовленного состава проходит сквозь масляную рубашку, оснащен краном и спиральным побудителем с рукоятью. Для приготовления консервационного состава в резервуар загружают требуемое количество твердых и жидких компонентов, включают ТЭН и мешалку. Управление работой ТЭН ведется с помощью автоматизированной системой нагрева. При достижении максимально заданной температуры ТЭН отключается, при понижении до минимально заданной температуры – включается.

Ввиду того что загруженные в резервуар твердые компоненты тяжелее растворителя, их куски находятся в придонном слое. Вращение рамной мешалки приводит к тому, что они увлекаются горизонтальными лопастями и начинают скользить по дну резервуара, соприкасаясь с отбойными пластинами. При таком соприкосновении с кусков сдирается размягченный слой компонента, который активнее вовлекается в процесс растворения.

Греют и перемешивают компоненты до получения консервационного состава, однородного по консистенции. Для слива готового состава из внутреннего резервуара, открывают кран, при необходимости вращают спиральный побудитель. Спиральный побудитель служит для извлечения из резервуара и патрубка нерастворенных включений (бумаги, кусков упаковки) в процессе слива готового состава. При этом состав вместе с нерастворенными включениями проходит по патрубку, через открытый кран вытекает на решетку 9, которая отфильтровывает нерастворенные включения. Пройдя сквозь решетку, состав поступает в приемную тару.

По завершении производственного цикла приготовления состава в реакторе-смесителе остается нагретый теплоноситель, теплоту которого необходимо полезно рекуперировать. Оценим, предварительно, возможную экономию энергии от рекуперации теплоты.

Рекуперация теплоты при использовании реактора-смесителя с масляной рубашкой. Определим затраты энергии на нагрев компонентов. Процесс нагрева компонентов состоит из 2-х

этапов: этапа разогрева и этапа подогрева. На этапе разогрева от ТЭН разогревается теплоноситель в масляной рубашке, внутренний и внешний резервуары. От стенок и дна внутреннего резервуара разогреваются загруженные компоненты. На этапе разогрева количество произведенной тепловой энергии зависит от мощности ТЭН и длительности его работы:

$$Q_р = N_{ТЭН} t_р, \quad (13)$$

где $Q_р$ – тепловая энергия, произведенная на этапе разогрева, Дж; $N_{ТЭН}$ – мощность ТЭН, Вт; $t_р$ – длительность работы ТЭН, с.

Произведенная энергия $Q_р$ затрачивается на нагрев теплопотребителей: теплоносителя, корпуса реактора-смесителя и компонентов:

$$Q_р = m_т c_т (T_т - T_о) + m_р c_р (T_р - T_о) + m_к c_к (T_к - T_о) + \Delta Q_р, \quad (14)$$

где $T_о$ – начальная температура теплопотребителей, °С; $m_т$, $c_т$ и $T_т$ – масса (кг), теплоемкость (Дж/кг·°С) и температура (°С) теплоносителя; $m_р$, $c_р$ и $T_р$ – масса, теплоемкость и температура разогрева корпуса реактора-смесителя; $m_к$, $c_к$ и $T_к$ - масса, теплоемкость и температура разогрева компонентов; $\Delta Q_р$ – потери тепловой энергии на этапе разогрева, Дж.

На этапе подогрева энергия $Q_п$, произведенная ТЭН, уходит на компенсацию тепловых потерь и поддержание температуры перемешиваемых компонентов. Затраты энергии зависят от длительности $\sum t_з$ включения ТЭН:

$$Q_з = N_э \sum t_з.$$

Слив приготовленного состава необходимо осуществлять в горячем (жидком) состоянии для более быстрого фильтрования. После проведения этого процесса нагретый теплоноситель и корпус реактора-смесителя содержат остаточную тепловую энергию $Q_{ос}$. При этом температура теплоносителя и корпуса реактора-смесителя выровняются до температуры $T_в$.

Определим остаточную тепловую энергию в реакторе-смесителе:

$$Q_{о.т} = (m_т c_т + m_р c_р)(T_в - T_о). \quad (15)$$

Для рекуперации остаточной тепловой энергии, освободившийся резервуар реактора-смесителя необходимо без промедления загрузить новой порцией компонентов. Эта порция получит часть остаточной теплоты и нагреется до температуры $T_п$, а теплоноситель и корпус реактора-смесителя охладятся до этой же температуры $T_п$.

Следовательно, остаточная тепловая энергия $Q_{о.т}$ распределится между теплоносителем, корпусом и компонентами:

$$Q_{о.т} = (m_т c_т + m_р c_р + m_к c_к)(T_п - T_о). \quad (16)$$

Температуру $T_п$ нагрева компонентов остаточной теплотой можно определить из условия равенства уравнений (15) и (16):

$$T_п = \frac{(m_т c_т + m_р c_р) T_в + m_к c_к T_о}{m_т c_т + m_р c_р + m_к c_к}. \quad (18)$$

В качестве теплоносителя для реактора-смесителя можно использовать моторное масло с удельной теплоемкостью 1950 Дж/(кг·°С). Удельная теплоемкость твердых и жидких компонентов, являющихся продуктами нефтепереработки, примерно, такая же – 1700-2100 Дж/(кг·°С) [17], в среднем $c_т = c_к$ = 1900 Дж/(кг·°С). Выражая теплоемкость стального корпуса реактора-смесителя ($c_р$ = 460 Дж/(кг·°С)) через теплоемкость компонентов, получим, что $c_р = 0{,}24 c_к$.

Для массы компонентов ($m_к$) вдвое большей массы теплоносителя ($m_т$) и равной массе корпуса ($m_р$), массы теплоносителя и корпуса выразим через массу компонентов: $m_р = m_к$, $m_т = 0{,}5 m_к$. Принятые относительные значения масс и теплоемкостей введем в формулу (18):

$$T_к = \frac{(0{,}5 m_к c_к + m_к 0{,}24 c_к) T_в + m_к c_к T_о}{0{,}5 m_к c_к + m_к 0{,}24 c_к + m_к c_к} = \frac{0{,}74 T_в + T_о}{1{,}74} = 0{,}43 T_в + 0{,}57 T_о. \quad (19)$$

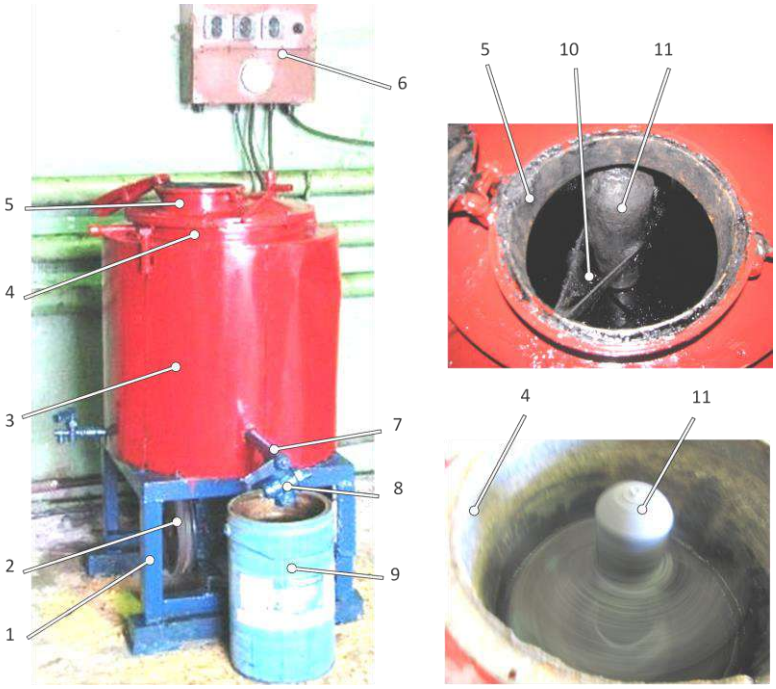
Рассмотрим вариант, когда температуры $T_о$ = 15 °С и $T_в$ = 90 °С, тогда температура нагрева компонентов $T_к$ = 47 °С. При $T_о$ = 15 °С и $T_в$ = 80 °С температура нагрева составит $T_к$ = 43 °С. Согласно расчетам, если остаточная температура теплоносителя и реактора-смесителя находится в диапазоне 80-90 °С вновь загруженные компоненты могут быть нагреты от 15 до 43-47 °С (на 28 – 32 °С).

Как видим, при использовании реактора-смесителя без рекуперации остаточной теплоты, компоненты придется разогревать от 15 °С до 100 °С, а величина интервала повышения

температуры составит 85 ºС. В случае разогрева компонентов с использованием остаточной тепловой энергии, т.е. от 43-47 ºС до 100 ºС, величина температурного интервала будет ниже: 53-57 ºС. Так как затраты тепловой энергии пропорциональны величине температурного интервала, то разогрев компонентов с рекуперацией остаточной теплоты может дать экономию до 37 % энергии, потребляемой на начальном этапе разогрева компонентов [18].

Результаты экспериментального исследования работы реактора-смесителя при малотоннажном производстве ингибированного битумного состава. Согласно функциональной схемой (см. рисунок 2), разработана конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец реактора-смесителя. Экспериментальные исследования реактора-смесителя проведены на участке по малотоннажному производству консервационных составов, развернутом на экспериментальной базе ФГБНУ ВНИИТиН. В процессе исследований отрабатывалась технология производства ингибированного битумного состава *МЭБ-4*, содержащего битум в качестве связующего, мазут М100 (для повышения атмосферостойкости покрытия), кубовые амины (для ингибирования коррозии) и уайт-спирит (растворитель). Покрытия из ингибированного битумного состава *МЭБ-4* показали высокую атмосферостойкость и надежно защищали от коррозии стальные детали в течение 12 месяцев [7].

Экспериментальный образец реактора-смесителя показан на рисунке 3.



1 – основание; 2 – ременная передача; 3 – резервуар для теплоносителя; 4 – резервуар для компонентов; 5 – загрузочная горловина; 6 – пульт управления; 7 – сливной патрубок; 8 – раздаточный кран; 9 – приемная тара; 10 – верхняя лопасть мешалки; 11 – осевая труба

Рисунок 3 – Экспериментальный образец реактора-смесителя

Реактор-смеситель включает резервуар 3 для теплоносителя, внутри которого находится резервуар 4 для компонентов, закрытый крышкой с загрузочной горловиной 5. К дну резервуара 4 приварены 2 отбойные пластины. Внешняя стенка резервуара 3 тепло изолирована и закрыта кожухом. Полости между резервуарами 3 и 4 заполнены моторным маслом в качестве теплоносителя, внизу установлен нагреватель из двух ТЭН номинальной мощностью 5,0 кВт. Температурный режим теплоносителя контролируется посредством датчика терморегулирующего устройства, связанного с пультом 6 автоматизированного управления. Сквозь донья обоих

резервуаров проходит обсадная труба, в которой установлен приводной вал. Вал опирается на два подшипника: вверху – на подшипник скольжения в обсадной трубе, внизу – на конический подшипник в подшипниковом узле под дном резервуара 3. Оба подшипника заполнены термостойкой смазкой.

Рамная мешалка имеет усиленные горизонтальные лопасти 10, прикрепленные к осевой трубе 11. Осевая труба 11 с зазором 5 мм надета на обсадную трубу и соединена с верхним концом приводного вала. Внизу в основании реактора-смесителя 1 размещен привод рамной мешалки. С помощью ременной передачи 2 вращение передается от электродвигателя (2,2 кВт, 1450 об/мин) на червячный редуктор (передаточное число – 63) и далее на приводной вал.

Слив приготовленного состава из резервуара осуществляется посредством крана 8 и патрубка 7 со спиральным побудителем. Общая вместимость резервуара– 80 л, рабочая – 60-65 л. Объем заправки теплоносителя – 30 л.

Исследована зависимость потребляемой мощности от частоты вращения рамной мешалки. Частоту вращения изменяли путем установки на электродвигателе ведущего шкива большего диаметра. Опыты показали, что при частоте вращения мешалки n_1 = 20 об/мин электродвигателем потреблялась мощность 340 Вт. Увеличение частоты вращения до 30 об/мин (в 1,5 раза) привело к повышению мощности привода до 550 Вт (в 1,62 раза). Так как во втором опыте электродвигатель привода имел 4-х кратный запас по мощности, решено дальнейшее исследование технологии приготовления ингибированного битумного состава проводить при вращении мешалки с 30 об/мин.

В технологии малотоннажного производства ингибированного битумного состава, включающей резку компонентов на куски гидравлическим ножом, их нагрев, перемешивание и растворение в реакторе-смесителе, работа реактора-смесителя является более энергозатратной, чем гидравлического ножа. Поэтому актуально исследование влияния последовательности введения компонентов в реактор-смеситель на длительность процесса приготовления ингибированного битумного состава *МЭБ-4* и сопутствующее энергопотребление. Исследование проводили при температуре воздуха 18 ºС в 2 этапа.

На этапе I резервуар реактора-смесителя одномоментно загружали порциями битума, кубовых аминов, мазута М100, уайт-спирита; всего – 60 кг (64 л). На терморегуляторе устанавливали температурный диапазон нагрева теплоносителя – 125-135 °С, включали нагреватель и мешалку.

Мешалка работала непрерывно до полной готовности битумного состава, мощность на ее привод составила 0,6-0,45 кВт. Нагреватели отключались при нагреве теплоносителя до 135 °С и включались при снижении температуры до 125°С. На рисунке 4 отражена динамика нагрева теплоносителя и смеси компонентов. Теплоноситель достиг максимальной температуры в течение 115 мин, за это же время компоненты нагрелись до 100 °С и началось выкипание водной примеси из мазута. По истечение 180 мин температура смеси стабилизировалась на 106 ºС.

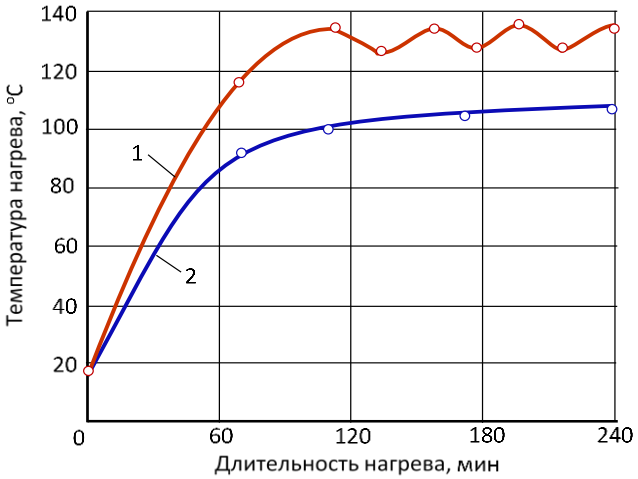


Рисунок 4 – Динамика нагрева теплоносителя (1) и компонентов (2) в реакторе-смесителе

Наблюдениями установлено, что куски кубовых аминов за 60 мин полностью смешались с уайт-спиритом и жидким мазутом. Длительность перемешивания кусков битума с раствором уайт-спирита, мазута и кубовых аминов составила 225 мин. Затем готовый битумный состав сливали через фильтрующую решетку в течение 15 мин, не выключая мешалку.

Длительность приготовления ингибированного битумного состава – 240 мин. Расход электроэнергии: привод мешалки – 2 кВт·ч/цикл; нагреватель – 12,5 кВт·ч/цикл; всего – 14,5 кВт·ч. Энергоемкость процесса приготовления 60 кг состава на этапе I – 0,24 кВт·ч/кг (0,22 кВт·ч/л).

На этапе II ввод компонентов в процесс их нагрева и смешивания осуществляли дифференцированно. После слива битумного состава, приготовленного на этапе I, в резервуар реактора-смесителя загрузили сначала порции битума и уайт-спирита, оставив их там для набухания на 90 мин без нагрева и перемешивания. За это время температура компонентов повысилась на 16 ^{0}C (от 18 до 44 ^{o}C). Чтобы не допустить интенсивное выкипание водной примеси из мазута, снизили температуру нагрева теплоносителя на 10 ^{o}C (до 115-125 °C). За 75 мин работы нагревателя и мешалки битум полностью растворился в дизельном топливе. После включения нагревателя и мешалки, смесь компонентов нагрелась до 100 ^{o}C в течение 42 мин.

Далее в реакторе-смесителе в раствор битума добавили кубовые амины и мазут М100, их вместе грели и смешивали 30 мин. После отключения нагрева и перемешивания взяли пробы битумного состава с верхнего и нижнего уровней резервуара. Определили плотность состава в пробах с помощью денсиметра: вверху – 0,932 кг/л, внизу - 0,935 кг/л.

Эти данные (плотность ρ (кг/л)) использовали для определения содержания уайт-спирита (C, %) в пробах:

$$C = (0{,}9909 - \rho)/0{,}0019.$$

Обнаружено превышение содержания уайт-спирита в верхней пробе (31 %) над нижней (29,4 %) на 1,6 %. Ввиду несущественной разницы плотностей, процесс приготовления состава считается завершенным. Состав сливали через фильтрующую решетку в приемную емкость, а затем разливали по канистрам, объемом 20 л, для реализации потребителям.

На этапе II расход электроэнергии: на мешалку – 1,1 кВт·ч/цикл; на нагрев – 7,2 кВт·ч/цикл; суммарно – 8,3 кВт·ч/цикл. Энергоемкость процесса приготовления 60 кг ингибированного битумного состава на этапе II – 0,14 кВт·ч/кг, что в 1,7 раза ниже, чем на этапе I.

По результатам проведенного исследования предложена схема технологического процесса малотоннажного производства ингибированного битумного состава *МЭБ-4* с дифференцированной загрузкой реактора-смесителя (рисунок 5).

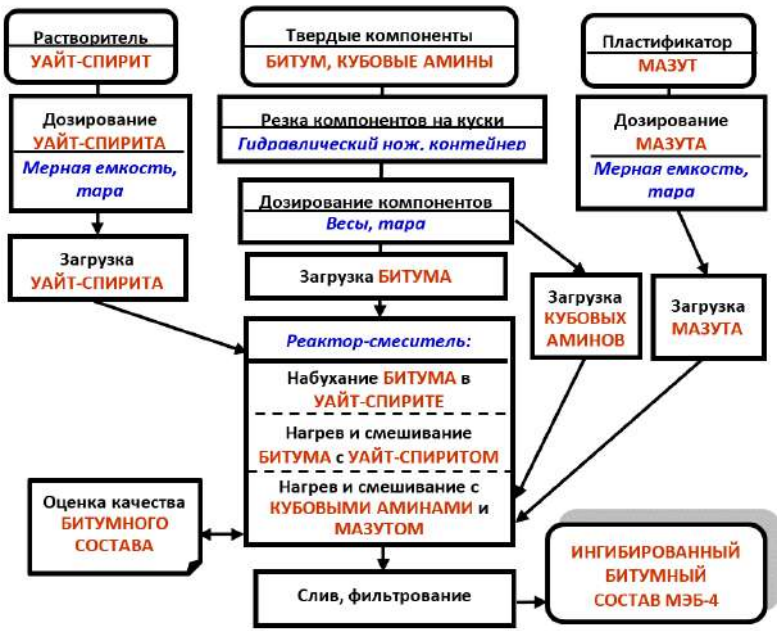


Рисунок 5 – Схема техпроцесса малотоннажного производства битумного состава МЭБ-4

Приготовленный ингибированный битумный состав *МЭБ-4* поставляется хозяйствам Тамбовской области для консервации сельскохозяйственной техники.

Выводы.

1. Для участков по малотоннажному производству консервационных составов в условиях АПК необходим малогабаритный реактор-смеситель с функциями нагрева и длительного перемешивания термопластичных и тугоплавких компонентов. Показано, что уменьшение динамической вязкости перемешиваемых компонентов за счет нагрева способствует снижению времени приготовления консервационных составов.

2. Обоснована функциональная схема реактора-смесителя, оснащенного обогреваемым резервуаром с масляной рубашкой для теплоносителя и рамной мешалкой с нижним приводом через обсадную трубу. Получено уравнение для расчета мощности на привод рамной мешалки при перемешивании твердых и жидких компонентов.

3. Доказана возможность рекуперации остаточной теплоты, накопленной в теплоносителе и металлоконструкции резервуара, по окончании цикла приготовления консервационного состава. Расчеты показали, что благодаря незамедлительной загрузке реактора-смесителя новой порции компонентов рекуперация остаточной теплоты может дать экономию до 37 % энергии, потребляемой на начальном этапе разогрева компонентов.

4. Разработана конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец реактора-смесителя. В процессе экспериментальных исследований оптимизирован техпроцесс приготовления ингибированного битумного состава *МЭБ-4* за счет рекуперации остаточной теплоты, дифференцированной загрузки, нагрева и перемешивания компонентов в реакторе-смесителе. В результате длительность процесса приготовления составов снизилась с 4-х до 2-х часов, а энергоемкость – в 1,7 раза.

Список литературы

1. Сазонова Д.Д., Сазонов С.Н. Ретроспективный анализ оснащенности фермерских хозяйств машинами и механизмами // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2015. № 2. – С. 91-112.

2. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И Практика защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в современных условиях // Технология металлов. 2000. № 8. – С. 14-20.

3. Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В. Технологические решения по консервации сельскохозяйственной техники отработанными моторными маслами // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. № 2. – С. 61-65.

4. Петрашев А.И. Приготовление консервационных материалов на малогабаритном оборудовании // Техника в сельском хозяйстве. 1999. № 3. – С. 5-8.

5. Петрашев А.И., Клепиков В.В., Таха Ф.Д. Изменение плотности при нагреве и плавлении компонентов консервационных материалов // Наука в центральной России. 2015. № 2 (14). – С. 34-43.

6. Смеситель для консервационной смазки / Петрашев А.И., Князева Л.Г., Клепиков В.В., Таха Ф.Д. / Патент на изобретение RU 2601001 C1, 27.10.2016. Заявка № 2015144399/05 от 15.10.2015.

7. Таха Ф.Д., Петрашев А.И., Кузнецова Е.Г. Твердо-пленочные битумные составы для защиты сельхозмашин от коррозии // Наука в центральной России. 2016. № 2 (20). – С. 50-58

8. Карпушкин, С.В. Краснянский М.Н., Борисенко А.Б. Расчёты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамбовского ГТУ, 2009. – 168 с.

9. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.

10. Брагинский Л.Н., Бегачёв В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.

11. Бакланов Н.А. Перемешивание жидкостей. – М.: Химия, 1979. – 64 с.

12. Савельев И.В. Курс общей физики, том I. – М.: Наука, 1973. – 511с.

13. Дахин О.Х. Машины и аппараты для перемешивания сыпучих, жидких и высоковязких сред: учебное пособие. – Волгоград: Изд-во Волгоградского ГТУ, 2014. – 232 с.

14. ГОСТ 20680-75. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами вертикальные. Типы и основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 25 с.

15. Петрашев А.И. Условия применения технических средств при консервации сельхозмашин // Техника в сельском хозяйстве. 2003. № 1. – С. 27-29.

16. Альбом оборудования окрасочных цехов / Борисенко С.И., Майзель Б.К., Окунь Б.Ц. и др. М.: Химия, 1975. – 320 с.

17. Удельная теплоемкость веществ при 20°С. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.xiron.ru/content/view/30534/137/ Дата обращения: 24.03.2021.

18. Таха Ф.Ж.Т. Совершенствование оборудования и технологии консервации сельскохозяйственной техники ингибированными битумными составами: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Мичуринский государственный аграрный университет / Таха Фирас Жумаа Таха. – Тамбов, 2017. – 183 с.

References

1. Sazonova D.D., Sazonov S.N. Retrospektivnyj analiz osnashchennosti fermerskih hozyajstv mashinami i mekhanizmami // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. 2015. № 2. – S.91-112.

2. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I Praktika zashchity ot korrozii sel'skohozyajstvennoj tekhniki v sovremennyh usloviyah // Tekhnologiya metallov. 2000. № 8. – S. 14-20.

3. Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V. Tekhnologicheskie resheniya po konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki otrabotannymi motornymi maslami // Trudy GOSNITI. 2013. T. 112. № 2. – S. 61-65.

4. Petrashev A.I. Prigotovlenie konservacionnyh materialov na malogabaritnom oborudovanii // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 1999. № 3. – S. 5-8.

5. Petrashev A.I., Klepikov V.V., Taha F.D. Izmenenie plotnosti pri nagreve i plavlenii komponentov konservacionnyh materialov // Nauka v central'noj Rossii. 2015. № 2 (14). – S. 34-43.

6. Smesitel' dlya konservacionnoj smazki / Petrashev A.I., Knyazeva L.G., Klepikov V.V., Taha F.D. / Patent na izobretenie RU 2601001 C1, 27.10.2016. Zayavka № 2015144399/05 ot 15.10.2015.

7. Taha F.D., Petrashev A.I., Kuznecova E.G. Tverdo-plenochnye bitumnye sostavy dlya zashchity sel'hozmashin ot korrozii // Nauka v central'noj Rossii. 2016. № 2 (20). – S. 50-58

8. Karpushkin, S.V. Krasnyanskij M.N., Borisenko A.B. Raschyoty i vybor mekhanicheskih peremeshivayushchih ustrojstv vertikal'nyh emkostnyh apparatov: uchebnoe posobie. – Tambov: Izd-vo Tambovskogo GTU, 2009. – 168 s.

9. Strenk F. Peremeshivanie i apparaty s meshalkami. Pol'sha, 1971. Per. s pol'sk. pod red. I.A. SHCHuplyaka. – L.: Himiya, 1975. – 384 s.

10. Braginskij L.N., Begachyov V.I., Barabash V.M. Peremeshivanie v zhidkih sredah. – L.: Himiya, 1984. – 336 s.

11. Baklanov N.A. Peremeshivanie zhidkostej. – M.: Himiya, 1979. – 64 s.

12. Savel'ev I.V. Kurs obshchej fiziki, tom I. – M.: Nauka, 1973. – 511s.

13. Dahin O.H. Mashiny i apparaty dlya peremeshivaniya sypuchih, zhidkih i vysokovyazkih sred: uchebnoe posobie. – Volgograd: Izd-vo VolgogGTU, 2014. – 232 s.

14.GOST 20680-75. Apparaty s mekhanicheskimi peremeshivayushchimi ustrojstvami vertikal'nye. Tipy i osnovnye parametry. – M.: Izd-vo standartov, 1987. – 25 s.

15. Petrashev A.I. Usloviya primeneniya tekhnicheskih sredstv pri konservacii sel'hozmashin // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2003. № 1. – S. 27-29.

16. Al'bom oborudovaniya okrasochnyh cekhov / Borisenko S.I., Majzel' B.K., Okun' B.C. i dr. M.: Himiya, 1975. – 320 s.

17. Udel'naya teploemkost' veshchestv pri 20°S. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.xiron.ru/content/view/30534/137/ Data obrashcheniya: 24.03.2021.

18. Taha F.ZH.T. Sovershenstvovanie oborudovaniya i tekhnologii konservacii sel'skohozyajstvennoj tekhniki ingibirovannymi bitumnymi sostavami: diss. … kand. tekhn. nauk: 05.20.03 / Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet / Taha Firas ZHumaa Taha. – Tambov. 2017. – 183 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Петрашев Александр Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru

Клепиков Виктор Валерьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-

исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viktrikt@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Petrashev Alexandr – Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: vitin-10.pet@mail.ru

Klepikov Viktor – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: viktrikt@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 07.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 31.05.2021

УДК 621.899:620.197
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-107-112

ЗАЩИТА ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ КОРРОЗИИ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

[1]Жерновников Дмитрий Николаевич
[1]Ерохин Геннадий Николаевич
[1]Князева Лариса Геннадиевна
[1,2]Остриков Валерий Васильевич
[1]Забродская Алла Владимировна

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

Реферат. *Известно, что, после завершения полевых работ, зерноуборочные комбайны отправляют на длительное хранение на открытых или закрытых площадках. Одним из важных узлов, но наименее защищённых от действия коррозии является двигатель внутреннего сгорания. После завершения работ моторное масло из картера не сливается и не проводятся работы по защите основных его деталей от коррозионного воздействия, что влияет на срок службы техники и затраты на её эксплуатацию и ремонт. ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывает ресурсосберегающую технологию постановки данного вида техники на хранение, рассматривая возможность очистки моторного масла непосредственно во время работы двигателя и системы смазки под действием моноэтаноламина и изопропанола. Установлено, что внесение в картер двигателя комбайна смеси 2% моноэтаноламина и 2% изопропанола при температуре масла 70°С с последующими запуском и работой на холостом ходу позволяет удалить из масла все виды загрязнений, в том числе отложения из поддона картера и масляных каналов. Определено, что последующее добавление в очищенное в двигателе масло 6%-9 % ингибитора коррозии Cortec VpCl-369 позволяет увеличить вязкость масла, обеспечивая тем самым защитную плёнку на деталях двигателя. Экспериментальными исследованиями состава, нанесённого на стальные пластины с последующей обработкой в 3% растворе NaCl, показали на увеличение защитной эффективности очищенного масла, обогащённого ингибитором Cortec VpCl-369. По результатам предварительных исследований можно утверждать, что данный подход позволит увеличить срок службы дорогостоящей зерноуборочной техники и снизить затраты на её ремонт. Одновременно с решением задач защиты техники от коррозии, повышения надёжности работы ДВС решаются вопросы экономии средств на приобретение дорогостоящий консервационных материалов, снижения загрязнённость окружающей среды отработанными маслами. После осуществляется операция слива масла и замены его на моторное, а рабоче-консервационное масло может использоваться повторно.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, коррозия, защита при хранении, ингибитор коррозии, двигатель внутреннего сгорания.*

PROTECTING ENGINES AGAINST CORROSION DURING STORAGE OF GRAIN HARVESTERS

[1]Zhernovnikov Dmitry
[1]Erokhin Gennady
[1]Knyazeva Larisa
[1,2]Ostrikov Valery
[1]Zabrodskaya Alla
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"

Abstract*. It is known that, after the completion of field work, combine harvesters are sent for long-term storage in open or closed areas. One of the important components, but the least protected from corrosion, is the internal combustion engine. Engine oil is not drained from the crankcase after the completion of work and work to protect its main parts from corrosive effects is not carried out, which affects the service life of the equipment and the costs of its operation and repair. FGBNU VNIITiN is developing a resource-saving technology for storing this type of equipment, considering the possibility of cleaning engine oil directly during the operation of the engine and the lubrication system under the action of monoethanolamine and isopropanol. It was found that the introduction of a mixture of 2% monoethanolamine and 2% isopropanol into the crankcase of the combine engine at an oil temperature of 70 °C, followed by starting and idling, removes all types of contaminants from the oil, including deposits from the oil pan and oil channels. It has been determined that the subsequent addition of 6% -9% corrosion inhibitor Cortec VpCl-369 to the oil refined in the engine increases the viscosity of the oil, thereby providing a protective film on the engine parts. Experimental studies of the composition applied to steel plates followed by treatment in a 3% NaCl solution have shown an increase in the protective effectiveness of the purified oil enriched with the Cortec VpCl-369 inhibitor. According to the results of preliminary studies, it can be argued that this approach will increase the service life of expensive grain harvesting equipment and reduce the cost of repairing it. Simultaneously with the solution of the problems of increasing the reliability of the internal combustion engine, the problems of saving funds for the purchase of expensive preservation materials, reducing the pollution of the environment with used oils are being solved. After that, the operation of draining the conservation oil and replacing it with engine oil is carried out. Working and conservation oil can be reused.*

Keywords: *combine harvester, corrosion, storage protection, corrosion inhibitor, internal combustion engine.*

Введение. Трактора и автомобили в сельскохозяйственном производстве работают практически круглогодично. При этом, основной период занятости приходится на весенне-осенний период эксплуатации техники.

Зерноуборочные комбайны эксплуатируются с июля по октябрь месяц. Остальное время находятся на открытых или закрытых площадках в нерабочем состоянии. И если открытые детали, резинотехнические изделия, цепи и т.д. обрабатываются различного рода консервантами, то двигатели внутреннего сгорания чаще всего не подвергаются защитным действиям, предохраняющим от коррозии [1]. Меж тем, в инструкциях по эксплуатации и организационно-технологических картах по техническому обслуживанию предусматривается ряд мероприятий по замене моторных масел на консервационные или другие жидкости.

Консервационные, консервационно-рабочие, рабоче-консервационные масла относятся к средствам временной противокоррозионной защиты. Они представляют собой композиции минеральных или синтетических масел со значительным содержанием маслорастворимых ингибиторов коррозии. Консервационные масла используют только в период хранения техники и сливают перед началом ее работы [2]. Консервационно-рабочие допускается одноразово использовать при введении техники в эксплуатацию [2]. Рабоче-консервационными маслами защищают металлоизделия от коррозии как при хранении, так и при периодической эксплуатации, но они обладают более низкой защитной эффективностью [2,3].

Все вышеперечисленные консервационные смазочные материалы ограниченно доступны для сельского товаропроизводителя в силу высокой цены приобретения, одноразовости

использования. Также они не всегда имеют высокую защитную эффективность. По данным ФГБНУ ВНИИТиН более 80 процентов хозяйств используют традиционную схему постановки и снятия зерноуборочных комбайнов с хранения [1, 4]. После завершения полевых работ комбайн отправляется на место стоянки, моторное масло из картера двигателя не сливается, а его замена если и производится, то перед началом нового уборочного сезона. В других случаях, после завершения эксплуатации, масло из картера двигателя сливается и заправляется свежее моторное масло [1].

Уровень функциональных свойств современных моторных масел соответствует требованиям эксплуатации машин и механизмов. Их использование способствует уменьшению отдельных видов изнашивания. Так, например, для защиты двигателей внутреннего сгорания при хранении достаточно противокоррозионных свойств неингибированного моторное масло М-10 ДМ с 5-8% моющих присадок [5].

При этом остаётся малоизученным вопрос процессов, происходящих в моторном масле за период наработки 150-250 мото-часов в двигателях зерноуборочных комбайнов. Независимо от «исключительных» свойств масла в нём накапливаются продукты окисления, смолы, образуются отложения в масляных каналах и на деталях цилиндро-поршневой группы [5].

Для оценки загрязнённости моторных масел, работающих в двигателях зерноуборочных комбайнов, проведён физико-химический анализ изменения вязкости, содержания загрязнений и щелочного числа масла М-10ДМ через каждые 50 часов наработки. На рисунке 1 представлены зависимости изменения свойств моторного масла от наработки в зерноуборочных комбайнах Дон-1500.

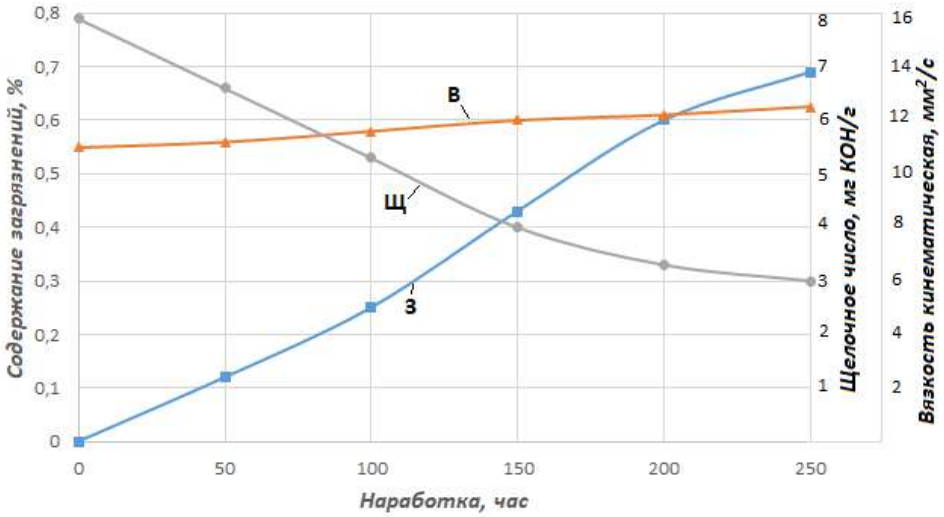


Рисунок 1 – Зависимость изменения свойств моторного масла М-10ДМ в двигателях зерноуборочных комбайнов от наработки (средние значения): З – загрязнённость (содержание нерастворимого осадка); Щ – щелочное число; В – вязкость кинематическая.

Анализируя фактические данные установлено, что уже к 150 часам наработки комбайном масло в двигателе имело показатели, близкие к браковочным значениям по щелочному числу и содержанию загрязнений (нерастворимого осадка).

После завершения работ масло оставалось в картере двигателя с сентября по март месяц. Это приводит к образованию осадков на дне картера толщиной 1…2 мм. В весенний период при проведении операции подготовки комбайнов к работе масло сливалось из картера и проводилась заправка свежего масла с последующим запуском двигателя. В данных случаях при запуске двигателя происходит смыв и смешивание осадков и загрязнений со свежим маслом, что заведомо приводит к снижению сроков службы масла.

Определить коррозионное воздействие на детали цилиндро-поршневой группы в результате простоя зерноуборочного комбайна без разборки двигателя на основании анализа свойств масла очень сложно.

Многолетние исследования в области защиты техники от коррозии, в том числе с детальным анализом изменения поверхностей цилиндров, головок блоков цилиндров, проведённых рядом учёных и практиков [6] показывают, что даже в «благоприятных» условиях хранения не исключается корродирование деталей. Отрицательное воздействие на свойства масла, его загрязнённость, срок службы может оказывать техническое состояние двигателя, качество используемого дизельного топлива и т.д.

На основании данного подхода ФГБНУ ВНИИТиН разрабатывается технология продления службы зерноуборочных комбайнов и повышения эффективности защиты деталей цилиндро-поршневой группы от коррозии.

Методика проведения исследования. Технологический процесс сохранения техники и повышения эффективности её работы в первом приближении заключается в следующем. После завершения полевых работ, перед постановкой на хранение из картера двигателя комбайна отбирается проба масла объёмом 8-10 мл. Проводится экспресс-контроль загрязнённости и щелочного числа масла. Если характеристики масла близки к браковочным значениям, то проводится операция очистки масла и системы смазки без слива масла из картера двигателя с последующим внесением в очищенное масла ингибиторов коррозии 3-9% масс.

На первом этапе экспериментальные исследования по предлагаемому технологическому процессу проводились в лабораторных условиях на масле М-10ДМ, слитом после 150 часов наработки в двигателе комбайна Дон-1500.

Моторное масло нагревалось до температуры 70ºС. В нагретое масло добавлялась смесь моноэтаноламина и изопропанола 2% масс к объёму очищаемого масла. Содержимое перемешивалось и продолжался процесс нагрева. Через каждые 10ºС повышения температуры масла отбиралась капельная проба для оценки процесса коагуляции загрязнений на фильтровальной бумаге.

В очищенное масло вносился ингибитор коррозии в соотношении 3, 6, 9, 12 % масс. к маслу. Смесь перемешивалась и определялась кинематическая вязкость при 20, 70 и 100 ºС. Полученные составы наносились на металлическую пластинку Ст 3, которую помещали в 3 % раствор NaCl, Выдержка составляла 14 дней, после чего определялась защитная эффективность [4].

Обсуждение результатов исследований. По результатам эксперимента установлено, что рациональной температурой нагрева масла для обеспечения процесса коагуляции может быть значение 120…130 ºС. Пятно на фильтровальной бумаге имеет чёрное ядро в центре с резким переходом в жёлтый цвет к периферии. На следующем этапе понижали температуру масла до 70ºС и проводили очистку масла в лабораторной центрифуге СТР-50 в течение 30 мин при частоте вращения ротора 4000 об/мин. В таблице 1 представлены результаты анализа масла до и после очистки.

Таблица 1 – Физико-химические характеристики моторного масла до и после очистки от загрязнений

Показатели	Масло моторное М-10ДМ после 150 часов наработки (Дон-1500)	Масло после удаления загрязнений
Вязкость кинематическая, мм^2/с (100ºС)	12,8	12,0
Температура вспышки в открытом тигле, ºС	215	195
Щелочное число, мг КОН/г	2,9	3,1
Кислотное число, мг КОН/г	1,4	0,8
Содержание нерастворимого осадка, %	0,9	0,07
Цвет, бал ед ЦНТ	8	5,5

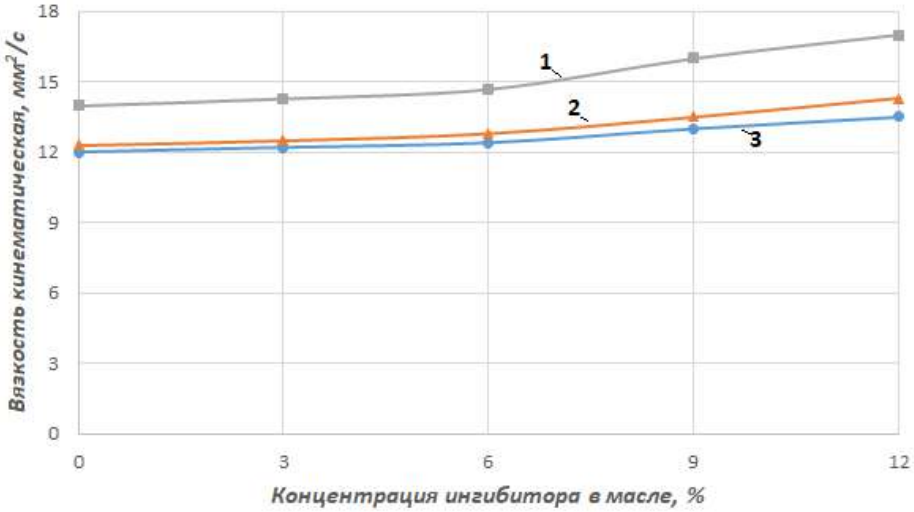
После проведения операции очистки в масле незначительно снизились вязкость и температура вспышки как результат использования изопропанола в качестве коагулирующего компонента смеси. Содержание нерастворимого осадка (загрязнений) снизилось в 10 раз. Цвет масла изменился с чёрного до красно-коричневого прозрачного.

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что очищенное масло следует в дальнейшем рассматривать в качестве основы рабоче-консервационного масла. На следующем этапе рассматривалась возможность повышения защитных, антикоррозионных свойств очищенного масла модификацией его ингибитором коррозии. Для определения эксплуатационных

и защитных свойств в первую очередь рассматривалось изменение вязкостно-температурных характеристик масла с ингибитором коррозии в процентном соотношении 3, 6, 9 , 12 % масс.

На рисунке 2 представлена зависимость изменения вязкости масла от концентрации ингибитора коррозии при температуре 20, 70 и 100ºС.

Температура 20 ºС при измерении вязкости определяет характер пуска, 70 ºС определяет рабочий режим при смешивании очищенного масла с ингибитором, 100 ºС – значение температуры на некоторых деталях, позволяющая в очень приближённом виде оценивать толщину масляной плёнки. В процессе обработки составом деталей головки блока, цилиндров, шеек коленчатого вала, стаканов цилиндров температура на их поверхностях может быть от 70 до 200 ºС.



1 – при 20 ºС; 2 – при 70 ºС; 3 – при 100 ºС

Рисунок 2 – Изменения вязкости моторного очищенного масла в зависимости от концентрации ингибитора коррозии в составе

Одним из самых доступных методов определения защитных свойств состава являются исследования по нанесению экспериментального состава на пластинку из стали с последующей её выдержкой в 3% растворе NaCl в течение 14 суток. Исследования проводились в сравнительном режиме. На стальные пластины наносилось очищенное масло и составы масел, содержащие 3, 6, 9, 12 % масс. ингибитора коррозии.

Установлено, что очищенное масло имеет не достаточную противокоррозионную эффективность по сравнению с составом, включающим очищенное масло с 6 % и 9 % ингибитора коррозии.

Список литературы

1. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Надёжность зерноуборочных комбайнов в реальных условиях эксплуатации // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2014. – № 1. – С. 37-40.

2. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. – Москва: Техинформ, 1999. – 596 с.

3. Гайдар С.М. Теория и практика создания средств защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 340 с.

4. К вопросу хранения сельскохозяйственной техники / Князева Л.Г., Петрашев А.И., Прохоренков В.Д., Клепиков В.В. //Наука в центральной России. – 2017. – № 6 (30). – С. 37-49.

5. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие / Остриков В.В., Петрашев А.И., Сазонов С.Н., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2017. – 391 с.

6. Сохраняемость и противокоррозионная защита техники в сельском хозяйстве / Черноиванов В.И. и др. – М.: ГОСНИТИ. 2009. – 240 с.

References

1. Erohin G.N., Konovskij V.V. Nadyozhnost' zernouborochnyh kombajnov v real'nyh usloviyah ekspluatacii // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. – 2014. – № 1. – S. 37-40.
2. SHkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie. – Moskva: Tekhinform, 1999. – 596 s.
3. Gajdar S.M. Teoriya i praktika sozdaniya sredstv zashchity sel'skohozyajstvennoj tekhniki ot korrozii. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2011. – 340 s.
4. K voprosu hraneniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki / Knyazeva L.G., Petrashev A.I., Prohorenkov V.D., Klepikov V.V. //Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 6 (30). – S. 37-49.
5. Toplivo, smazochnye materialy i tekhnicheskie zhidkosti: uchebnoe posobie / Ostrikov V.V., Petrashev A.I., Sazonov S.N., Orobinskij V.I., Afonichev D.N. – Voronezh: Voronezhskij GAU, 2017. – 391 s.
6. Sohranyaemost' i protivokorrozionnaya zashchita tekhniki v sel'skom hozyajstve / CHernoivanov V.I. i dr. – M.: GOSNITI. 2009. – 240 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Жерновников Дмитрий Николаевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Ерохин Геннадий Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: witin4@rambler.ru

Князева Лариса Геннадьевна – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», профессор кафедры «Стандартизации, метрологии и технического сервиса» ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Забродская Алла Владимировна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Zhernovnikov Dmitry – junior researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail:viitinlab8@bk.ru.

Erokhin Gennady – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Knyazeva Larisa – Full Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: Knyazeva27@mail.ru.

Ostrikov Valery Vasilievich – Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru..

Zabrodskaya Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 05.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 31.05.2021

УДК 621.923
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-113-119

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ, КОНЦЕНТРАЦИИ И РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

[1]Сергеев Кирилл Леонидович
[1]Бондарь Наталия Филипповна
[2]Дечко Михаил Михайлович
[3]Родионов Юрий Викторович
[3]Никитин Дмитрий Вячеславович

[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
[2]ОАО «ЛМЗ Универсал»
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Повышение объема производства сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь в первую очередь связано с повышением качества и совершенствованием различных процессов металлообработки. В работе осуществлен поиск оптимального сочетания режимов токарной обработки с размерами капель и концентрации дисперсной фазы водосмешиваемой эмульсии смазочно-обрабатывающей жидкости (СОЖ) для достижения высоких показателей качества обработанной поверхности. Исследовали концентрат СОЖ на основе отходов масложирового производства, триэтаноламиновых мыл олеиновой кислоты и др, диспергируя его с помощью ультразвукового диспергатора погружного типа. Изображения капель масляной фазы исследуемой СОЖ получены при помощи цифрового микроскопа с компьютерным управлением. С помощью программного комплекса AutoScan Studio 3.0 анализировали изображения для определения размеров капель масляной фазы СОЖ. Использовали также токарно-винторезный станок 16К20, в качестве образцов детали типа «вал» диаметром 40 мм из стали 45. Исследования выполнены с использованием известных методик математического планирования эксперимента и статистической обработки данных на основе ортогонального центрального композиционного плана. Параметром оптимизации выбрали шероховатость обработанной поверхности. Исходная шероховатость до обработки составляла ≈ 6 мкм. Режимы обработки: глубина резания -0,5 мм; подача - 0,125 мм/об. В результате оптимизации параметров рекомендовали оптимальные по критерию шероховатости обрабатываемой поверхности значения управляющих факторов: скорость резания –70 - 80 м/мин, средний размер капель - 1,0 мкм и концентрация дисперсной фазы СОЖ - 30…40 г/л. Полученные результаты позволят в дальнейшем планировать и проводить более масштабные исследования, которые будут направлены на оптимизацию различных составов СОЖ на основе продукции из вторичных сырьевых ресурсов.*

Ключевые слова: *токарная обработка, смазочно-охлаждающая жидкость, качество обрабатываемой поверхности, дисперсность, кавитация.*

IMPROVING TURNING EFFICIENCY BY OPTIMAL COMBINATION OF PROCESS CONDITIONS, CONCENTRATION AND SIZE OF DROPLETS OF DISPERSED PHASE OF LUBRICANT-COOLING FLUID

[1]Sergeev Kirill
[1]Bondar Natalia
[2]Dechko Mihail
[3]Rodionov Yury
[3]Nikitin Dmitry

[1]EI "Belarusian State Agrarian Technical University"
[2]JSC "LMZ Universal"
[3]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *An increase in the volume of production of agricultural machinery in the Republic of Belarus is primarily associated with an increase in the quality and improvement of various metalworking processes. The search for the optimal combination of turning modes with droplet sizes and the concentration of the dispersed phase of a water-miscible emulsion of a lubricating-processing fluid (cutting fluid) to achieve high quality indicators of the processed surface was carried out in the work. The coolant concentrate based on wastes of fat and oil production, triethanolamine soaps of oleic acid, etc., was studied by dispersing it using a submersible ultrasonic disperser. Images of droplets of the oil phase of the studied coolant were obtained using a computer-controlled digital microscope. Images were analyzed using the AutoScan Studio 3.0 software package to determine the droplet size of the coolant oil phase. A 16K20 screw-cutting lathe was also used; parts of the "shaft" type with a diameter of 40 mm made of steel 45 were used as samples. The studies were carried out using the well-known methods of mathematical planning of the experiment and statistical data processing based on the orthogonal central compositional plan. The roughness of the processed surface was chosen as the optimization parameter. The initial roughness before processing was ≈ 6 μm. Processing modes: cutting depth -0.5 mm; feed - 0.125 mm / rev. As a result of the optimization of the parameters, the optimal values of the control factors according to the criterion of roughness of the treated surface were recommended: cutting speed –70 ... 80 m / min, average droplet size - 1.0 μm and concentration of the dispersed phase of the coolant - 30 ... 40 g / l. The results obtained will allow in the future to plan and carry out more large-scale studies, which will be aimed at optimizing various compositions of cutting fluid based on products from secondary raw materials.*

Keywords: *blade treatment, cutting fluid, quality of treated surface, dispersion, cavitation.*

Введение. Большинство современных технологических процессов при различных видах обработки хрупких и пластичных материалов требует применения СОЖ (смазочно-охлаждающие жидкости). Целенаправленное применение таких жидкостей позволит существенно увеличить стойкость инструмента, повысить производительность и качество обработанной поверхности. Подавляющее большинство СОЖ делят на водосмешиваемые и масляные [1, 2]. К основным преимуществам водосмешиваемых СОЖ, по сравнению с масляными, относят высокую охлаждающую способность, низкую стоимость, пожаробезопасность и невысокий уровень токсичности. Среди недостатков можно отметить сравнительно низкую эффективность на отдельных операциях и нестабильность свойств при длительном хранении. Известно [3], что применение водосмешиваемых СОЖ при токарной обработке решает целый комплекс задач, основными из которых являются интенсификация отвода тепла, обеспечение снижения шероховатости обработанной поверхности, смазывание поверхностей трения, удаление стружки из зоны обработки, а также защита оборудования от коррозии. Поэтому данные СОЖ при обработке металлов резанием должны обладать следующими функциональными действиями: диспергирующее (режущее), смазывающее, охлаждающее и моющее действия. В большинстве случаев эффективность СОЖ при токарной обработке проявляется в улучшении смазывающего и охлаждающего действий, которые заключаются в препятствии наростообразования на рабочих поверхностях инструмента и снижении сил трения трущихся поверхностей [4]. Известно [5, 6], что на свойства эмульсий СОЖ также влияют размеры капель дисперсной фазы при различных видах обработки и их проявление способствует повышению эффективности по-разному. При уменьшении размеров капель дисперсной фазы СОЖ облегчается процесс резания за счет уменьшения сил, необходимых для пластического деформирования и разрушения срезаемого слоя металла. При моющем действии размер капель влияет на вымывание из зоны резания шлама, содержащего продукты резания материала детали и износа режущего инструмента. Усиление смазывающего действия обусловлено более активным проникновением капель дисперсной фазы в места контакта режущего инструмента с металлом, а охлаждающего действия СОЖ – улучшением теплопроводящих свойств и уменьшения объемной концентрации, что приводит к образованию на поверхности металла более тонких адсорбционных слоев, облегчающих конвективный теплообмен.

Совершенствование рецептуры СОЖ основное условие модернизации основных направлений современной технологии различных отраслей машиностроительного производства. Это обосновано возрастающими требованиями по производительности и качеству обработки резанием.

Так для токарной обработки при выборе оптимальных условий для формирования высокого качества обработанной поверхности нужно учитывать влияние на процесс резания микрогеометрии режущего инструмента, жесткости системы СПИД, микроструктуры и состава обрабатываемого материала, а также свойства применяемых СОЖ. Если при подборе обрабатываемого материала достаточно учитывать несколько показателей, то при большом количестве разработанных составов СОЖ задача прогнозирования их использования пока еще не решена. Рекомендации по выбору и использованию СОЖ при обработке металлов резанием носит в основном эмпирический характер. Следовательно, выбранное направление исследования, которое связано с повышением технологической эффективности СОЖ является актуальным.

В настоящее время в производстве СОЖ практически всегда включают нефтяные и минеральные масла. Из-за этого происходит рост потребления указанных масел предприятиями, использующими сельскохозяйственную технику. При этом значительно возрастает нагрузка на природные ресурсы и необходимости утилизации отходов. Все с тем хранение больших объемов получаемых отходов приводит к загрязнении поверхностных и грунтовых вод, порче почв и деградации естественных ландшафтов. Это может привести экологической катастрофе. Также нефтяные и минеральные масла токсичны. Они отрицательно влияют на здоровье человека [7]. Следовательно, необходимо уменьшении, а желательно полностью исключении данных компонентов.

Эмульсии СОЖ представляют собой дисперсные системамы, состоящими из дисперсной фазы и дисперсионной среды, при этом они являются соединениями компонентов масляной фазы. Основной коллоидно-химической характеристикой таких жидкостей является дисперсность. В случае изменения дисперсного состава СОЖ улучшаются функциональные и эксплуатационные свойства технологической жидкости. Размеры частиц дисперсной фазы зависят от технологии ее приготовления и для этого используются ультразвуковые устройства, принцип действия которых основан на использовании ультразвуковых колебаний [8].

В качестве наиболее значимых признаков СОЖ можно выделить размер капель и концентрацию дисперсной фазы СОЖ. Концентрацию важно поддерживать в оптимальном диапазоне для обеспечения высокой производительности резания и смазывающей способности, а размер капель – для хорошей проникающей способности в зону обработки. Для обработки металлов резанием выявление взаимного влияния технологических режимов и сочетания концентрации и размера капель эмульсии СОЖ проводится опытным путем посредством поиска эмпирических формул, описывающих их взаимосвязи.

В данной работе осуществлен поиск оптимального сочетания режимов токарной обработки с размерами капель и концентрации дисперсной фазы водосмешиваемой эмульсии СОЖ для достижения высоких показателей качества обработанной поверхности.

Материалы и методы. Исследование посвящено выявлению влияния концентрации эмульсии СОЖ $C_{сож}$, среднего размера капель дисперсной фазы СОЖ $R_{ср}$ и основного технологического режима токарной обработки – скорости резания $V_р$. В качестве исследуемого состава выбрали концентрат СОЖ. Он состоит из отходов масложирового производства, триэтаноламиновые мыла олеиновой кислоты и еще ряд компонентов. В качестве экспериментальной установки использовали токарно-винторезный станок 16К20. В качестве образцов использовались детали типа «вал» диаметром 40 мм. Материал – сталь 45 ГОСТ 1050–88. Исходная шероховатость до обработки составляла $Ra_о \approx 6$ мкм (усредненное значение по всем деталям). Режимы обработки: глубина резания t = 0,5 мм; подача S = 0,125 мм/об.

Исследования выполнены с использованием известных методик математического планирования эксперимента и статистической обработки данных на основе ортогонального центрального композиционного плана [9–11].

В качестве параметра оптимизации выбрана шероховатость обработанной поверхности $Y = Ra$, мкм. На основе априорных данных выбраны основные уровни факторов и интервалы их варьирования (табл. 1).

Диспергирование СОЖ осуществляли с помощью ультразвукового диспергатора погружного типа. Изображения капель масляной фазы исследуемой СОЖ получены при помощи цифрового микроскопа с компьютерным управлением. Для анализа изображений по определению размеров капель масляной фазы СОЖ использовался программный комплекс AutoScan Studio 3.0 [12].

Параметры шероховатости определены в соответствии с ГОСТ 2789–73. Измерение шероховатости обработанной поверхности по параметру *Ra* проводилось на профилометре Mitutoyo Surftest SJ-201.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни варьирования факторов	Варьируемые факторы		
	Концентрация эмульсии СОЖ $C_{сож}$, г/л	Средний размер капель эмульсии СОЖ $R_{ср}$, мкм	Скорость резания $V_р$, м/мин
Кодовое обозначение факторов	X_1	X_2	X_3
Основные уровни (X_i = 0)	30	3	50
Интервалы варьирования	20	2	25
Нижние уровни (X_i = –1)	10	1	25
Верхние уровни (X_i = +1)	50	5	75
Звездные точки (X_i = –1,2154)	5,7	0,6	19,6
Звездные точки (X_i = +1,2154)	54	5,4	80,4

Результаты экспериментов и статистической обработки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты опытов и статистические данные шероховатости обработанной поверхности

№	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	$Y_{ср}$	S^2	$Y_{расч}$
1	1	1	1	2,43	2,09	1,94	2,153	0,063	2,226
2	1	1	–1	2,37	2,21	1,95	2,177	0,045	2,513
3	1	–1	1	1,83	1,76	1,89	1,827	0,004	1,826
4	1	–1	–1	2,23	2,03	1,91	2,057	0,026	2,112
5	–1	1	1	4,05	3,43	3,01	3,497	0,274	3,394
6	–1	1	–1	3,06	3,21	4,21	3,493	0,391	3,681
7	–1	–1	1	3,21	2,94	3,09	3,08	0,018	2,994
8	–1	–1	–1	3,42	3,51	3,56	3,497	0,005	3,281
9	0	0	0	2,65	1,67	2,21	2,177	0,241	2,429
10	–1,2154	0	0	2,81	3,85	3,49	3,383	0,279	3,58
11	1,2154	0	0	3,19	2,37	2,01	2,523	0,366	2,161
12	0	–1,2154	0	1,73	1,59	1,53	1,617	0,011	1,839
13	0	1,2154	0	2,41	2,51	3,22	2,713	0,195	2,325
14	0	0	–1,2154	3,56	3,33	2,91	3,267	0,109	2,987
15	0	0	1,2154	1,99	3,07	2,51	2,523	0,292	2,638
Критерий Кохрена		$G_э$ = 0,169	$S^2_{воспр}$ = 0,1545		Критерий Фишера			$F_э$ = 1,811	
		$G_{кр}$ = 0,335	$S^2_{ад}$ = 0,2798					$F_{кр}$ = 2,266	
Дисперсии однородны					Модель адекватна				

Результаты и их обсуждение. В результате расчетов и исключения незначимых по критерию Стьюдента коэффициентов регрессии получена следующая зависимость шероховатости *Ra* от концентрации эмульсии СОЖ $C_{сож}$, среднего размера капель дисперсной фазы СОЖ $R_{ср}$ и скорости резания $V_р$ в нормированных координатах:

$$Ra = Y = 2,43 - 0,58X_1 + 0,20X_2 - 0,14X_3 + 0,30X_1^2 - 0,23X_2^2 + 0,26X_3^2.$$

Особенностью полученного уравнения регрессии является наличие квадратичных эффектов и отсутствие эффектов взаимодействий, в результате чего глобальные экстремумы по каждому фактору независимы. При этом глобальный минимум шероховатости достигается в соответствие со знаками перед квадратичными эффектами изменением концентрации эмульсии СОЖ $C_{сож}$ и

скорости резания $V_р$. Влияние среднего размера капель СОЖ $R_{ср}$ на шероховатость *Ra* имеет глобальный максимум при $R_{ср}$ = 3,9 мкм, поэтому для уменьшения шероховатости *Ra* необходимо использовать СОЖ с минимальным значением этого фактора $R_{ср}$ = 1,0 мкм.

При оптимальных значениях факторов (рисунок 1) $C_{сож}$ = 30…40 г/л и $V_р$ = 70…80 м/мин шероховатость может быть снижена до значений *Ra* = 1,54…1,60 мкм.

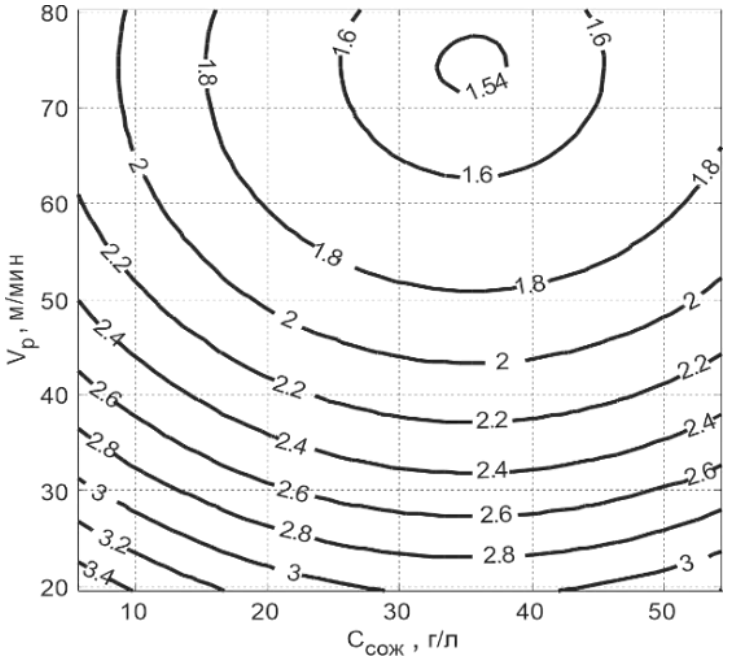


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости Ra, мкм
от концентрации эмульсии СОЖ $C_{сож}$ и скорости резания $V_р$

Полученные результаты можно объяснить тем, что увеличение скорости до 60–70 м/мин и концентрации масляной фазы эмульсии СОЖ замедляет процесс наростообразования, а также при этом повышается температура в зоне резания, что приводит к более плавному снятию стружки, чем при низких скоростях, поэтому величина микронеровностей уменьшается. В зоне скоростей свыше 70 м/мин шероховатость поверхности *Ra* оказывается минимальной, что обусловлено снижением сил трения между задней поверхностью резца и обработанной поверхностью.

Заключение. В результате оптимизации скорости резания при токарной обработке, среднего размера и концентрации дисперсной фазы водосмешиваемой эмульсии СОЖ можно рекомендовать оптимальные по критерию шероховатости обрабатываемой поверхности *Ra* значения управляющих факторов – $V_р$ = 70…80 м/мин, $R_{ср}$ = 1,0 мкм и $C_{сож}$ = 30…40 г/л. Полученные результаты позволят в дальнейшем планировать и проводить более масштабные исследования, которые будут направлены на оптимизацию различных составов СОЖ на основе продукции из вторичных сырьевых ресурсов.

Список литературы

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

2. Смазочно-охлаждающие жидкости на водной основе / А. Ю. Клюев [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – № 3 (9). – С. 27–45.

3. Худобин Л. В. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справ. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.

4. Киселева, Е. В. Повышение эффективности лезвийного резания путем механохимической активации водомасляных эмульсионных СОТС: дис. … канд. тех. наук: 05.02.07 / Елена Валерьевна Киселева. – Иваново: 2011. – 170 с.

5. Микроэмульсии. Структура и динамика / Ж. Биэ [и др.]; под ред. С. Е. Фридберга, П. Ботореля. – М.: Мир, 1990. – 397 с.

6. Толочко Н. К., Сергеев К. Л. Влияние дисперсности эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости на эффективность магнитно-абразивной обработки // Технология машиностроения. – 2014. – №.10. – С. 31–35.

7. Мельникова Д. В., Волков Д. А. Анализ токсикологического воздействия смазочно-охлаждающих технологических средств промышленных предприятий на организм человека и окружающую среду // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-7. – С. 1555–1559.

8. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В. Н. Хмелёв [и др.]. – Бийск: АлтГТУ, 2010. – 203 с.

9. Новик, Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

10. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. – Москва: Знание, 1978. – 72 с.

11. Леонов, А. Н., Дечко М. М., Ловкис В. Б. Основы научных исследований и моделирования: учеб.-метод. комплекс. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.

12. AutoScan: программный комплекс обработки и анализа изображений [Электронный ресурс].– ЗАО Спектроскопические системы, 2009. – PDF-документ (7,45 МБ).

References

1. Smazochno-ohlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva dlya obrabotki metallov rezaniem: spravochnik / pod redakciej S. G. Entelisa, E. M. Berlinera. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 352 s.

2. Smazochno-ohlazhdayushchie zhidkosti na vodnoj osnove / A. YU. Klyuev [i dr.] // Materialy, tekhnologii, instrumenty. – 2004. – № 3 (9). – S. 27–45.

3. Hudobin L. V. Smazochno-ohlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ih primenenie pri obrabotke rezaniem : spravochnik. – M.: Mashinostroenie, 2006. – 544 s.

4. Kiseleva E. V. Povyshenie effektivnosti lezvijnogo rezaniya putem mekhanohimicheskoj aktivacii vodomaslyanyh emul'sionnyh SOTS: dis. … kand. tekh. nauk: 05.02.07 / Elena Valer'evna Kiseleva. – Ivanovo: 2011. – 170 s.

5. Mikroemul'sii. Struktura i dinamika / ZH. Bie [i dr.]; pod red. S. E. Fridberga, P. Botorelya. – M.: Mir, 1990. – 397 s.

6. Tolochko N. K., Sergeev K. L. Vliyanie dispersnosti emul'sionnoj smazochno-ohlazhdayushchej zhidkosti na effektivnost' magnitno-abrazivnoj obrabotki // Tekhnologiya mashinostroeniya. – 2014. – № 10. – S. 31–35.

7. Mel'nikova D. V., Volkov D. A. Analiz toksikologicheskogo vozdejstviya smazochno-ohlazhdayushchih tekhnologicheskih sredstv promyshlennyh predpriyatij na organizm cheloveka i okruzhayushchuyu sredu // Fundamental'nye issledovaniya. – 2014. – № 11-7. – S. 1555–1559.

8. Hmelyov, V. N. Primenenie ul'trazvuka vysokoj intensivnosti v promyshlennosti / V. N. Hmelyov [i dr.]. – Bijsk : AltGTU, 2010. – 203 c.

9. Novik F. S., Arsov YA. B. Optimizaciya processov tekhnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov. – M.: Mashinostroenie; Sofiya : Tekhnika, 1980. – 304 s.

10. Adler YU. P. Vvedenie v planirovanie eksperimenta. – Moskva: Znanie, 1978. – 72 s.

11. Leonov A. N., Dechko M. M., Lovkis V. B. Osnovy nauchnyh issledovanij i modelirovaniya: uchebno-metodicheskij kompleks / A. N. Leonov. – Minsk: BGATU, 2010. – 276 s.

12. AutoScan: programmnyj kompleks obrabotki i analiza izobrazhenij [Elektronnyj resurs]. – ZAO Spektroskopicheskie sistemy, 2009. – PDF-dokument (7,45 MB).

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Сергеев Кирилл Леонидович – старший преподаватель Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Республика Беларусь, г. Минск, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Бондарь Наталия Филипповна – кандидат химических наук, научный руководитель научно-исследовательской лаборатории Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Республика Беларусь, г. Минск, e-mail: bondarnf@mail.ru.

Дечко Михаил Михайлович – кандидат технических наук, доцент, инженер ОАО «ЛМЗ Универсал», Республика Беларусь, г. Солигорск, e-mail: mdechko@rambler.ru.

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

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

Author credentials

Affiliations

Sergeev Kirill – Senior lecturer of Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Republic of Belarus, Minsk, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Bondar Natalia – Candidate of Chemical Sciences, Supervisor of Research Analytical Laboratory of Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Republic of Belarus, Minsk, e-mail: bondarnf@mail.ru.

Dechko Mihail – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Engineer of JSC “LMZ Universal”, Republic of Belarus, Soligorsk, e-mail: mdechko@rambler.ru.

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

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

Поступила в редакцию (Received): 10.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 31.05.2021

УДК 636.087.7:[636.2:612.12]
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-119-128

ВЛИЯНИЕ РАЦИОНА, СОДЕРЖАВШЕГО КОНЦЕНТРАТ ИЗ СЕМЯН ЛЬНА, НА ПОКАЗАТЕЛИ АЗОТИСТОГО ОБМЕНА В КРОВИ КОРОВ

[1]Милушев Ринат Келимулович
[1]Жариков Вадим Сергеевич
[1]Шулаев Геннадий Михайлович
[1]Доровских Владимир Иванович

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

Реферат. *Кормовая ценность современных балансирующих концентратов, предназначенных для кормления коров, основывается на сочетании энергии, легко усваиваемого протеина и современных биологически активных веществ. Предложен концентрат для балансирования рационов кормления коров с использованием компонента из экструдированных полножирных льняных семян. В состав концентрата включены биологически активные вещества: витамин Е, органические формы микроэлементов селена и йода. Изучено влияние рациона, составом, масс.%: семена полножирного льна экструдированные – 70; кукурузная дерть экструдированная – 29.83; витамин Е (50%) – 0,007; селено Ки (0,25%) – 0,007; ОМЭК - J (2.5%) – 0,003; соль поваренная – 0,153, на обмен азотистых веществ и продуктивность при раздое коров. Концентрат исследовали на двух группах (по 5 гол.) коров-аналогов черно-пестрой голштино - фризской породы. Контрольная группа получала хозяйственный рацион, опытная – помимо него кормовой концентрат в количестве 650 г на голову в сутки. У животных из опытной группы содержание общего белка в сыворотке крови находилось в пределах 88-89 г/л, а отношение альбуминов к глобулинам (коэффициент А/Г) было оптимальное - 0,50 и 0,58. Наличие в крови большого количества мочевины и глюкозы (3,72 – 4,22 ммоль/л; 2,40 – 2,70 ммоль/л) свидетельствовало о том, что у них активно протекали синтетические процессы, связанные с лактацией.*

Интенсивными были окислительно-восстановительные процессы, на что указывало высокое содержание гемоглобина в крови: 113 -134 г/л. Для объективной оценки массива данных, полученных при биохимических исследованиях крови, использован интегральный показатель - обобщенная «функция желательности» Харрингтона. Продуктивность животных из опытной группы была на 6,75 кг молока выше, чем в контрольной (20,4%). Пищевая ценность была высокой, оно содержало 3,12% белка и 3,64% жира. По полученным результатам экспериментальный балансирующий концентрат и рацион, содержавший его, оказывают благоприятное влияние на обмен азотистых веществ и продуктивность коров.

Ключевые слова: *кормовой концентрат, лен, азотистый обмен, показатели крови, микроэлементы, показатель «желательности», молочная продуктивность.*

EFFECTS OF A DIET CONTAINING FLAX SEED CONCENTRATE ON INDICATORS OF NITROGEN EXCHANGE IN THE BLOOD OF COWS

[1]Milushev Rinat
[1]Zharikov Vadim
[1]Shulaev Gennady
[1]Dorovskih Vladimir
[1]All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture

Abstract. *The nutritional value of modern balancing concentrates for cow feeding is based on a combination of energy, easily digestible protein and modern biologically active substances. A concentrate is proposed for balancing the rations of feeding cows using a component from extruded full-fat flaxseeds. Biologically active substances: vitamin E, organic forms of microelements selenium and iodine are included in the concentrate. Influence of the diet, composition, wt.%: Extruded full fat flax seeds - 70; extruded corn pulp - 29.83; vitamin E (50%) - 0.007; Seleno Ki (0.25%) - 0.007; OMEC - J (2.5%) - 0.003; table salt - 0.153, on the metabolism of nitrogenous substances and productivity when milked cows were studied. The concentrate was studied on two groups (5 animals each) of cows-analogs of the black-and-white Holstein-Friesian breed. The control group received a household ration, the experimental group - in addition to it, feed concentrate in the amount of 650 g per head per day.The content of total protein in blood serum was in the range of 88-89 g / l, and the ratio of albumin to globulins (A / G ratio) was optimal - 0.50 and 0.58 in animals from the experimental group. The presence in the blood of a large amount of urea and glucose (3.72 - 4.22 mmol / l; 2.40 - 2.70 mmol / l) indicated that they were actively involved in synthetic processes associated with lactation. Redox processes were intense, as indicated by the high content of hemoglobin in the blood: 113 -134 g / l. The integral indicator - the generalized "desirability function" of Harrington was used for an objective assessment of the data set obtained in biochemical blood tests. The productivity of animals from the experimental group was higher than in the control group (20.4%) by 6.75 kg. The nutritional value was high, with 3.12% protein and 3.64% fat. According to the results obtained, the experimental balancing concentrate and the diet containing it have a beneficial effect on the metabolism of nitrogenous substances and the productivity of cows.*

Keywords: *fodder concentrate, fullfat flax, nitrogenous exchange, blood indicators, microelements, "desirability" indicator, dairy efficiency.*

Введение. Основным резервом роста эффективности производства молока является обеспечение качества технологических процессов, что позволит повысить уровень использования биологического потенциала животных [8]. В практике кормления дойных коров особо выделяются первые 100 дней лактации, так как на этот период приходится 40-45 % молочной продуктивности. Она на 60% зависит от кормления и на 20% от уровня племенной работы, все остальное определяют условия содержания [2]. Кормление лактирующих коров значительно отличается от кормления сухостойных [15].

Одной из главных особенностей современного молочного скотоводства является доминирование технологических и экономических требований над биологическими потребностями животного. Цель такого подхода – быстрое достижение прибыли при минимальных затратах. Это противоречие можно гармонизировать использованием

высококачественных кормовых рационов. Балансирование таких рационов можно обеспечить с помощью кормовых добавок или концентратов, повышающих усвоение кормов. Полезные свойства таких добавок, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты, белки, полисахариды, флавоноиды, антиоксиданты, витамины, микроэлементы, играющие определяющую роль в обмене веществ и в синтезе ряда новых в организме, не вызывают сомнения [1,4,12,13,25,28]. Они могут также проявлять антибиотические свойства [26].

В этой области проблемой является небольшой ассортимент специализированных добавок из доступного растительного сырья с высоким содержанием энергии и биологически ценных веществ, предназначенных для крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. Зачастую в них используются или труднодоступные вещества, или находящиеся в форме, которая плохо усваивается и трансформируется в ценные питательные элементы и продукцию организмом животных. Не применяется принцип синергизма при создании рецептов добавок. Весьма сложны их состав и технология изготовления. Мало используются новейшие кормовые средства.

Семена полножирного льна являются кормом, который стал использоваться в кормлении молочного скота недавно. Они богаты белком, полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), в том числе линолевой (омега -6), линоленовой (омега-3). Содержат до 10% слизистых веществ, которые образовывать вводе клейкую слизь. Под ее влиянием в рубце жвачных животных дольше задерживается химус, обеспечивая лучшие условия для преобразования содержимого рубца микробами [11, 23, 25, 28].

Льняное семя является лучшим естественным источником селена [23]. Использование селеноорганических соединений способствует увеличению продуктивности животных, нормализации обмена веществ в их организме, снижает окислительные процессы в периоды напряженного физиологического состояния. Ценное свойство селена - его способность поддерживать активность витамина Е. Это важнейший предшественник компонентов молока, играет ведущую роль в обмене липидов, предохраняет полиненасыщенные жирные кислоты от разрушения [13].

Селен является синергистом йода. Обогащение рационов и, как следствие, молока йодом нормализует функции щитовидной железы, энергетический обмен, укрепляет иммунитет. Установлено, что полноценное функционирование йода в организме затруднено при дефиците селена. В России разработан комплексный препарат йода — ОМЭК-J. Йод в нем представлен ковалентным соединением с белковой частью биомассы хлебопекарных дрожжей. В таком виде он устойчив к воздействию внешних факторов и не разрушается в процессе производства корма и при хранении, что свойственно его неорганическим соединениям. Доказано, что применение препарата повышает продуктивность коров [3].

Цель работы заключалась в установлении влияния рациона, содержавшего экспериментальный концентрат, предназначенный для повышения молочной продуктивности, при его использовании в начальной стадии лактации коров.

Материалы и методы исследования. Разработан состав кормового концентрата из природных компонентов и современных биологически активных веществ, которые могут изменять у животных обмен веществ, обеспечивая повышение продуктивности. Состав экспериментального концентрата, мас.%: семена полножирного льна экструдированные – 70; кукрузная дерть экструдированная– 29.83; витамин Е (50%) – 0,007; селено Ки (0,25%) – 0,007; ОМЭК - J (2.5%) – 0,003; соль поваренная – 0,153. Все компоненты стандартизированы в соответствии с требованиями Российского законодательства и разрешены для использования в животноводстве.

Проведены производственные испытания концентрата на двух группах (по 5 гол.) коров черно-пестрой голштинской породы. Контрольная группа получала комбикорм, используемый в хозяйстве, опытная – такой же комбикорм, но содержавший кормовой концентрат в количестве 650 г на голову в сутки. Рацион животных, участвовавших в эксперименте, по содержанию питательных веществ и их соотношению соответствовал рекомендованным нормам кормления для коров живой массой 600 кг и среднесуточным удоем 25-30 кг молока [2,17]. Исследования проводились в условиях зимне-стойлового содержания на фоне сложившегося в хозяйстве рациона кормления. Коровы получали 2,5 кг комбикорма, сено кострово-люцерновое в количестве 1 кг, сенаж люцерновый – 5 кг, силос кукурузный – 21 кг, жом сырой – 7 кг. Состав комбикорма был, %: пшеница-20, ячмень – 6,7; кукуруза- 26,7; шрот подсолнечный - 20,0; шрот рапсовый -

13,3; шрот соевый-13,3; энергетическая кормовая добавка «Каустарт» - 0,008. В 1 кг он содержал 11,4 МДж Обменной энергии и 19,1 % переваримого протеина. Условия содержания подопытных животных были одинаковые: кормление два раза, поение из автопоилок. Опыт продолжался 58 дней. Для оценки молочной продуктивности и качества молока проводили ежедекадные контрольные доения. От каждого животного отбиралось по 3 образца для анализа. Анализ молока проводили в ООО «Центр сертификации» Тамбовской области и Лаборатории селекционно-генетического контроля ФГБНУ ВНИИТиН.

Обменные процессы в организме животных изучались путем определения основных показателей азотистого обмена. Для этого в начале и конце эксперимента были взяты образцы крови из хвостовой вены, через 3 часа после утреннего кормления. Использовались вакуумные пробирки. Консервант – ЭДТА. Анализ количества общего белка, его фракций, мочевины, кальция и фосфора, концентрацию глюкозы и гемоглобина – проводили по общепринятым методикам в цельной крови. Активность ферментов аспартат аминотрансферазы (АСТ), аланин аминотрансферазы (АЛТ), гаммаглютамил трансферазы (ГГТ) определяли с помощью биохимического анализатора Sapphir 400 (Hirose Electronic System, Япония). Для установления нормальных интервалов показателей крови пользовались сведениями, которые приводятся в современной научной литературе [5,6,16,29,30]. В основу интерпретации результатов были положены следующие принципы: учет породности, стадии лактации, продолжительность наблюдений, одинаковые методы определения и единицы измерений полученных показателей.

Для объективной оценки массива данных, полученных при биохимических исследованиях крови, использовался интегральный показатель, который дополнял характеристику биохимических процессов, происходивших в организме животных. Для этого была использована обобщенная «функция желательности» Харрингтона [27]. В основе построения обобщенной функции лежит идея преобразования полученных значений показателей свойств (в различных единицах измерения) в единую безразмерную числовую шкалу желательности с фиксированными границами от 0 до 1 и последующего отображения частных количественных шкал в обобщённые шкалы критериев качества. Это даёт возможность не только оценить абсолютные величины показателей, но и выявить, насколько они близки к области ухудшения, руководствуясь строгими интервальными диапазонами: от 0 до 0,20 («очень плохо»); от 0,20 до 0,37 («плохо»); от 0,37 до 0,63 («удовлетворительно»); от 0,63 до 0,80 («хорошо»); от 0,80 до 1,00 («отлично»). В дополнение к простому сравнению, параметры системы показателей были пересчитаны в числовые значения. Последние были использованы для получения общего коэффициента. Это дало возможность объективно оценить различные процессы и облегчить их сравнение. Цифровой материал исследований был обработан с использованием t-критерия Стьюдента. Достоверными признавались различия при значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Оптимальный менеджмент на ферме по производству молока помогает устанавливать нарушения в обмене веществ у животных еще в субклинической стадии, дает возможность сохранять здоровье животных и получать качественную продукцию. Это положительно скажется на финансовых результатах работы [14].

Количество общего белка и альбуминов у животных из обеих групп находилось у верхней границы нормы: 90-88 г/л и 38-37 г/л. Е.В. Громыко, П.А. Фоменко с соавт. сообщают и о более высоких значениях этих показателей [5,24]. О высоких значениях общего белка в крови черно-пестрых голштинизированных коров (93,6-95,8 г/л) сообщают и Л.В. Романенко с соавт., Г.А. Горошникова с соавт.[14,18]. Полученные нами данные сопоставимы с результатми этих исследователей. Концентрация общего белка в крови, взятой от коров из опытной группы, была ниже аналогичного показателя в контрольной группе на 2,3%.

Количество глобулинов в крови у коров из опытной группы было выше норматива. У животных из обеих групп было ниже нормы содержание в крови α -глобулиновой фракции белков. Это было связано со снижением их синтеза клетками печени [20]. Остальные фракции (β и γ) были в пределах нормы. По содержанию в крови γ-глобулиновой фракции коровы из опытной группы опережали контрольных на 3,6%.

Мочевина является главным продуктом обмена белков. Она образуется в печени. Количество мочевины в крови у животных из обеих групп было в пределах нормы: 3,51-3,72 ммоль/л. По ее концентрации в крови опытные животные опережали контрольных на 6%. Отношение А/Г было высоким в обеих группах и укладывалось в норматив: 0,58-0,62 [5]. Однако у животных из опытной группы оно было на 6,5% ниже.

Таблица 1 – Биохимические показатели крови коров, (n=5)

Показатели	Нормы [5-7]	В начале опыта		В конце опыта	
		Группы		Группы	
		Контрольная	Опытная	Контрольная	Опытная
Общий белок, г/л	70-92	90,00±2,72	88,00±3,26	88,00±3,10	89,00±2,13
Альбумины, г/л	25-36	38,00±1,14	37,00±0,84	28,85±2,68	29,80±3,18
Глобулины, г/л	40-63	61,08±3,52	64,37±2,76	58,75±5,09	59,40±5,04
Глобулины, %: α	12-20	11,98±1,30	10,52±0,56	13,91±0,99	13,74±1,51
β	10-15	12,38±1,13	14,98±3,02	12,78±0,95	13,34±1,01
γ	25-40	39,59±3,10	41,01±3,08	39,38 ±4,34	39,18±4,41
Отношение А/Г	0,4-0,8	0,62	0,58	0,49	0,50
Мочевина, мМ/л	2,4-7,5	3,51 ±0,17	3,72±0,16	3,91±0,05	4,22±0,11
АСТ, ед/л	46-108	174,00 ±7,44	189,00 ±22,89	115,00 ±8,28	103,00 ±7,14
АЛТ, ед/л	12-35	32,00 ±2,51	40,00 ±3,93	35,00 ±4,51	30,00 ±2,16
ГГТ, ед/л	7-48	36,00 ±5,97	31,00 ±3,48	28,00 ±1,87	35,00 ±2,37*
Гемоглобин, г/л	84-122	117,00 ± 2,01	113,00 ± 2,72	129,00 ± 3,81	134,00 ± 5,49
Глюкоза, мМ/л	1,6–4,2	3,70 ± 0,04	2,70 ± 0,07	2,30 ± 0,09	2,40 ± 0,08

*P<0,05

Интенсивность обменных процессов в организме животного определяется активностью его ферментов. Трансаминазы – аспарагиновая и аланиновая (АСТ и АЛТ: КФ 3.1.3.1) выполняют в нем важную роль. Исследование активности этих ферментов помогает оценить синтетическую функцию печени. Процесс переаминирования способствует образованию тех аминокислот, которых не хватает в рационе, что является показателем интенсивности метаболизма белков в организме. Аминотрансферазы (АСТ и АЛТ) принимают активное участие в азотистом обмене, осуществляя связь через кетоглутаровую, щавелевоуксусную и пировиноградную кислоты между белковым, углеводным и жировым обменами.

Начало лактации характеризовалось высокой активностью ферментов переаминирования в крови животных из обеих групп. По активности в крови АСТ и АЛТ коровы из опытной группы превосходили контрольных. Значения активностей этих ферментов у них были выше нормы. О высоких значениях активности в крови коров этих ферментов в начале лактации сообщают О.А. Слесарева с соавт., Г.А. Горошникова, В.И. Еременко с соавт. [4, 9, 22]. Полученные нами значения вполне сопоставимы с данными этих исследователей.

По активности в крови гаммаглютамилтрансферазы (ГГТ) коровы из опытной группы на 14% уступали контрольным. ГГТ: синоним —гамма-глютамилтранспептидаза, ГГТП, (КФ 2.3.2.2.). Фермент, который катализирует перенос гамма-глутамилового остатка с гамма-глутамилового пептида на аминокислоту или другой пептид. Этот процесс характеризует направленность обмена белков в организме. Снижение активности ГГТ в крови у опытных животных свидетельствовало о ухудшении обмена белков у них в печени [21].

Количество гемоглобина в крови соответствовало норме в обеих группах. Однако животные из опытной группы отличались от контрольных пониженным на 3,5% его количеством. У коров из опытной группы в начале опыта количество глюкозы в крови на 27% было ниже, чем у контрольных. Ее значение находилось у верхней границы нормы. В целом у коров из обеих групп большая часть изучаемых показателей находилась в пределах физиологической нормы и соответствовала начальной стадии лактации [5-7].

В начале лактации картина биохимических процессов, обеспечивавших в рамках гомеостаза, обмен азотистых веществ в организме у опытных коров, характеризовалась следующими особенностями. В крови этих животных было повышено содержание общего белка и мочевины. Понижен уровень α -глобулинов и глюкозы. Повышенное количество мочевины, пониженный уровень глобулинов и глюкозы свидетельствовали о не оптимальном соотношении энергии и протеина в рационе. Отмечавшаяся высокая активность аминотрансфераз свидетельствовала о

преобладании у животных из опытной группы процесса переаминирования, направленного в рассматриваемом случае на восполнение недостатка энергии за счет распада аминокислот [19]. Меньшее по сравнению с контролем количество гемоглобина у них в крови говорило о снижении интенсивности окислительно-восстановительных процессов. Поэтому по нашему мнению коровы из опытной группы испытывали не оптимальную метаболическую нагрузку на фоне интенсивного расхода питательных веществ из собственного тела для синтеза компонентов молока даже при потреблении качественного рациона. Такой вывод подтверждается рассчитанной «функцией желательности» Харрингтона.

Таблица 2 – Показатель «желательности» Харрингтона

Группа	Обобщенный показатель желательности	
	Биохимический анализ крови в начале опыта	Биохимический анализ крови в конце опыта
Контрольная	0,4125	0,6122
Опытная	0,3131	0,6337

Анализ таблицы 2 показывает, что в начале опыта, по обобщенному параметру «желательности», биохимические показатели крови от коров из контрольной группы были лучше, чем от опытной: 0,4125 > 0,3131 и находились в интервальном диапазоне от 0,37 до 0,63 - «удовлетворительно».

В конце опыта количество общего белка в крови у животных из опытной группы по-прежнему было высоким: 89 г/л. Концентрации альбуминов и глобулинов в крови у коров опытной группы была в пределах нормы [6]. У коров из контрольной группы достоверно снизилось к концу опыта содержание в крови альбуминов (P<0,05). По количеству общего белка в крови опытные коровы опережали контрольных на 1,1%, а по количеству мочевины на 7,9%. К концу опыта количество мочевины в крови от опытных животных достоверно увеличилось (P<0,05). По количеству фракций глобулинов, содержавшихся в крови контрольных и опытных коров, разницы не установлено. Отношение А/Г у животных из обеих групп было в пределах нормы, но снизилось по отношению к началу лактации. Такие изменения были связаны с интенсивной лактацией [10,19].

В крови животных из опытной группы снизилась до нормальных значений активность АСТ на 10,4%, (P<0.01) и АЛТ на 14,3% (P>0.05). У них в крови повысилась на 25% активность ГГТ. Разница между животными из опытной и контрольной групп по этому показателю была достоверной (P<0,05). Снижение уровня АСТ было связано с одной стороны с увеличенной продолжительностью жизни клеток печени [1]. С другой стороны - ослаблением интенсивности процесса переаминирования. Об этом свидетельствовала повышенная активность фермента ГГТ, которая была направлена на удовлетворение пластических потребностей организма [21]. Животные из опытной группы отличались повышенным на 3,9% по сравнению с контролем уровнем гемоглобина. Количество этого метаболита в крови контрольных и опытных животных соответствовало норме и достоверно (P<0,01; и P<0,05) увеличилось в конце опыта. Все эти факты свидетельствовали о том, что в конце опыта обмен азотистых веществ и окислительно-восстановительные процессы у этих животных стали более оптимальными чем у контрольных. Такой вывод подтверждается и обобщенным показателем желательности. У опытной группы он стал выше: 0,6337 > 0,6112 и находился в интервальном диапазоне от 0,63 до 0,8 – «хорошо».

Молочная продуктивность животных из опытной группы была на 6,75 кг выше, чем в контрольной (20,4%). Пищевая ценность молока животных, получавших в составе рациона концентрат, была высокой. В нём содержалось 3,12% белка и 3,64% жира.

Заключение. Использование в составе комбикорма в течение 58 дней концентрата, в количестве 650 г на голову в сутки, содержавшего комплекс энергетических и биологически активных веществ, оказало благоприятное влияние на обмен азотистых веществ и его направленность в организме коров. Концентрат содержит оптимальные количества растительных компонентов, биологически активных веществ, в нем отсутствуют антипитательные факторы. Он обеспечивает сбалансированное кормление коров и повышает их молочную продуктивность. Поэтому такое кормовое средство может успешно использоваться в кормлении высокопродуктивного молочного скота.

Список литературы

1. Боголюбова Н.В., Романов В.Н., Рыков Р.А. Особенности обменных процессов в организме коров с использованием в рационах комплекса дополнительного питания // Генетика и разведение животных. – 2019. - №4. – С. 92-97.

2. Буряков Н. П. Кормление высокопродуктивного молочного скота. – М. : Проспект, 2009. – 416 с.

3. Быкова Е.В., Коробов А.П., Гуменюк А.П. Влияние органического микроэлементного комплекса йода ОМЭК-J на метаболические процессы в организме дойных коров // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 6. – С. 3-6.

4. Горошникова Г.А., Дроздова Л.И., Белоусов А.И. Особенности метаболического профиля у коров в селенодефицитной зоне // Аграрный вестник Урала. – 2015. - №3(133). – С.15-17.

5. Громыко Е.В. Оценка состояния организма коров методами биохимии // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2005. – №2. – С.80-94.

6. Гусев И.В., Рыков Р.А. Референтные интервалы биохимических показателей крови для контроля полноценности кормления молочного скота // Молочное и мясное скотоводство. – 2018. – №6. – С. 22-25.

7. Контроль биохимического статуса свиней и коров: руководство / И.В. Гусев, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков, Г.Н. Левина – Дубровицы, 2019. – 40с.

8. Доровских В.И., Доровских Д.В. Принципы управления качеством технологических процессов в молочном животноводстве // Наука в Центральной России. – 2014. – №6(12). – С. 22-28.

9.Еременко В.И., Бунцева Е.Г. Динамика аминотрансфераз, общего белка и функции щитовидной железы у коров с разной молочной продуктивностью // Вестник Курской ГСХА. – 2012. – №6. – С. 62-64.

10. Жариков Я.А., Канева Л.А. Взаимосвязь суточного удоя и биохимического статуса сыворотки крови коров // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – №2(39). – С. 51-53.

11. Зубов В.А., Осипова Л.Л., Лебедева Т.И. Льняное семя, его состав и свойства // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. – 2016. – №2. – С. 14-16.

12. Иванова О.В., Иванов Е.А., Филипьев М.М. Биохимические показатели крови и продуктивность коров под действием комбинированной кормовой добавки // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – №6. – С. 215-219.

13. Корочкина Е.А. Влияние микроэлементов цинка, кобальта, йода, селена, марганца, меди на здоровье и продуктивные качества животных // Генетика и разведение животных. – 2016. – №3. – С.69-73.

14. Костомахин Н.М. Нарушение обмена веществ у дойных коров как показатель менеджмента фермы // Главный зоотехник. – 2013. – № 6. – С. 52-56.

15. Костомахин Н.М. Основы современного производства молока: метод. рекомендации. – Hunland trade, 2014. – С.25.

16. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики / И.П. Кондрахин и др.; под ред. В.Н. Сайтаниди. – М.: Колос, 2004. – 520 с.

17. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах / Р.В. Некрасов, А.В. Головин, Е.А. Махаев и др. – Москва, 2018. – 290 с.

18. Романенко Л.В., Пристач Н.В., Федорова З.Л. Уровень обменных процессов в организме коров с продуктивностью выше 10000 кг молока // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – С. 125 - 134.

19. Самбуров Н.В., Кибкало Л.И., Лебедько Е.Я. Оценка состояния метаболизма у высокопродуктивных коров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №1. – С.83-86.

20. Семерунчик А.Д. Особенности содержания белковых фракций в сыворотке крови глубокостельных коров разного возраста // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – №7-2. – С.212-214.

21. Современные способы улучшения здоровья и роста продуктивности жвачных животных / В.Н. Романов, Н.В. Боголюбова, Г.Ю. Лаптев, Л.А. Ильина // Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2019. – С.38.

22. Слесарева О.А., Омаров М.О. Унифицированная система контроля состояния обмена веществ у коров // Сборник научных трудов Северо-Кавказского НИИЖ. – 2017. – Т. 6, №3. – С.149-157.

23. Сигарева М.А., Могильный М.П., Шалтумаев Т.Ш. Использование продуктов переработки семян льна для производства изделий повышенной пищевой ценности // Известия вузов. Пищевая технология. – 2015. – №5-6. – С.42-45.

24. Фоменко П.А., Серова С.В. Анализ влияния рационов на биохимические показатели крови // Молочнохозяйственный вестник. – 2013. – №4 (12). – С.45-50.

25. Хисматуллина А.Р. Влияние кормовой добавки «Полисол омега – 3» на продуктивность дойных коров // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины. – 2015. – №222(2). – С. 240-242.

26. Akbarian- Tefaghi M., Ghasemi E., Khorvash M. Performance, rumen fermentation and blood metabolites of dairy calves fed starter mixtures supplemented with herbal plants, essential oils or monensin / Akbarian- Tefaghi // Journal of Animal physiology and Animal nutrition. – 2018. – vol.102(2). – P.1-9.

27. Harrington J. The desirability function // Industrial Quality Control. – 1965. – vol. 21 (10). – P. 494-498.

28. Newkirk R. Flax feed industry guide. – Winnipeg, Manitoba, 2015. – P. 17 – 19 c.

29. Puppel K., Kuczyńska B. Metabolic profiles of cow's blood // Journal of Food and Agriculture. – 2016. – Vol. 96. - Is. 13. – P. 4321-4328.

30. Short communication: Reference values for blood parameters in Holstein dairy cows: Effects of parity, stage of lactation, and season of production / G. Cozzi, L. Ravarotto, F. Gottardo at al. // Journal of Dairy Science. – 2011. - Vol. 94. - Is. 8. - P. 3895-3901.

References

1. Bogolyubova N.V., Romanov V.N., Rykov R.A. Osobennosti obmennyh processov v organizme korov s ispol'zovaniem v racionah kompleksa dopolnitel'nogo pitaniya // Genetika i razvedenie zhivotnyh. – 2019. - №4. – S. 92-97.

2. Buryakov N. P. Kormlenie vysokoproduktivnogo molochnogo skota. – M. : Prospekt, 2009. – 416 s.

3. Bykova E.V., Korobov A.P., Gumenyuk A.P. Vliyanie organicheskogo mikroelementnogo kompleksa joda OMEK-J na metabolicheskie processy v organizme dojnyh korov // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. – 2017. – № 6. – S. 3-6.

4. Goroshnikova G.A., Drozdova L.I., Belousov A.I. Osobennosti metabolicheskogo profilya u korov v selenodeficitnoj zone // Agrarnyj vestnik Urala. – 2015. - №3(133). – S.15-17.

5. Gromyko E.V. Ocenka sostoyaniya organizma korov metodami biohimii // Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza. – 2005. – №2. – S.80-94.

6. Gusev I.V., Rykov R.A. Referentnye intervaly biohimicheskih pokazatelej krovi dlya kontrolya polnocennosti kormleniya molochnogo skota // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. – 2018. – №6. – S. 22-25.

7. Kontrol' biohimicheskogo statusa svinej i korov: rukovodstvo / I.V. Gusev, N.V. Bogolyubova, R.A. Rykov, G.N. Levina – Dubrovicy, 2019. – 40s.

8. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V. Principy upravleniya kachestvom tekhnologicheskih processov v molochnom zhivotnovodstve // Nauka v Central'noj Rossii. – 2014. – №6(12). – S. 22-28.

9. Eremenko V.I., Bunceva E.G. Dinamika aminotransferaz, obshchego belka i funkcii shchitovidnoj zhelezy u korov s raznoj molochnoj produktivnost'yu // Vestnik Kurskoj GSKHA. – 2012. – №6. – S. 62-64.

10. ZHarikov YA.A., Kaneva L.A. Vzaimosvyaz' sutochnogo udoya i biohimicheskogo statusa syvorotki krovi korov // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2014. – №2(39). – S. 51-53.

11. Zubov V.A., Osipova L.L., Lebedeva T.I. L'nyanoe semya, ego sostav i svojstva // ZHurnal Rossijskogo himicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva. – 2016. – №2. – S. 14-16.

12. Ivanova O.V., Ivanov E.A., Filip'ev M.M. Biohimicheskie pokazateli krovi i produktivnost' korov pod dejstviem kombinirovannoj kormovoj dobavki // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – №6. – S. 215-219.

13. Korochkina E.A. Vliyanie mikroelementov cinka, kobal'ta, joda, selena, marganca, medi na zdorov'e i produktivnye kachestva zhivotnyh // Genetika i razvedenie zhivotnyh. – 2016. – №3. – S.69-73.

14. Kostomahin N.M. Narushenie obmena veshchestv u dojnyh korov kak pokazatel' menedzhmenta fermy // Glavnyj zootekhnik. – 2013. – № 6. – S. 52-56.

15. Kostomahin N.M. Osnovy sovremennogo proizvodstva moloka: metod. rekomendacii. – Hunland trade, 2014. – S.25.

16. Metody veterinarnoj klinicheskoj laboratornoj diagnostiki / I.P. Kondrahin i dr.; pod red. V.N. Sajtanidi. – M.: Kolos, 2004. – 520 s.

17. Normy potrebnostej molochnogo skota i svinej v pitatel'nyh veshchestvah / R.V. Nekrasov, A.V. Golovin, E.A. Mahaev i dr. – Moskva, 2018. – 290 s.

18. Romanenko L.V., Pristach N.V., Fedorova Z.L. Uroven' obmennyh processov v organizme korov s produktivnost'yu vyshe 10000 kg moloka // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – S. 125 - 134.

19. Samburov N.V., Kibkalo L.I., Lebed'ko E.YA. Ocenka sostoyaniya metabolizma u vysokoproduktivnyh korov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2012. – №1. – S.83-86.

20. Semerunchik A.D. Osobennosti soderzhaniya belkovyh frakcij v syvorotke krovi glubokostel'nyh korov raznogo vozrasta // Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. – 2013. – №7-2. – S.212-214.

21. Sovremennye sposoby uluchsheniya zdorov'ya i rosta produktivnosti zhvachnyh zhivotnyh / V.N. Romanov, N.V. Bogolyubova, G.YU. Laptev, L.A. Il'ina // Dubrovicy: FGBNU FNC VIZH im. L.K. Ernsta, 2019. – S.38.

22. Slesareva O.A., Omarov M.O. Unificirovannaya sistema kontrolya sostoyaniya obmena veshchestv u korov // Sbornik nauchnyh trudov Severo-Kavkazskogo NIIZH. – 2017. – T. 6, №3. – S.149-157.

23. Sigareva M.A., Mogil'nyj M.P., SHaltumaev T.SH. Ispol'zovanie produktov pererabotki semyan l'na dlya proizvodstva izdelij povyshennoj pishchevoj cennosti // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. – 2015. – №5-6. – S.42-45.

24. Fomenko P.A., Serova S.V. Analiz vliyaniya racionov na biohimicheskie pokazateli krovi // Molochnohozyajstvennyj vestnik. – 2013. – №4 (12). – S.45-50.

25. Hismatullina A.R. Vliyanie kormovoj dobavki «Polisol omega – 3» na produktivnost' dojnyh korov // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny. – 2015. – №222(2). – S. 240-242.

26. Akbarian- Tefaghi M., Ghasemi E., Khorvash M. Performance, rumen fermentation and blood metabolites of dairy calves fed starter mixtures supplemented with herbal plants, essential oils or monensin / Akbarian- Tefaghi // Journal of Animal physiology and Animal nutrition. – 2018. – vol.102(2). – P.1-9.

27. Harrington J. The desirability function // Industrial Quality Control. – 1965. – vol. 21 (10). – P. 494-498.

28. Newkirk R. Flax feed industry guide. – Winnipeg, Manitoba, 2015. – P. 17 – 19 s.

29. Puppel K., Kuczyńska B. Metabolic profiles of cow’s blood // Journal of Food and Agriculture. – 2016. – Vol. 96. - Is. 13. – P. 4321-4328.

30. Short communication: Reference values for blood parameters in Holstein dairy cows: Effects of parity, stage of lactation, and season of production / G. Cozzi, L. Ravarotto, F. Gottardo at al. // Journal of Dairy Science. – 2011. - Vol. 94. - Is. 8. - P. 3895-3901.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Милушев Ринат Келимулович – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: july1931@yandex.ru.

Жариков Вадим Сергеевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, vadim_688@bk.ru.

Шулаев Геннадий Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: tniij@yandex.ru.

Доровских Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

Milushev Rinat – Full Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: july1931@yandex.ru.

Zharikov Vadim – younger scientific employee of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: vadim_688@bk.ru.

Shulaev Gennady – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Technics and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: tniij@yandex.ru.

Dorovskikh Vladimir – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: dorovskih50@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021

УДК 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-128-135

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНОВОЗДЕЙСТВИЯ НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ТОПЛИВ

[1]Мещерякова Юлия Владимировна
[1]Бусин Игорь Вячеславович
[1]Мещеряков Александр Геннадьевич
[1]Корнев Алексей Юрьевич
[1]Нагорнов Станислав Александрович

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

Реферат. *Работоспособность и эффективность двигателей сельскохозяйственной техники напрямую зависит от свойств используемого топлива. Многообещающим направлением по улучшению его качества является волновое и механовоздействие, которое способно изменить структуру и свойства исходного топлива без введения реагентов. Разработан многокамерный смеситель, обеспечивающий многофакторное воздействие на обрабатываемую жидкость. Для определения оптимальных параметров его работы проведен многофакторный эксперимент. Выбран план второго порядка для трех факторов (ортогональный центрально-композиционный) с звездным плечом α = 1,212. В качестве выходного, оптимального параметра (Y) была принята кинематическая вязкость обрабатываемого дизельного топлива (υ мм^2/с). Исходными факторами (X1, X2, X3) исследуемого процесса являются: мощность ультразвукового излучателя, время обработки, давление на входе в смеситель. Результатом проведения экспериментов является уравнение регрессии, которое адекватно описывает процесс механовоздействия, что проверено по критерию Фишера. Для достижения максимального снижения кинематической вязкости (3,4-3,6 мм^2 /с) дизельного топлива определены оптимальные параметры работы смесителя: мощность ультразвукового излучателя 40-60 Вт, время обработки 27-38 сек и давление на входе в смеситель 212-213 кПа. Представлены изменения основных показателей качества дизельного и смесевого топлив до и после механовоздействия. Установлено, что применение механовоздействия способствует улучшению основных физикохимических показателей дизельного топлива: снижению значений кинематической вязкости, плотности, фракционного состава, температуры вспышки и температуры застывания.*

Ключевые слова: *дизельное топливо, механовоздействие, смеситель, кинематическая вязкость, многофакторный эксперимент, параметры.*

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF MECHANICAL ACTION ON THE KINEMATIC VISCOSITY OF FUELS

[1]Meshcheryakova Yulia
[1]Busin Igor
[1]Meshcheryakov Alexander
[1]Alexey Kornev
[1]Nagornov Stanislav
[1]All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture

Abstract. *The performance and efficiency of agricultural machinery engines directly depends on the properties of the fuel used. A promising destination for improving its quality is wave and mechanical action, which can change the structure and properties of the initial fuel without the introduction of reagents. A multi-chamber mixer has been developed, which provides a multifactorial effect on the processed liquid. A multifactorial experiment was carried out to determine the optimal parameters of its work. A second-order plan for three factors (orthogonal center-compositional) with a stellar shoulder α = 1.212 is selected. The kinematic viscosity of the processed diesel fuel (υ mm²/s) was taken as the output, optimal parameter (Y). The initial factors (X1, X2, X3) of the process under study are: power of the ultrasonic emitter, processing time, pressure at the mixer inlet. The result of the experiments is a regression equation that adequately describes the process of mechanical action, which is verified by Fisher's criterion. The optimal parameters of the mixer operation: the power of the ultrasonic emitter 40 – 60 W, the processing time 27-38 sec and the pressure at the mixer inlet 212-213 kPa were determined to achieve the maximum reduction in the kinematic viscosity (3.4-3.6 mm²/s) of diesel fuel. Changes in the main indicators of the quality of diesel and mixed fuels before and after mechanical action are presented. It was found that the use of mechanical action contributes to the improvement of the main physicochemical indicators of diesel fuel: a decrease in the values of kinematic viscosity, density, fractional composition, flash point and pour point.*

Keywords: *diesel fuel, mechanical action, mixer, kinematic viscosity, multivariate experiment, parameters.*

Введение. Реализация Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия во многом зависит от эффективности использования нефтепродуктов в сельскохозяйственном производстве. В настоящее время по затратам углеводородного топлива отечественное производство превосходит в 2 – 5 раз зарубежные аналоги, при этом большая часть потребляемого топлива приходится на растениеводство. В этой отрасли на обработку почвы, уход за растениями, уборку урожая и его обработку расходуется свыше 80 % всех используемых нефтепродуктов.

Как известно, работоспособность и эффективность двигателей сельскохозяйственной техники напрямую зависит от свойств и качества дизельного топлива. Однако не все дизельное топливо, используемое непосредственно на местах соответствует принятым стандартам [1 – 3].

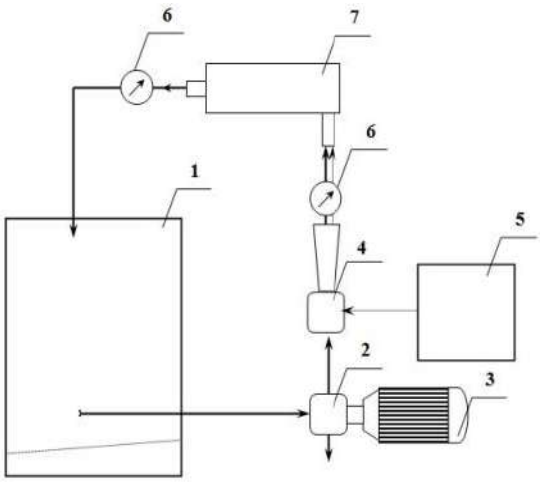
Существует множество способов улучшения качества дизельного топлива. Все их можно разделить на две группы: химические и физические. Химические способы подразумевают использование реагентов, присадок. В настоящее время в РФ применяются несколько видов присадок, однако серьезной проблемой остаётся разработка и организация достаточного производства отечественных противоизносных, депрессорно-диспергирующих присадок [4]. Помочь частично решить ее могут добавки на основе биотоплива, экологические преимущества которого хорошо известны. Вместе с тем биотопливо имеет и ряд недостатков – повышенная вязкость и коксуемость, возможный короткий срок хранения по сравнению дизельным топливом [5 – 8].

Физические способы в свою очередь можно разделить на традиционные (классические) и нетрадиционные методы. К традиционным относятся отстаивание, центрифугирование, фильтрование. Они позволяют избавиться от различных механических примесей и воды. Обработка нетрадиционными способами позволяет изменять свойства и даже состав исходного топлива [9, 10]. К нетрадиционным способам обработки можно отнести магнитную, электрическую, механическую, кавитационную, акустическую, лазерную, радиационную

обработку топлива. Чаще всего используется комбинация различных воздействий – электромагнитная обработка, виброструйная, вибромагнитная и т.д.

Материалы и методы. Эксперименты по обработке дизельного и смесевого топлив (20 % биотоплива и 80 % дизельного топлива) при помощи механовоздействия проводились на опытной установке (рисунок 1). Дизельное или смесевое топливо поступало в емкость 1 (температура жидкости в емкости 20 °С), затем насосом 2 с электроприводом 3 перекачивалась по замкнутому круговому циклу. При этом из емкости 5 через дозирующий насос подавалось биотопливо и затем смесевое топливо через манометр 6 отправлялось в многокамерный смеситель 7. За счет своей конструкции в смесителе происходило многофакторное воздействие на обрабатываемое топливо (кинематическое, кавитационное, магнитное, ультразвуковое) [11].

Для проведения исследований пользовались методом планирования многофакторного эксперимента. В качестве плана эксперимента выбран ортогональный центрально-композиционный план второго порядка для трех факторов [12, 13]. Исходными факторами исследуемого процесса взяты: мощность ультразвукового излучателя, время обработки, давление на входе в смеситель – «X_1, X_2, X_3» соответственно. В таблице 1 представлены входные факторы исследуемого процесса и их уровни варьирования. После обработки топливо анализировалось по основным физико-химическим показателям.



а) схема установки б) общий вид

1 – емкость для исходного дизельного топлива; 2 – насос; 3 – электропривод насоса; 4 – насос дозирующий; 5 – емкость для биотоплива; 6 – манометр; 7 –многокамерный смеситель

Рисунок 1 – Установка для обработки топлива

Таблица 1 – Значения факторов и их кодирование

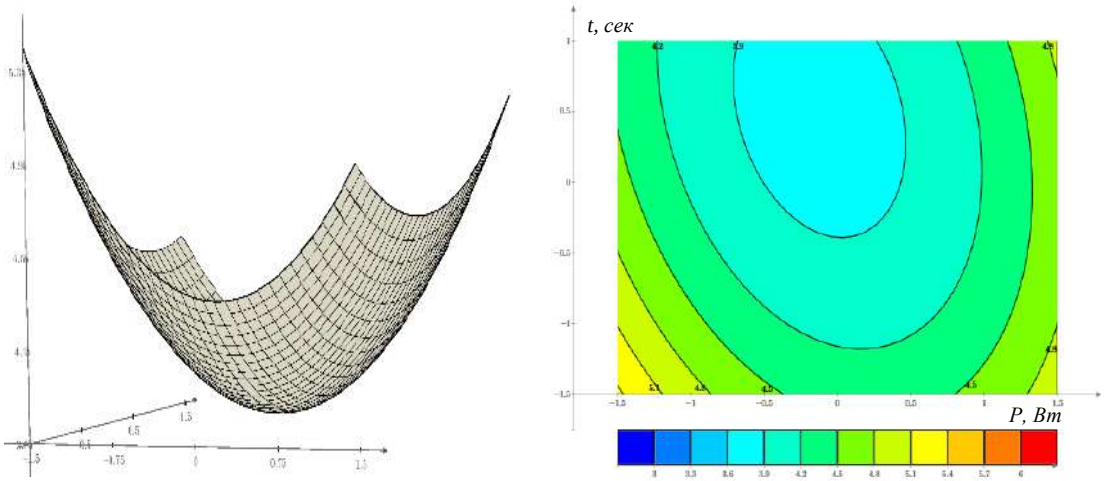
Факторы	Обозначение	Уровни варьирования				
		-1,215	-1	0	+1	+1,215
Мощность ультразвукового излучателя (*P*, Вт)	X_1	32,9	35	45	55	57,2
Время обработки (*t*, сек)	X_2	3,42	6	18	30	32,58
Давление на входе в смеситель (*p*, кПа)	X_3	90,4	101,3	151,95	202,6	213,5

Результаты и их обсуждение. За критерий оптимизации «*Y*» принята кинематическая вязкость топлива. Как известно, этот параметр является одним из основных показателей качества дизельного топлива. Отклонение кинематической вязкости от стандартных значений приводит к нарушению работы топливной аппаратуры, нарушению процесса смесеобразования и сгорания. Топливо, имеющее средний показатель вязкости 3,5-4,0 мм^2/сек при 20 ºС обладает лучшими

свойствами: более высокой проникающей способностью, обеспечивает более легкий запуск и стабильную работу двигателя при низких температурах.

В результате механовоздействия на дизельное топливо при разных параметрах с учетом плана эксперимента получено уравнение регрессии, описывающее зависимость υ=f (P, t, p): $Y = 3{,}819 + 0{,}027X_1 - 0{,}145X_2 - 0{,}233X_3 + 0{,}123X_1X_2 - 0{,}036X_1X_3 - 0{,}06X_2X_3 + 0{,}366{X_1}^2 + 0{,}158{X_2}^2 - 0{,}142 \cdot {X_3}^2$.

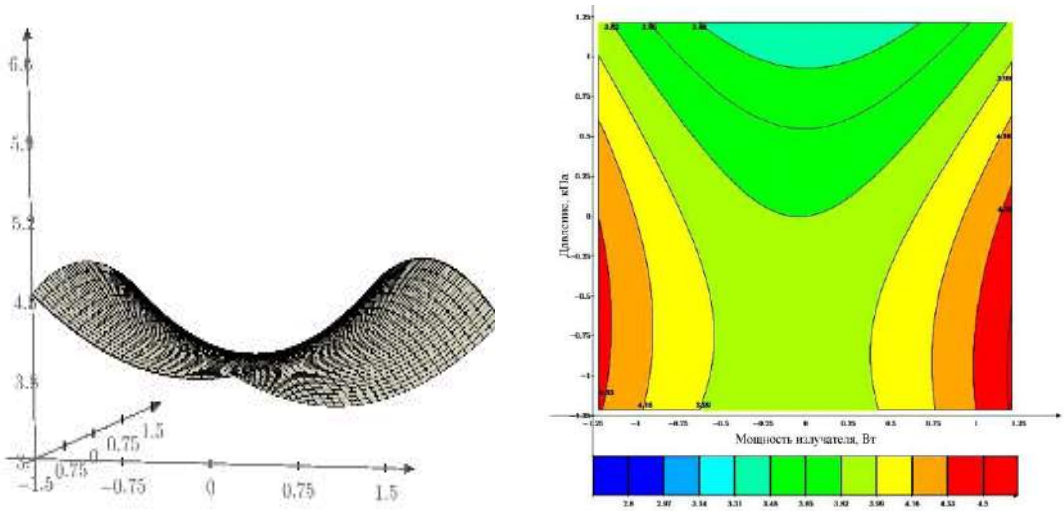
Модель проверена на адекватность по критерию Фишера. Влияние входных факторов на изменение кинематической вязкости исследуемого топлива при нулевых значениях X_1, X_2 и X_3 соответственно представлено на рисунках 2 – 4.



а) б)

Рисунок 2 – Поверхность отклика $Y = f(X_1, X_2)$ (а),
сечение поверхности откликов X_1, X_2 (б) при нулевом уровне X_3

Минимальное значение кинематической вязкости (3,6-3,9 мм^2/с) приходится на интервал времени обработки в закодированном формате от -0,2 до 1,5 и мощности ультразвукового излучателя от -0,5 до 0,5, что соответствует значениям 15,6 – 36 сек и 40 – 60 Вт (рисунок 2).

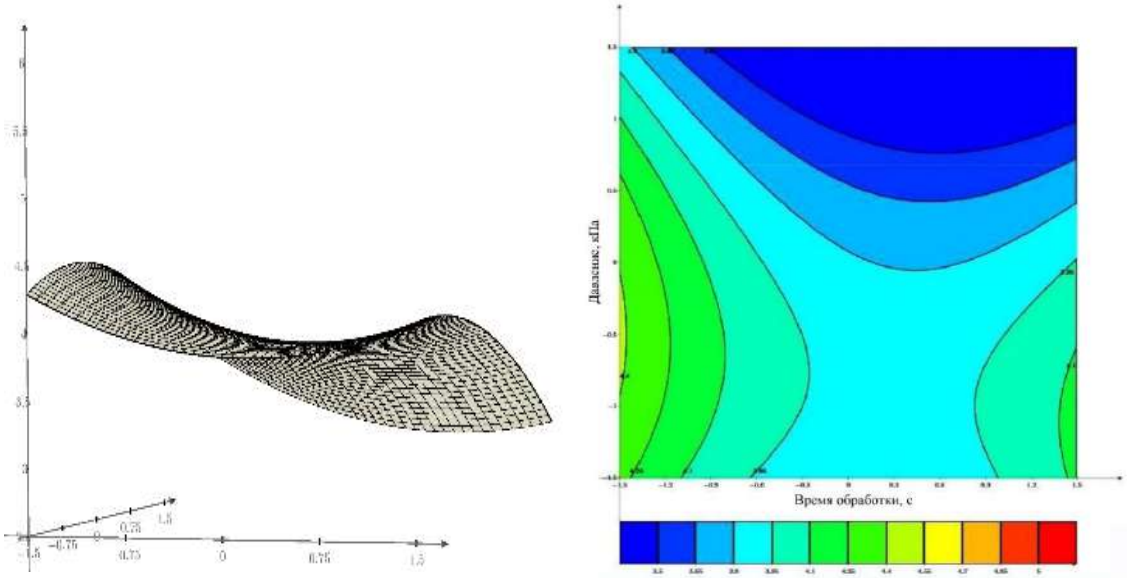


а) б)

Рисунок 3 – Поверхность отклика $Y = f(X_1, X_3)$ (а),
сечение поверхности откликов X_1, X_3 (б) - при нулевом уровне X_2

Минимальное значение кинематической вязкости (3,31-3,48 мм^2/с) приходится на интервал мощности ультразвукового излучателя в закодированном формате -0,6 до 0,5 и давлении от 1 до 1,215, что соответствует значениям 39 – 60 Вт, 202,6 – 264 кПа (рисунок 3).

Минимальное значение кинематической вязкости (3,2-3,4 мм^2/с) приходится на интервал времени обработки в закодированном формате от 0,7- 0,75 и давления от 1,2-1.4, что соответствует значениям 38 – 39 сек, 212,6-222,6 кПа (рисунок 4).



а) б)

Рисунок 4 – Поверхность отклика Y=f (X_2, X_3) (а),
сечение поверхности откликов X_2, X_3 (б) при нулевом уровне X_1

Установлено, что увеличение мощности ультразвукового излучателя, времени обработки и давлении положительно влияет на снижение показателя кинематической вязкости. Замечено, что в случае недостаточного давления ультразвуковой излучатель повышенной мощности не оказывают должного влияния на снижение кинематической вязкости. Другими словами, наблюдается для каждого вида излучателя свое оптимальное давление, выход за рамки которого влечет к снижению мощности.

Таблица 2 – Некоторые физико-химические характеристики топлив до и после обработки

Показатели	Дизельное топливо необработанное	Дизельное топливо обработанное	Смесевое топливо 20%, необработанное	Смесевое топливо 20%, обработанное
Кинематическая вязкость при 20ºС, мм^2/с	4,8	3,4	6,5	5,2
Плотность при 20ºС, кг/м^3	840	832	855	845
Температура вспышки в закрытом тигле, ºС	56	50	89	75
Температура помутнения, ºС	-5	-8	-6	-8
Температура застывания, ºС	-10	-15	-10	-14

Как видно из результатов, приведенных в таблице 2, проводимая обработка способствует улучшению основных показателей качества дизельного топлива: снижению кинематической вязкости, плотности и других параметров.

Заключение. Для достижения максимального снижения кинематической вязкости (3,4 – 3,6 мм^2/с) дизельного топлива определены оптимальные параметры работы смесителя: мощность ультразвукового излучателя 40-60 Вт, время обработки 27-38 сек и давление 212-213 кПа. Представлены изменения основных показателей качества дизельного и смесевого топлив до и

после механовоздействия. Применение механовоздействия способствует улучшению основных физико-химических показателей дизельного топлива: снижению значений кинематической вязкости, плотности, температуры вспышки и температуры застывания.

Список литературы

1. Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т. Анализ причин снижения качества топлив, используемых отечественными сельскохозяйственными предприятиями / В сборнике: Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве. – 2016. – С. 117-122.

2. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Ерохин И.В. К вопросу качества нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3 (13). – С. 178-181.

3. Корнев А.Ю., Ликсутина А.П., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Алибаев Б.Т. Контроль качества светлых нефтепродуктов на сельскохозяйственных предприятиях / В сборнике: 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. Данилов А.М. Новый взгляд на присадки к топливам (обзор) / А.М. Данилов // Нефтехимия. – 2020. – Т.60 № 2. С. 163-171

5. Улюкина Е.А., Нагорнов С.А., Романцова С.В Свойства биотоплив растительного происхождения / Е.А. Улюкина, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова // Наука в центральной России. - 2014. - № 2 (8). С. 62-69.

6. Улюкина Е.А. Перспективы применения биотоплива при эксплуатации сельскохозяйственной и мобильной техники / Е.А. Улюкина // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - 2019. - № 57. - С. 183-193.

7. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В., Мещеряков А.Г. Получение биодизельного топлива из непищевого растительного сырья / Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В., Мещеряков А.Г. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. - 2017. Т.7. - № 3 (22). - С. 110-116

8. Улюкина Е. А. Особенности применения биотоплива в сельскохозяйственном производстве // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. - 2019. - № 6 (94). -С. 23-27.

9. Пивоварова Н.А. Использование волновых воздействий в переработке углеводородногосырья (обзор) / Н.А. Пивоварова // Нефтехимия. – 2019. – Т.59 № 6. С. 727-738

10. Бусин И.В., Корнев А.Ю. Исследование влияния механоактивации на характеристики биотоплива / Корнев А.Ю., Бусин И.В. // Наука в центральной России. - 2019. - № 2. - С.123-129.

11. Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Мещеряков А.Г. Способ очистки дизельного топлива // Патент на изобретение RU 2645676 C1, 27.02.2018. Заявка № 2017110133 от 27.03.2017.

12. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий- М.: Наука, 1976. - 280 с.

13. Определение конструктивно-режимных параметров аппарата для гнездового посева семян сои / А.Н. Зазуля, А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.А. Синельников, С.Г. Хайруллина // Наука в центральной России. - 2019. - № 3 (39). - С. 15-19.

References

1. Kornev A.Ju., Nagornov S.A., Alibaev B.T. Analiz prichin snizhenija kachestva topliv, ispol'zuemyh otechestvennymi sel'skohozjajstvennymi predprijatijami / V sbornike: Povyshenie jeffektivnosti i jekologicheskie aspekty ispol'zovanija resursov v sel'skohozjajstvennom proizvodstve. – 2016. – S. 117-122.

2. Nagornov S.A., Kornev A.Ju., Erohin I.V. K voprosu kachestva nefteproduktov, ispol'zuemyh v sel'skom hozjajstve // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2015. – № 3 (13). – S. 178-181.

3. Kornev A.Ju., Liksutina A.P., Nagornov S.A., Busin I.V., Alibaev B.T. Kontrol' kachestva svetlyh nefteproduktov na sel'skohozjajstvennyh predprijatijah / V sbornike: Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk. sbornik nauchnyh trudov VI-ogo Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo Simpoziuma «Sovremennye jenergo- i resursosberegajushhie tehnologii SJeTT - 2017». – 2017. – S. 80-85.

4. Danilov A.M. Novyj vzgljad na prisadki k toplivam (obzor) / A.M. Danilov // Neftehimija. – 2020. – T.60 № 2. S. 163-171

5. Uljukina E.A., Nagornov S.A., Romancova S.V Svojstva biotopliv rastitel'nogo proishozhdenija / E.A. Uljukina, S.A. Nagornov, S.V. Romancova // Nauka v central'noj Rossii. - 2014. - № 2 (8). S. 62-69.

6. Uljukina E.A. Perspektivy primenenija biotopliva pri jekspluatacii sel'skohozjajstvennoj i mobil'noj tehniki / E.A. Uljukina // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2019. - № 57. - S. 183-193.

7. Nagornov S.A., Meshherjakova Ju.V., Meshherjakov A.G. Poluchenie biodizel'nogo topliva iz nepishhevogo rastitel'nogo syr'ja / Nagornov S.A., Meshherjakova Ju.V., Meshherjakov A.G. // Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotehnologija. - 2017. T.7. - № 3 (22). - S. 110-116

8. Uljukina E. A. Osobennosti primenenija biotopliva v sel'skohozjajstvennom proizvodstve // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V. P. Gorjachkina. - 2019. - № 6 (94). -S. 23-27.

9. Pivovarova N.A. Ispol'zovanie volnovyh vozdejstvij v pererabotke uglevodorodnogosyr'ja (obzor) / N.A. Pivovarova // Neftehimija. – 2019. – T.59 № 6. S. 727-738

10. Busin I.V., Kornev A.Ju. Issledovanie vlijanija mehanoaktivacii na harakteristiki biotopliva / Kornev A.Ju., Busin I.V. // Nauka v central'noj Rossii. - 2019. - № 2. - S.123-129.

11. Alibaev B.T., Kornev A.Ju., Nagornov S.A., Busin I.V., Meshherjakov A.G. Sposob ochistki dizel'nogo topliva // Patent na izobretenie RU 2645676 C1, 27.02.2018. Zajavka № 2017110133 ot 27.03.2017.

12. Adler Ju.P., Markova E.V., Granovskij Ju.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij- M.: Nauka, 1976. - 280 s.

13. Opredelenie konstruktivno-rezhimnyh parametrov apparata dlja gnezdovogo poseva semjan soi / A.N. Zazulja, A.V. Balashov, S.P. Strygin, A.A. Sinel'nikov, S.G. Hajrullina // Nauka v central'noj Rossii. - 2019. - № 3 (39). - S. 15-19.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Мещерякова Юлия Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: yulya-belova@yandex.ru.

Бусин Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: igorek19883108@mail.ru.

Мещеряков Александр Геннадьевич – соискатель, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: alex_mec@bk.ru.

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

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

Author credentials

Affiliations

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

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

Meshcheryakov Alexander – applicant of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: alex_mec@bk.ru.

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

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

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021

УДК 532
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-135-139

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ БЕНЗИНА ПРИ ЕГО ХРАНЕНИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕЗЕРВУАРЕ

[1]Маркелов Станислав Валентинович,
[1]Левина Екатерина Юрьевна,
Левин Максим Юрьевич,
[2]Нагорнов Станислав Александрович,

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

Реферат. *Современные глобальные проблемы, такие как катастрофическое загрязнение окружающей среды, продолжающийся значительный прирост населения Земли перед каждой отраслью народного хозяйства формируют новые задачи и вызовы. В таких условиях прогнозируется рост потребления моторного топлива агропромышленными (АПК) и автотранспортными предприятиями (АТП). Несмотря на то, что снижение потерь моторного топлива является основным направлением экономии энергоресурсов и защиты окружающей среды от загрязнения углеводородами, до настоящего времени наземные горизонтальные резервуары емкостью менее 75 м^3, применяемые на нефтескладах в АПК и АПТ не обеспечены теоретической базой для расчета потерь топлива при хранении. Известно, что основная доля количественных потерь происходит при хранении моторного топлива в резервуарах, среди них 70% составляют потери от испарения. Испарение топлива из наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров является сложным и малоизученным процессом. Для описания явлений тепломассопереноса при хранении топлива актуальной задачей становится моделирование конвекционных токов в его объеме, которые возникают из-за неравномерного нагрева хранимого топлива. Исследовали влияние солнечной радиации и переменной площади поверхности испарения при хранении бензина в наземном горизонтальном резервуаре на суммарный объем потерь легкокипящих фракций за счет явлений конвекции. Получили математическую модель, которая позволяет рассчитать сверхнормативные потери и повысить эффективность учета потерь нефтепродуктов при хранении.*

Ключевые слова: *испарение, моторное топливо, конвекция, бензин, хранение, наземные горизонтальные цилиндрические резервуары.*

SIMULATION OF CONVECTION OF GASOLINE DURING ITS STORAGE IN A HORIZONTAL CYLINDRICAL TANK

[1]Markelov Stanislav,
[1]Levina Ekaterina,
Levin Maxim,
[2]Nagornov Stanislav,

[1]Bauman Moscow State Technical University
[2]All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture

Abstract. *Global problems such as catastrophic pollution of the environment, the continuing significant increase in the world's population in front of each sector of the national economy form new tasks and challenges. In such conditions, the growth of motor fuel consumption by agro-industrial (AIC) and motor transport enterprises (ATP) is predicted. Despite the fact that reducing the loss of motor fuel is the main direction of saving energy resources and protecting the environment from hydrocarbon pollution, until now, ground horizontal tanks with a capacity of less than 75 m^3 used in oil storage facilities in the agro-industrial complex and ATP are not provided with a theoretical basis for calculating fuel losses during storage. In modern conditions, for quite a long time, hydrocarbon energy will play a key role in ensuring the economic and economic activities of mankind. A general trend in the global energy economy is an increase in the share of oil consumption as a motor fuel and petrochemical feedstock. The main share of quantitative losses occurs during storage of fuel in tanks, among them 70% are losses from evaporation. Evaporation of fuel from above-ground horizontal cylindrical tanks is a complex and poorly understood process. To describe the phenomena of heat and mass transfer during storage of fuel, it becomes an urgent task to model convection currents in its volume, which arise as a result of uneven heating due to the temperature difference along the height of the tank.*

Keywords*: evaporation, motor fuel, convection, gasoline, storage, ground horizontal cylindrical tanks.*

Введение. Снижение потерь моторного топлива является основным направлением экономии энергоресурсов и защиты окружающей среды от загрязнения углеводородами. Однако, процессы испарения топлива при хранении в наземных горизонтальных резервуарах емкостью менее 100 м^3, которые применяются на нефтескладах агропромышленного комплекса (АПК) и автотранспортных предприятий (АТП), является малоизученным. Главной особенностью данного типа резервуаров в отличие от вертикальных наземных является переменная площадь поверхности испарения топлива. При наземном размещении горизонтальных резервуаров малой емкости хранимое топливо подвержено влиянию суточных колебаний температур за счет воздействия солнечной радиации и теплообмена с окружающей средой. Перечисленные факторы будут способствовать неравномерному изменению температуры топлива в течение дня, что поспособствует возникновению конвекционных токов в его объеме. Для описания процессов тепломассопереноса является актуальной задача моделирования конвекции топлива при его хранении в горизонтальном цилиндрическом резервуаре.

В данной работе проведено моделирование конвекции при хранении бензина, так как этот тип топлива больше подвержен испарению. Как известно, бензин — это смесь предельных, непредельных (25-61%), ароматических (4-16%), нафтеновых (9-71%) и ароматических (4-16%) углеводородов, для которых характерна различная плотность и температура кипения.

Материалы и методы. Хранение нефтепродуктов в условиях АПК и АТП производится в основном в наземных горизонтальных резервуарах объемом до 100 м^3. Емкости размещают непосредственно на земле, иногда встречается размещение на подготовленных бетонированных площадках. В течение светового дня Солнце влияет на температуру не только самого резервуара, но и окружающего пространства, на котором его размещают. Солнечная радиация нагревает стенки резервуара, происходит теплообмен с окружающей средой и теплопередача от стенок резервуара бензину.

Из ранее проведенных исследований известно [1, 2, 3], что на поверхности земли температура будет отличаться от температуры на высоте двух метров (высота горизонтально расположенного резервуара). Разница температур за сутки может достигать 10 ºС (рисунок 1). Температура бензина внутри резервуара также изменяется в зависимости от уровня наполненности резервуара. Это всё приводит к неравномерному нагреву хранимого бензина по высоте, что поспособствует возникновению явления конвекционных токов.

Интенсивность солнечной радиации и количество теплоты, которое получает 1м^2 стенки, ограниваюшей газовое пространство резервуара рассчитывается по формулам [4,5,6]:

$$i_0 = \frac{1357 * K_0}{1 + \frac{1-\gamma}{\gamma * cos(\psi - \varphi)}}, \quad (1)$$

где K_0 – коэффициент облачности, γ – коэффициент прозрачности атмосферы, ψ – географическая широта выбраного места, φ – расчётное склонение солнца.

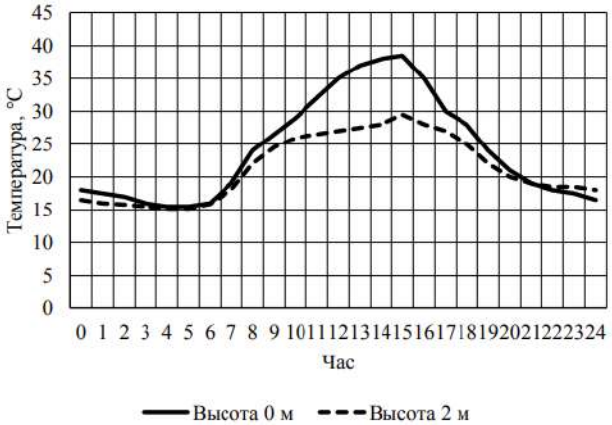


Рисунок 1 – График разницы температуры по высоте резервуара в течение суток в летний месяц [1].

$$q = \varepsilon_c \frac{F_0}{F} * i_0, \quad (2)$$

где F_0 – площадь проекции стенок резервуара на плоскость, нормальную к направлению солнечных лучей в полдень, F – площадь проекции стенок, ограничивающих ГП резервуара, ε_c – Степень черноты наружней поверхности резервуара

$$F_0 = F_в * sin(\psi - \varphi) + F_г cos(\psi - \varphi), \quad (3)$$

где $F_в, F_г$ – площади проекций поверхности стенок, ограничивающих ГП резервуара, соответственно на вертикальную и горизонтальную плоскость рассчитывающиеся по следующим формулам:

$$F_в = \pi r^2, \quad (4)$$

$$F_н = LD, \quad (5)$$

где r, D – радиус и диаметр резервуара, L - длина резервуара.

$$F = F_в * \pi + F_н, \quad (6)$$

В нагретой жидкости для установления механического равновесия должны выполнятся определенные условия, но, если разница температур достаточно велика, возникает конвективное движение, равновесие нарушается и становится неустойчивым. Конвекция может возникать и при малой разнице температур при тех же условиях, если равновесие невозможно. С учетом того, что бензин состоит из углеводородов с разной температурой кипения, в первую очередь нагреваться будут легкокипящие фракции (ЛКФ). При неравномерном нагреве жидкости более нагретый объем становится менее плотным и устремляется вверх, в результате чего происходит перемешивание, образуются конвекционные токи в объеме бензина. За счет конвекции ЛКФ будут подниматься к поверхности раздела фаз, что способствует интенсификации испарения.

Результаты и обсуждение. Уравнения гидродинамики описывают макроскопические движения жидкости с помощью системы уравнений. Данная система состоит из уравнения непрерывности, уравнения переноса тепла, уравнения непрерывности, движения Навье-Стокса и уравнения состояния среды. Запишем данную систему уравнений для сжимаемой жидкости:

$$\rho \left[\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + (\vartheta \nabla)\vartheta\right] = -\nabla p + \eta \Delta \vartheta + \left(\frac{\eta}{3} + \xi\right) \nabla div \vartheta + \rho g, \quad (7)$$

$$\rho T \left(\frac{\partial s}{\partial t} + \nabla s\right) = \chi \Delta T + D, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div(\rho\vartheta) = 0, \quad (9)$$

$$\rho = \rho(T, p), \quad (10)$$

где υ - скорость, p - давление, ρ - плотность, T - абсолютная температура, s - энтропия единицы массы жидкости, g - ускорение свободного падения, η и ξ - коэффициенты сдвиговой и объемной вязкости, χ - коэффициент теплопроводности, D – диссипативная функция.

Запишем систему уравнений для возмущений в объеме жидкости, которые способствуют возникновению конвективных токов, в безразмерном виде, где полость окружена теплопроводным массивом:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = -\nabla p + \Delta\vartheta + RT_y \\ P\frac{\partial T}{\partial t} - (\vartheta y) = \Delta T \\ P\chi\frac{\partial T_m}{\partial t} = \Delta T_m \end{cases} \quad (11)$$

$$div\vartheta = 0$$

Здесь ϑ , p ,T ,Tm - безразмерные возмущения.

Производные будут браться по безразмерным координатам и времени. В данной системе малые возмущения равновесия можно свести к системе линейных однородных уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами. Решая данную систему уравнений, можно получить частные решения, которые зависят от времени по следующему закону:

$$F\{\upsilon, p, T, Tm\} \sim \exp(-\lambda T),$$

где λ - декремент, который определяет период возмущений.

В данной системе уравнений скоростью по горизонтали и давлением можно пренебречь. Тогда получаем следующую систему уравнений для скорости перемешивания жидкости по Z и возмущениям температуры:

$$\frac{\partial}{\partial t}\Delta\vartheta_z = \Delta\Delta\vartheta_z + R\Delta_1 T, \quad (12)$$

$$P\frac{\partial T}{\partial t} = \Delta T + \vartheta_z, \quad (13)$$

где $\Delta_1 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – плоский лапласиан

В итоге проведенных преобразований и с учетом уравнения Ван-дер-Ваальса для реальных газов получим суммарный дополнительный объем потерь легкокипящих фракций бензина за счет явлений конвекции:

$$\psi = \sum_{n=1}^{3} \frac{P_n V_n \mathrm{M}_n}{RT(\tau)}, \quad (14)$$

где $T(\tau)$ – выраженная температура из уравнения (13), R – универсальная газовая постоянная, M – молярная масса ЛКФ, P,V – давление и объем с учетом межмолекулярного взаимодействия, n – номер фракции.

Данный коэффициент ψ позволяет рассчитать потери бензина при хранении для наземного горизонтального резервуара с учетом переменной площади испарения и конвекционных токов.

Заключение. Таким образом, получена математическая модель, которая моделирует конвекцию бензина при его хранении в горизонтальном цилиндрическом резервуаре. За счет конвекции будет происходить вытеснение более легких фракций углеводородов в верхние слои жидкости, что приведет к интенсификации их испарения.

Моделирование конвекции бензина и расчет потерь топлива от испарения с учетом поправочного коэффициента ψ при его хранении в наземном горизонтальном цилиндрическом позволит усовершенствовать существующие методы расчета потерь топлива от испарения и получить более точные знания о физике процесса испарения.

Список литературы

1. Левин М.Ю., Левина Е.Ю. Совершенствование методов и технических средств для снижения потерь моторного топлива при хранении. – Липецк: Колор, 2020. – 272 с.
2. Левин М.Ю. Особенности процесса испарения топлива из наземных горизонтальных резервуаров [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 121-130.
3. Левин М.Ю. Исследование температурного поля в наземном горизонтальном цилиндрическом резервуаре [Текст] / Левин М.Ю., Нагорнов С.А. // Наука в центральной России. – 2019. – № 1 (37). – С. 103-107.
4. П.И.Тугунов, В.Ф.Новосёлов, А.А.Коршак, А.М.Шаммазов. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов. – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2002. – 658с. 3
5. Бринкворт Б.Дж. Солнечная энергия для человека: М.: Мер, 1976. - 278с. 2. Берковский Б.М., Кузьмин В.А. Возобновляемые источники энергии на службе человека. М.: Наука, 1987. - 125 с.
6. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации [Текст]. -Ленинград Гидрометеоиздат, 1968. - 232 с.

References

1. Levin M. Yu., Levina E. Yu. Improvement of methods and technical means for reducing motor fuel losses during storage. - Lipetsk: Kolor, 2020 – 272 p.
2. P. I. Tugunov, V. F. Novoselov, A. A. Korshak, A. M. Shammazov. Standard calculations for the design and operation of oil depots and oil pipelines. Textbook for universities. - Ufa: OOO "DesignPoligrafServis", 2002. - 658s. 3
3. Levin M. Yu. Features of the process of fuel evaporation from ground horizontal tanks [Text] / Levin M. Yu., Nagornov S. A., Levina E. Yu. / / Science in Central Russia. – 2017. – № 4 (28). – Pp. 121-130.
4. Levin M. Yu., Nagornov S. A. Study of the temperature field in a ground-based horizontal cylindrical reservoir. – 2019. – № 1 (37). – P. 103-107.
5. Brinkworth B. J. Solar energy for man: M.: Mer, 1976. - 278s. 2. Berkovsky B. M., Kuzmin V. A. Renewable energy sources in the service of man. M.: Nauka, 1987. - 125 p.
6. Sivkov S. I. Methods for calculating the characteristics of solar radiation [Text]. - Leningrad Hydrometeoizdat, 1968. - 232 p.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Маркелов Станислав Валентинович, студент 4 курса, МГТУ им Баумана.

Левина Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры физики МГТУ им Баумана E-mail: levina@bmstu.ru.

Левин Максим Юрьевич, кандидат технических наук, E-mail: lmu@list.ru.

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

Author credentials

Affiliations

Markelov Stanislav, 4th year student, Bauman Moscow State Technical University.

Levina Ekaterina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics Bauman Moscow State Technical University, E-mail: levina@bmstu.ru.

Levin Maxim, candidate of technical sciences, E-mail: lmu@list.ru.

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

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2021 Принята к публикации (Accepted): 21.06.2021

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 30.06.2021. Заказ № 21.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 14,59 усл. печ. л. Тираж 100 экз.