ISSN 2305-2538
DOI:10.35887/2305-2538

2022 № 3 (57)

Наука в центральной России

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

ФГБНУ ВНИИТиН

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

Научно-производственный периодический журнал The research-production periodic magazine

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

№ 3 (57), 2022 г.

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

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

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

ГОЛУБЕВ Иван Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Московской области, зав. Отделом ФГБНУ «Росинформагротех»
ЖАЛНИН Эдуард Викторович – заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор
ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович – главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ
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, заслуженный изобретатель РСФСР, академик российской академии естественных наук, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, научный руководитель ФГБНУ ВНИИМЛ
ЛАРЮШИН Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный 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
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 (57). Дата выхода в свет 30.06.2022. Тираж - 100 экз. Свободная цена. Подписной индекс 25196.
Адрес редакции и издателя: 392022, Тамбовская обл., г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28, тел. 8(4752) 44-64-14; e-mail: viitin@mail.ru
Отпечатано в типографии «Студия печати Галины Золотовой». Адрес типографии: 392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Кленовая, д. 24. e-mail: studiapechati@bk.ru.
Печатное издание журнал «Наука в Центральной России Science in the central Russia» зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 66036 от 10.06.2016 г.

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2022

«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 (57), 2022 г.

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

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

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 использования зерноуборочной техники 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 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 топливно-энергетических ресурсов в стационарной энергетике сельского хозяйства ФГБНУ ВНИИТиН, доктор технических наук, профессор

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

© «Наука в центральной России Science in the central Russia», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ, АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЗООТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЯМ, МАШИНАМ И ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ерохин Г.Н., Коновский В.В., Першин И.А.
КАЧЕСТВО УБОРКИ СОИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫМИ КОМБАЙНАМИ 7

МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ведищев С.М., Завражнов А.И., Прохоров А.В., Кжияхметова А.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВИТКОВ ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА.....14

Кольцов С.М., Стрыгин С.П., Чиркин С.О., Чечевицын И.Д.
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ КАГАТОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ 24

Купреенко А.И., Кузнецов В.В., Исаев Х.М., Исаев С.Х.
РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВАЛОВ ПОЧВЫ ИЗ ПРИКУСТОВОЙ ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ РЕМОНТАНТНОЙ МАЛИНЫ ПЕРЕД ОБРЕЗКОЙ 32

Гаджиев П.И., Башкиров А.П., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П., Шершнев Н.С.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ.....41

Иванов А.В., Никифоров В.Е., Симонов Г.А., Филиппова О.Б.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....48

МОБИЛЬНЫЕ И СТАЦИОНАРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ, РАБОЧИЕ ОРГАНЫ И ИСПОЛЬНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Шувалов А.М., Машков А.Н.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ КОРМОВАРОЧНЫЙ КОТЁЛ ДЛЯ КРЕСТЬЯНСКИХ ХОЗЯЙСТВ…… 55

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

Тишанинов Н.П.
АНАЛИЗ СТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ.....60

Остриков В.В., Вязинкин В.С., Кошелев А.В., Забродская А.В.
ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ДВИГАТЕЛЯХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ 70

Родионов Ю.В., Данилин С.Н., Ломовских А.Е., Колтаков А.А., Борисов С.В., Скоморохова А.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДНО-ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ..... 76

Погонышев В.А., Мокшин И.А., Погонышева Д.А.
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ФРЕТТИНГ-ИЗНОСЕ……..84

Ли Р.И., Псарев Д.Н., Киба М.Р., Мельников А.Ю.
МЕТОД УСКОРЕННЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....92

ФИЗИЧЕСКОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ, РОБОТИЗИРОВАННЫХ И БИОМАШИНЫХ СИСТЕМ

Щегольков А.В., Захиват М.М., Земцова Н.В., Щегольков А.В., Скоморохова А.И.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНОАКТИВАЦИИ MoS_2 и МУНТ ДЛЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА И МАСЛА 103

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА (ПОЧВУ, РАСТЕНИЯ, ЖИВОТНЫХ, ЗЕРНО, МОЛОКО и др.)

Мещеряков А.Г., Мещерякова Ю.В., Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Ликсутина А.П., Ложкина Е.Б.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА, ОБРАБОТАННОГО В КОМБИНИРОВАННОМ СМЕСИТЕЛЕ 111
Приворов И.Е.
СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ НА СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ НА ТРАКТОРЕ ТИПА МТЗ…….. 120
Романцова С.В., Гладышева И.В., Вервекина Н.В., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П., Романцов С.Н.
ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ЕГО КОМПОЗИЦИИ ПРИ ХРАНЕНИИ 129

CONTENTS

FUNCTIONAL, AGRICULTURAL AND ZOOTECHNICAL REQUIREMENTS FOR TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT FOR AGRICULTURAL COMPLEX

Erokhin G., Konovskiy V., Perchin I.
QUALITY OF SOYBEAN HARVESTING WITH GRAIN HARVESTERS.....7

MECHANIZED, AUTOMATED AND ROBOTIZED TECHNOLOGIES AND HARDWARE FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Vedishev S., Zavrazhnov A., Prohorov A., Kzhiyakhmetova A.
DETERMINATION OF THE RATIONAL NUMBER OF TURNS OF A SCREW MIXER WITH AN ACTIVE RETURN CHANNEL.....13
Koltsov S., Strygin S., Chirkin S., Chechevitsyn I.
PARAMETERS` DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL MACHINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR THE AUTOMATIC CREATION OF VENTILATED SUGAR BEET PILES 24
Kupreenko A., Kuznetsov V., Isaev K., Isaev S.
DEVELOPMENT OF MECHANIZATION TOOLS FOR REMOVING SOIL SHAFTS FROM THE BUTTON PROTECTIVE ZONE OF REPAIR RASPBERRY BEFORE CUTTING.....32
Hadzhiev P., Bashkirov A., Ramazanova G., Hadzhiev I., Shershnev N.
INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL METHODS ON POTATO YIELD.....41
Ivanov A., Nikiforov V., Simonov G., Filippova O.
TECHNOLOGICAL CONTROL OF AMMONIA CONCENTRATION AT THE ENTERPRISES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX 48

MOBILE AND STATIONARY ENERGY EQUIPMENT, MACHINES, UNITS, WORKING BODIES AND ACTUATORS

Shuvalov A., Mashkov A.
ENERGY-SAVING FEED BOILER FOR FARMS 55
METHODS, INSTRUMENTS FOR RESEARCH AND TESTING MACHINES, EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX
Tishaninov N.
ANALYSIS OF STANDARD METHODS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL MACHINERY.....60
Ostrikov V., Vyazinkin V., Koshelev A., Zabrodskaya A.
CHANGING THE CHARACTERISTICS OF MOTOR OILS IN ENGINES OF GRAIN HARVESTERS 70
Rodionov Y., Danilin S., Lomovskikh A., Koltakov A., Borisov S., Skomorohova A.
STUDY OF THE EFFECT OF WATER-FUEL EMULSION ON THE LEVEL OF DIESEL ENGINE VIBRATION……....76
Pogonishev V., Mokshin I., Pogonisheva D.
TRIBOTECHNICAL PROCESSES DURING FRETTING WEAR.....84
Li R., Psarev D., Kiba M., Melnikov A.
ACCELERATED FATIGUE TEST METHOD POLYMER MATERIALS…...……..92

PHYSICAL, MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF MECHANIZED, AUTOMATED, ROBOTIC AND BIOMACHINE SYSTEMS

Shchegolkov A., Zahiwat M., Zemtsova N., Shchegolkov A., Skomorokhova A.
MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF MECHANICAL ACTIVATION OF MoS_2 AND MWCNT FOR MOTOR FUEL AND OIL..... 103

THEORY AND METHODS OF TECHNOLOGICAL IMPACT ON OBJECTS OF AGRICULTURAL PRODUCTION (SOIL, PLANTS, ANIMALS, GRAIN, MILK, etc.)

Meshcheryakov A., Meshcheryakova Y., Nagornov S., Kornev A., Lixutina A., Lozhkina E.
INVESTIGATION OF DIESEL MIXED FUEL PROCESSED IN A COMBINED MIXER 111
Priporov I.
DIESEL POWER SYSTEM ON MIXED FUEL ON MTP TYPE TRACTOR..... 120
Romantsova S., Gladysheva I., Vervekina N., Nagornov S., Lixutina A., Romantsov S.
CHANGES IN PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIODIESEL FUEL AND ITS COMPOSITIONS DURING STORAGE……..…….129

УДК 631.354
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-7-13

КАЧЕСТВО УБОРКИ СОИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫМИ КОМБАЙНАМИ

[1]Ерохин Геннадий Николаевич
[1]Коновский Валерий Викторович
[1]Першин Илья Александрович
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Оценка качества уборки сои зерноуборочными комбайнами осуществлялась в хозяйствах Центрально-Черноземного региона. В качестве объектов наблюдения выбраны комбайны марок РСМ 161, Acros 595Plus, КЗС-1218А. Комбайны работали с жатками трех типов. Это обычная зерновая жатка, модернизированная под низкий срез жатка и серийная соевая жатка. При работе с обычной зерновой жаткой потери сои за жаткой достигали 12,6%. Большие потери ограничивают использование обычных зерновых жаток на уборке сои. Модернизированные под низкий срез жатки имели потери 2,1…2,4%. Серийные отечественные соевые жатки «Float Stream» допускали в наблюдаемых условиях потери 4…8%. Это были потери свободным зерном, отсутствовали потери не срезанными бобами. Основная причина повышенных потерь - уборка сухой перезревшей культуры. В других условиях эти жатки вполне могут работать на уборке сои с допустимыми агротребованиями потерями. Потери за молотилкой у наблюдаемых комбайнов находились в диапазоне 1,4…4,0%. Повышенные потери зерна сои за молотилкой были обусловлены высокими оборотами вращения вентилятора очистки. Легкое зерно просто выдувалось. Дробление бункерного зерна комбайнов варьировало в пределах 3,6…10%. Высокое дробление наблюдалось у комбайнов с повышенными оборотами молотильного барабана и недостаточным зазором между барабаном и декой. Засоренность бункерного зерна на наблюдаемых комбайнах находилась в интервале 0,8…2,7%. Меньшую засоренность около 1% показали комбайны при оборотах вентилятора очистки 800 об/мин, но при этом возрастали потери зерна за молотилкой комбайна до 4%. В итоге подтверждено решающее влиянии на потери при уборке сои типа жатки и технологических регулировок комбайна.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, соя, потери зерна, дробление, засоренность.*

QUALITY OF SOYBEAN HARVESTING WITH GRAIN HARVESTERS

[1]Erokhin Gennady
[1]Konovskiy Valery
[1]Perchin Ilya
[1]FSBSI“All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”

Abstract. *The assessment of the quality of soybean harvesting by grain harvesters was carried out in the farms of the Central Black Earth region. Combine harvesters RSM 161, Acros 595Plus, KZS-1218A were selected as objects of observation. Combines worked with headers of three types. These are a conventional grain header, a lowcut modified header, and a stock soybean header. When working with a conventional grain header, soybean losses behind the header reached 12.6%. Large losses limit the use of conventional grain headers in soybean harvesting. The headers upgraded for a low cut had losses of 2.1 ... 2.4%. Serial domestic soybean headers "Float Stream" allowed losses of 4 ... 8% under the observed conditions. This was a loss in loose grain, no loss in uncut beans. The main reason for the increased losses is the harvesting of dry, overripe crops. In other conditions, these headers may well work on harvesting soybeans with losses acceptable by agro-requirements. Losses behind the thresher for the observed combines were in the range of 1.4 ... 4.0%. The increased losses of soybean grain behind the threshing machine were due to the high rotational speed of the cleaning fan. Light grain was simply*

blown out. Crushing of bunker grain of combines varied within 3.6…10%. High crushing was observed in combines with increased speed of the threshing drum and insufficient clearance between the drum and the deck. The clogging of bunker grain on the observed combines was in the range of 0.8 ... 2.7%. Combines with a cleaning fan speed of 800 rpm showed less contamination of about 1%, but at the same time, grain losses increased up to 4% behind the combine thresher. As a result, the decisive influence on losses during soybean harvesting was confirmed by the type of header and technological adjustments of the combine.

Keywords: *combine harvester, soybean, grain loss, crushing, contamination.*

Введение. В Российской Федерации в последние годы наблюдается стремительный рост посевных площадей сои. Так, в 2021 году этот рост по сравнению с 2013 годом составил почти 100%. Культура распространяется в более северные регионы страны. Наиболее ощутимый рост наблюдается в Центральном Федеральном округе. В 2021 году посевная площадь сои в этом округе достигла 43% от общей по стране. Способствуют такому развитию относительно высокая цена сои и устойчивый спрос на внутреннем и мировом рынке.

Убирают сою обычными зерноуборочными комбайнами. Качественные показатели уборки в решающей степени влияют на эффективность возделывания сои. В соответствии с нормативной документацией качество уборки оценивается показателями: потери за комбайном, дробление, засоренность бункерного зерна. Опыт показывает, что в реальной эксплуатации данные показатели варьируют в широких пределах и могут превышать нормативные значения в 2…4 раза.

На величину показателей качества уборки сои оказывают влияние множество факторов: условия уборки, характеристики культуры, тип применяемого комбайна и жатки, технологические регулировки и скоростной режим. С целью повышения эффективности использования комбайнов на уборке сои необходима объективная оценка и анализ показателей качества уборки сои в различных условиях реальной эксплуатации. В статье предлагаются результаты таких исследований на примере уборки сои в сельхозпредприятиях Тамбовской области. Особое внимание обращено на влияние типа используемой жатки.

Материалы и методы. В соответствии с [1,2,3,4] качество уборки сои зерноуборочным комбайном оценивается следующими показателями: потери зерна за жаткой, %; потери зерна за молотилкой, %; потери зерна за комбайном, %; дробление бункерного зерна, %; засоренность бункерного зерна, %.

На загонке, где оцениваются показатели качества уборки сои, фиксируются условия:

- дата проведения оценки, метеорологические условия;
- область, район, наименование хозяйства;
- сорт культуры, площадь поля, длина гона, урожайность, соломистость, засоренность;
- влажность зерна, влажность соломы;
- тип молотилки и жатки комбайна
- рабочая скорость комбайна;
- рабочая ширина захвата жатки, высота среза жатки.

Потери сои за зерноуборочным комбайном складываются из потерь за жаткой и потерь за молотилкой. Потери зерна за жаткой комбайна включают в себя потери свободным зерном и зерном в срезанных и не срезанных бобах.

Для определения потерь зерна сои за жаткой после прохода комбайна на стерню накладывалась рамка 0,5 х 0,5 м в месте, свободном от валка соломы. Собирались потерянные в пределах рамки зерна (свободные и обмолоченные вручную из срезанных и не срезанных бобов), затем определялось их количество. Опыты проводились в трехкратной повторности. Потери зерна сои за жаткой находились по формуле:

$$П_Ж = \frac{10^{-2} \cdot (K_Ж - K_E) \cdot M_T}{U \cdot S_P}, \%. \quad (1)$$

где U - урожайность зерна, ц/га;

$K_Ж$ - количество зерен в рамке при замере потерь за жаткой, шт;

K_E - количество зерен в рамке естественных потерь осыпанием, шт ;

M_T - масса 1000 зерен, г;

S_p - площадь рамки, м^2;

Для определения потерь зерна сои за молотилкой комбайна рамку накладывали в месте расположения валка соломы. В пределах этой рамки собирали срезанные и несрезанные бобы, свободное зерно, в том числе, которое содержится в валке соломы над рамкой. После обмолота бобов и очистки проб от примесей определяли общее количество зерен сои в пределах рамки. В итоге потери зерна сои за молотилкой находились по формуле:

$$П_M = \frac{10^{-2} \cdot (K_K - K_Ж) \cdot M_T \cdot B_C}{U \cdot S_P \cdot B_Ж}, \% \quad (2)$$

где K_K - количество зерен в рамке при замере потерь за молотилкой, шт;

B_c - ширина валка соломы, м;

$B_ж$ - ширина захвата жатки, м;

Потери зерна за комбайном рассчитывали по формуле:

$$П_K = П_M + П_Ж, \% \quad (3)$$

Для анализа качества зерна из разных частей бункера случайным образом забирались три навески по 0,5 л. Навески разбирают на следующие фракции: основное зерно; дробленое зерно; зерно в бобах; сорная примесь. При разборке навески щуплое зерно относили к основному, а все битые - к дробленому зерну. Зерно в бобах вымолачивали, отход присоединяли к сорной примеси. Также в качестве сорной примеси учитывались органические и минеральные примеси, семена сорняков.

Дробление бункерного зерна вычисляли по формуле:

$$D = \frac{m_d}{m_o + m_d} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где m_d - масса дробленого зерна, г;

m_o - масса основного зерна, г;

Засоренность бункерного зерна оценивали по формуле:

$$S = \frac{m_c}{m_н} \cdot 100, \% \quad (5)$$

где m_c - масса сорной примеси, г;

$m_н$ - масса навески, г.

Результаты и обсуждение. Оценка качества уборки сои выполнялась в 2-х сельхозпредприятиях Тамбовской области при работе с жатками различных типов [5]. Известно, что технологические режимы работы оказывают существенное влияние на качество уборки сои. В нашем случае, рабочая скорость комбайнов и технологические регулировки осуществлялись персоналом сельхозпредприятий.

В СПК «Русь» замеры проводились на уборке сои сортов «Аляска» и «Пруденс». Уборка выполнялась комбайнами «РСМ 161» и «Acros 595 Plus». Это мощные отечественные зерноуборочные комбайны с классической молотилкой барабанного типа. Комбайн «РСМ 161» работал с жаткой «Float Stream» шириной 9 м, комбайн «Acros 595 Plus» - с аналогичной жаткой шириной 7 м.

Жатка «Float Stream» является жаткой низкого среза. Она снабжена гибким днищем и гибким ножевым брусом, что обеспечивает минимальную высоту среза в пределах 5 см. Возможна работа

в двух режимах: «с жестким ножом» и «с плавающим ножом». Установка режима выполняется из кабины комбайна электрогидравлическим способом. Условия и результаты оценки качества уборки сои в СПК «Русь» и, представлены в таблице 1. Технологические регулировки комбайнов на обоих убираемых сортах сои были практически одинаковыми. Обороты молотильного барабана составляли 300…350об/мин, зазор дека-барабан на выходе - 13…15 мм, обороты вентилятора очистки - 790…810 об/мин, зазоры верхнего решета - 16 мм, зазоры нижнего решета - 8…9 мм.

Как показывает таблица 1, наибольшие потери до 12,3% были на поле, засеянном соей сорта «Аляска». Урожайность была 12 ц/га. Масса 1000 зерен составляла около 52 грамм. Сорт раннеспелый, легко обмолачиваемый. На поле была проведена десикация. В структуре общих потерь за комбайном доминировали потери за жаткой (более 8%). Это были потери свободным зерном, которое выбивалось из сухой и легко-обмолачиваемой массы мотовилом.

Таблица 1 – Условия и результаты оценки качества уборки сои в СПК «Русь»

Марка комбайна	РСМ 161	Acros 595 Plus	РСМ 161	Acros 595 Plus
Сорт сои	Аляска	Аляска	Пруденс	Пруденс
Марка жатки	Float Stream 900	Float Stream 700	Float Stream 900	Float Stream 700
Урожайность, ц/га	12	12	18	18
Длина гона, м	2000	2000	2000	2000
Соломистость	1,4	1,4	1,3	1,3
Влажность зерна, %	12	12	11	11
Высота среза, см	6	5	6	5
Рабочая скорость, км/ч	5,2	5,4	5,1	4,5
Потери зерна за жаткой, %	8,2	8,1	4,1	3,9
Потери зерна за молотилкой, %	4,1	3,5	2,8	2,5
Потери зерна за комбайном, %	12,3	11,6	6,9	6,4
Дробление бункерного зерна, %	4,5	4,8	3,6	3,8
Засоренность бункерного зерна, %	0,79	0,88	1,23	1,47

Потери за молотилкой комбайнов составили около 4%. Они были свободным зерном и, наш взгляд, обуславливались большой скоростью вращения вентилятора очистки. Легкое зерно просто выдувалось.

Иная ситуация наблюдались на поле, засеянном соей сортом «Пруденс». Масса 1000 зерен здесь составляла 95 грамм, что в два раза тяжелее, чем у сорта «Аляска». Поэтому зерно меньше выдувалось. Соответственно и потери свободным зерном за молотилкой комбайна были в два раза ниже, чем на поле с сортом «Аляска». Эти потери составили 2,5…2,8%. Потери за жаткой были так же свободным зерном и находились в пределах 4%, Уменьшение потерь за жаткой на этом поле возможно было вызвано особенностями сорта «Пруденс» и состоянием уборочной массы в период уборки.

Следует отметить, что на обоих полях практически не наблюдалось потерь за жаткой не срезанными или частично срезанными бобами. Также не было потерь недомолотом за молотилкой комбайна. Дробление зерна на обоих сортах находилось в интервале 3,6…4,8%, что превышает нормативное значение. Возможно, это связано с тем, что комбайны работали с недостаточным зазором между декой и барабаном. Засоренность бункерного зерна на обоих полях была незначительной и не превысила нормативное значение по агротребованиям (не более 4%). Этому способствовали большие обороты вентилятора очистки на наблюдаемых комбайнах.

Во втором сельхозпредприятии МФП «Нива» показатели качества технологического процесса определялись на поле, засеянном соей сорта «Лиссабон». Сорт раннеспелый с высотой растений 70-80 см, устойчив к полеганию и растрескиванию бобов. Высота прикрепления нижнего стручка от земли находилась на расстоянии 12-13 см.

Уборка выполнялась четырьмя комбайнами «Полесье». При этом один комбайн КЗС-1218А-1 первого сезона использования работал с обычной зерновой жаткой. Три комбайна КЗС-1218-29 работали с модернизированными жатками. Суть модернизации заключалась в переделке режущего аппарата путем переворачивания главного пальцевого бруса (рисунок 1) и изменением конструкции привода ножа. Вместо стандартных копирующих башмаков с левой стороны монтируется опорное колесо с возможностью регулирования высоты среза. С правой стороны устанавливается модернизированный копирующий башмак. Модернизированные жатки успешно работают в хозяйстве и обеспечивают минимальную высоту среза до 5 см.

В таблице 2 приведены условия и результаты оценки качества уборки сои в МФП «Нива». Комбайны работали со следующими технологическими регулировками: обороты молотильного барабана составляли 430…440 об/мин, зазор дека-барабан на выходе - 12…13 мм, обороты вентилятора очистки - 590…610 об/мин, зазоры верхнего решета – 13…14 мм, зазоры нижнего решета - 9…10 мм.

Рисунок 1 - Перевернутый пальцевый брус на модернизированной жатке

Таблица 2 – Условия и результаты оценки качества уборки сои в МФП «Нива»

Марка комбайна	КЗС-1218А-1	КЗС-1218-29	КЗС-1218-29	КЗС-1218-29
Марка жатки	ЖЗК-7	ЖЗК-7 модернизир.	ЖЗК-7 модернизир.	ЖЗК-7 модернизир.
Ширина жатки, м	7,00	7,00	7,00	7,00
Сорт сои	Лиссабон	Лиссабон	Лиссабон	Лиссабон
Урожайность, ц/га	22	22	22	22
Длина гона, м	1000	1000	1000	1000
Соломистость	1,1	1,1	1,1	1,1
Влажность зерна, %	13	13	13	13
Высота среза, см	16	5	5	6
Рабочая скорость, км/ч	6,9	4,6	4,8	5,4
Потери зерна за жаткой, %	12,6	2,3	2,1	2,4
Потери зерна за молотилкой, %	1,6	1,5	1,6	1,4
Потери зерна за комбайном, %	14,2	3,8	3,7	3,8
Дробление бункерного зерна, %	10,3	9,9	10,5	9,7
Засоренность бункерного зерна,%	2,8	3,0	3,1	2,7

Получено, что потери сои у комбайна КЗС-1218А-1 с обычной зерновой жаткой были максимальными (таблица 2). Комбайн работал на повышенной скорости, высота среза почти в три раза выше, чем у комбайнов с модернизированными жатками. Потери за комбайном составили 14,2%, причем 12,6% - это потери за жаткой. Основная часть потерь за жаткой приходилась на потери от не срезанных, частично срезанных и срезанных опавших бобов.

У комбайнов с модернизированными жатками потери за жаткой характеризовались в основном свободным зерном и находились в пределах 2,1…2,4%.

Потери за молотилкой у всех наблюдаемых комбайнов не превышали 1,6% (по агротехническим требованиям 1,5%). У всех комбайнов наблюдалось высокое дробление бункерного зерна - около 10%. На наш взгляд, это объясняется повышенными оборотами молотильного барабана и маленьким зазором барабан-дека для данных условий. Засоренность бункерного зерна на всех комбайнов была около 3%, что соответствует агротехническим требованиям (не более 4%).

Выводы. Выполненные исследования позволили оценить потери сои при уборке тремя типами жаток: зерновыми, модернизированными и соевыми. При работе с обычной зерновой жаткой потери сои за жаткой достигали 12,6%. Модернизированные под низкий срез жатки имели потери в основном 2,1…2,4%. Большие потери ограничивают использование обычных зерновых жаток на уборке сои. Однако, в определенных условиях, их использование может быть вполне оправдано (неблагоприятные погодные условия, нехватка комбайнов для уборки в агросрок и т.п.).

Серийные отечественные соевые жатки «Float Stream» допускали в наблюдаемых условиях потери 4…8%. Это были потери свободным зерном, отсутствовали потери не срезанными бобами. Основная причина повышенных потерь - уборка сухой перезревшей культуры. В других условиях эти жатки вполне могут работать на уборке сои с потерями 1,5…2,5%.

Потери за молотилкой у наблюдаемых комбайнов находились в диапазоне 1,4…4,0%. Повышенные потери зерна сои за молотилкой были обусловлены высокими оборотами вращения вентилятора очистки. Легкое зерно просто выдувалось.

Дробление бункерного зерна комбайнов варьировало в пределах 3,6…10%. Высокое дробление наблюдалось у комбайнов с повышенными оборотами молотильного барабана и недостаточным зазором между барабаном и декой.

Засоренность бункерного зерна на наблюдаемых комбайнах находилась в интервале 0,8…2,7%. Меньшую засоренность около 1% показали комбайны при оборотах вентилятора очистки 800 об/мин, но при этом возрастали потери зерна за молотилкой комбайна до 4%.

Список литературы

1. ГОСТ 28301-2015. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – М.: «Стандартинформ». – 2016. – 39с.

2. Обоснование режима работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна при уборке сои / А.М.Гиевскийй, А.В.Чернышев, Д.Л.Маслов, В.Ю.Мильгунов //Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1 (60) – С.50-56.

3. Жалнин Э.В., Пьянов В.С. От динамики самоосыпаемости зерна к высокоэффективной уборке// Техника в сельском хозяйстве.– 2010. – №4. – С.8-10.

4. Ерохин, Г.Н. Мониторинг качества технологического процесса уборки зерновых культур комбайном Дон-1500 /Г.Н.Ерохин, В.В.Коновский, Д.С.Орешкин// Техника и оборудование для села. –2007. – №6. – С.10-11.

5. Производительность зерноуборочных комбайнов на уборке сои /Г.Н.Ерохин, В.В.Коновский, И.А.Першин // Наука в центральной России. – 2021. – № 1 (55) . – С. 33–41.

References

1. GOST 28301-2015. Kombajny zernouborochnye. Metody ispytanij. – M.: «Standartinform». – 2016. – 39s.

2. Obosnovanie rezhima raboty molotil'no-separiruyushchego ustrojstva kombajna pri uborke soi / A.M. Gievskijj, A.V. CHernyshev, D.L. Maslov, V.YU. Mil'gunov //Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – № 1 (60) – S.50-56.

3. ZHalnin E.V., P'yanov V.S. Ot dinamiki samoosypaemosti zerna k vysokoeffektivnoj uborke// Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2010. – №4. – S.8-10.

4. Erohin, G.N. Monitoring kachestva tekhnologicheskogo processa uborki zernovyh kul'tur kombajnom Don-1500 /G.N. Erohin, V.V. Konovskij, D.S. Oreshkin// Tekhnika i oborudovanie dlya sela. –2007. – №6. – S.10-11.

5. Proizvoditel'nost' zernouborochnyh kombajnov na uborke soi /G.N. Erohin, V.V. Konovskij, I.A. Pershin // Nauka v central'noj Rossii. – 2021. – № 1 (55). – S. 33–41.

Сведения об авторах

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.

Коновский Валерий Викторович – 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.

Першин Илья Александрович – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г.Тамбов, e-mail: ilya_pershin@internet.ru.

Author credentials

Affiliations

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.

Konovskiy Valery - 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: witin4@rambler.ru.

Perchin Ilya - 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: ilya_pershin@internet.ru.

Поступила в редакцию (Received): 06.06.2022 Принята к публикации (Accepted): 09.06.2022

УДК 631.363
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-14-23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВИТКОВ ШНЕКОВОГО СМЕСИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КАНАЛОМ ОБРАТНОГО ХОДА

[1]Ведищев Сергей Михайлович
[1,2,4]Завражнов Анатолий Иванович
[1]Прохоров Алексей Владимирович
[3]Кжияхметова Айнур Ароновна
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет
[3]ЧВПОУ Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет
[4]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Проведенные исследования показали, что перспективной конструктивно-технологической схемой смесителя является тихоходный шнековый смеситель периодического действия, загрузочная и выгрузная части которого соединены активным каналом обратного хода, имеющий участки взаимопроникновения компонентов кормовой смеси.Установлено, что время цикла складывается из времени прохождения компонентов смеси по участкам шнековой навивки, тангенциальных лопаток и в канале обратного хода под действием дополнительного шнека. Время нахождения смеси на шнековом участке и в канале обратного хода определяется длиной каждого участка, конструктивными параметрами навивки, углом установки корпуса к горизонту и частотой вращения рабочего органа. При определении времени нахождения на участке взаимопроникновения компонентов смеси необходимо учитывать коэффициент заполнения канала обратного хода и физико-механические свойства компонентов смеси. Продолжительность загрузки и выгрузки смесителя определяется из условия осевой скорости перемещения компонентов кормовой смеси по каждому из участков и соответствует времени цикла. Время нахождения смеси на каждом из участков определены с учетом конструктивных параметров и частоты вращения каждого рабочего органа. Выявлено оптимальное соотношение между диаметрами шнека и дополнительного шнека из условия максимальной объемной* производительности *смесителя. Получены выражения для определения подачи рабочих органов на каждом из участков из условия неразрывности потока. Моделирование объемной подачи позволило оценить влияние на объемную подачу смесителя в зависимости от отношения шага витка шнека к его диаметру количество витков шнека.*

Ключевые слова: *время, объем, подача, смеситель, шнек.*

DETERMINATION OF THE RATIONAL NUMBER OF TURNS OF A SCREW MIXER WITH AN ACTIVE RETURN CHANNEL

[1]Vedishchev Sergey
[1,2,4]Zavrazhnov Anatoly
[1]Prokhorov Alexey
[3]Kziyakhmetova Ainur
[1]«Tambov State Technical University»
[2]«Michurinsk State Agrarian University»
[3]«West Kazakhstan Innovation and Technology University»
[4]«All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture»

Abstract. *The conducted studies have shown that a promising design and technological scheme of the mixer is a low-speed screw mixer of periodic action, the loading and unloading parts of which are connected by an active return channel having areas of interpenetration of feed mixture components.It is*

established that the cycle time consists of the time of passage of the components of the mixture through the sections of the screw winding, tangential blades and in the return channel under the action of an additional screw. The time spent by the mixture on the screw section and in the return channel is determined by the length of each section, the design parameters of the winding, the angle of installation of the housing to the horizon and the rotation frequency of the working body. When determining the time spent on the interpenetration site of the components of the mixture, it is necessary to take into account the filling factor of the return channel and the physico-mechanical properties of the components of the mixture.The duration of loading and unloading of the mixer is determined from the condition of the axial velocity of movement of the feed mixture components in each of the sections and corresponds to the cycle time.The residence time of the mixture at each of the sites is determined taking into account the design parameters and the rotation speed of each working body. The optimal ratio between the diameters of the auger and the additional auger from the condition of the maximum volumetric capacity of the mixer is revealed. Expressions are obtained for determining the supply of working bodies at each of the sections from the condition of continuity of the flow. Modeling of the volumetric feed allowed us to estimate the effect on the volumetric flow of the mixer depending on the ratio of the pitch of the screw turn to its diameter, the number of screw turns.

Keywords: *time, volume, feed, mixer, auger.*

Введение. Проведенные исследования смесителей показали, что наибольшее влияние на показатели качества их работы оказывают частота вращения рабочих органов, продолжительность смешивания и угол наклона корпуса к горизонту [1, 6-8, 10]

В основу конструктивно-технологической схемы кормосмесителя были положены следующие решения [2-5, 9]: смешивающий орган, который представляет собой шнек, загрузочная и выгрузная части которого соединены каналом обратного хода; внутри канала обратного хода установлен дополнительный шнек с валом, имеющий участки взаимопроникновения компонентов кормовой смеси с плоскими лопатками вдоль вала: напротив лопаток в канале обратного хода имеются отверстия в виде щелей шириной, превышающей размер характерных частиц корма; напротив отверстий в канале обратного хода на валу шнека установлены плоские лопатки; в конце шнека закреплены тангенциально лопасти с наклоном навстречу движения корма; механизм изменения угла наклона корпуса к горизонту.

Материалы и методы. Время нахождения кормовой смеси на каждом из участков смесителя определяется ее осевой скоростью.

Время цикла будет складываться из времени прохождения компонентов смеси по участкам рабочего органа и определится по выражению (рисунок 1):

$$t_ц = t_{ш1} + t_{диф1} + t_{ш2} + t_{тан} + t_{доп1} + t_{диф2} + t_{доп2}, \quad (1)$$

где $t_{ш1}$ - время нахождения смеси в шнековой навивки на участке (L_{11} + L_{12}), с; $t_{диф1}$ - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке L_{13}, с; $t_{ш2}$ - время нахождения смеси в шнековой навивке на участке L_{14}, с; $t_{тан}$ - время нахождения смеси на участке тангенциальных лопаток L_{15}, с; $t_{доп1}$ - время нахождения смеси в дополнительном шнеке на участке L_{14}, с; $t_{диф2}$ - время нахождения в канале обратного хода в зоне перемешивающих лопаток L_{13}, с; $t_{доп2}$ - время нахождения смеси в дополнительном шнеке на участке L_{12}, с.

Время нахождения смеси в шнеке определится:

$$t_{ш1} + t_{диф1} + t_{ш2} = \frac{L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14}}{\vartheta_{ш1}} = \frac{L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14}}{D_1 \cdot n_{ш1} \cdot K_{ш1} \cdot K_{\alpha_1}}, \quad (2)$$

где $\vartheta_{ш1}$ - осевая скорость кормового потока на участках L_{11} и L_{12}, м/с; D_1 - внутренний диаметр шнека, м; $n_{ш1}$ - частота вращения шнека, с$^{-1}$; $K_{ш1}$ - отношение шага к диаметру шнека; $K_{\alpha 1}$ - коэффициент учитывающий влияние угла наклона шнека к горизонту.

За один оборот шнека корм, находящийся в межвитковом пространстве, поступает в зону тангенциальных лопаток, которые за это же время должны всю поступившую кормовую массу пересыпать в канал обратного хода.

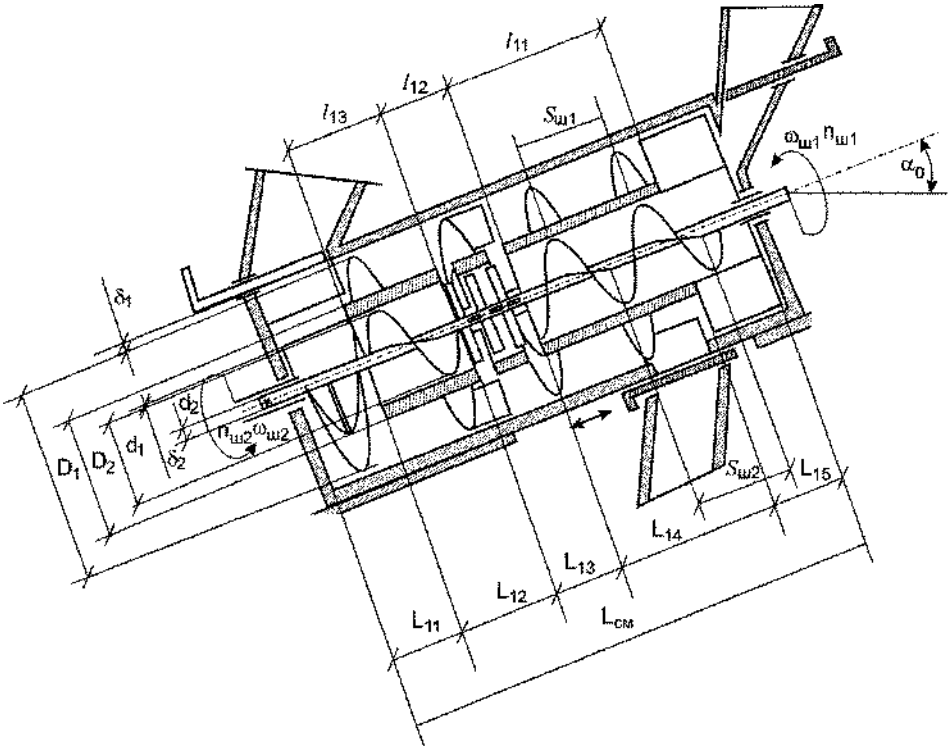


Рисунок 1 – Расчетная схема смесителя

Исходя из этого, время нахождения кормовой смеси в зоне тангенциальных лопаток определится по выражению:

$$t_{тан} = \frac{1}{n_{ш1}}. \quad (3)$$

Время нахождения смеси в канале обратного хода дополнительного шнека определится:

$$t_{доп1} + t_{диф2} + t_{доп2} = \frac{L_{14} + L_{13} + L_{12}}{\vartheta_{доп2}} = \frac{2(L_{14} + L_{13} + L_{12})}{d_1(n_{доп1} + n_{ш1}) \cdot K_{доп1} \cdot K_{\alpha 2}}, \quad (4)$$

где d_1 - наружный диаметр дополнительного шнека, м; $\vartheta_{доп2}$ - осевая скорость кормового потока в дополнительном шнеке, м/с; $n_{доп1}$ - частота вращения вала дополнительного шнека, $с^{-1}$; $K_{доп1}$ - отношение шага к диаметру дополнительного шнека; $K_{\alpha 2}$ - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона оси дополнительного шнека к горизонту.

Находящаяся в канале обратного хода кормовая смесь высотой $h_{диф2}$ занимает площадь сечения BAC (рис. 2). При вращении канала обратного хода смесь будет взаимодействовать с внутренней поверхностью канала обратного хода и смещаться в направлении вращения. Величина смещения определяется углом $\varphi_{тр2}$ трения корма о внутреннюю поверхность канала обратного хода. Смесь займет положение $B_1A_1C_1$ высотой $h'_{диф2}$. Так как объем корма остается неизменным, то высота корма останется также неизменной, т.е.

$$h'_{диф2} = h_{диф2}. \quad (5)$$

Величина $h_{диф2}$ будет определяться коэффициентом заполнения $\varphi_{диф2}$ канала обратного хода на участке диффузионных лопаток L_{13}:

$$\varphi_{диф2} = \frac{S_{BAD}}{S_{диф2}} = \left(1 - \frac{S_{BDC}}{S_{диф2}}\right), \tag{6}$$

где S_{BAD} - площадь сегмента BAD, м^2; $S_{диф2}$ - площадь канала обратного хода на диффузионном участке, м^2; S_{BDC} - площадь сегмента BDC, м^2.

Площадь канала обратного хода определится [9]:

$$S_{диф2} = \frac{\pi \left[(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2\right]}{4}. \tag{7}$$

Площадь кругового сегмента BDC вычисляется по формуле:

$$S_{BDC} = \left(\frac{d_1 + 2\delta_2}{2}\right)^2 \cdot \arcsin\left(\frac{a_{диф2}}{d_1 + 2\delta_2}\right) - \frac{a_{диф2}}{4}\sqrt{(d_1 + 2\delta_2)^2 - a_{диф2}^2}, \tag{8}$$

где $a_{диф2}$ - длина хорды $|BC|$, м.

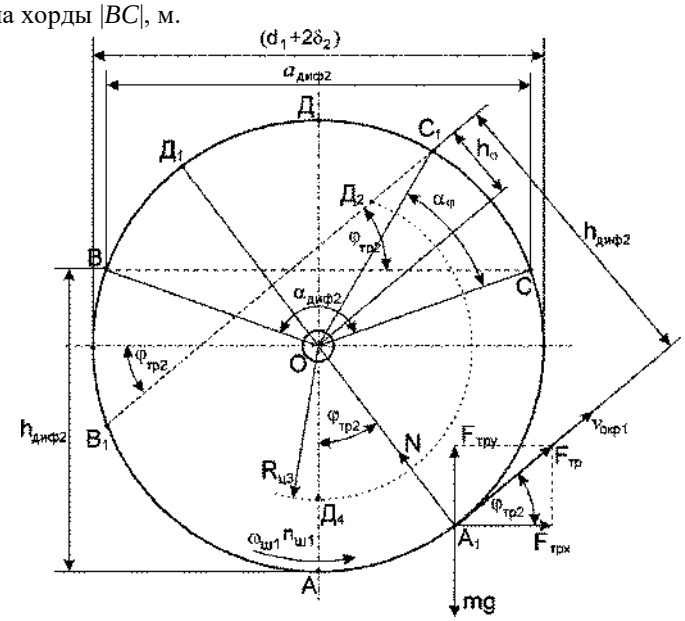


Рисунок 2 – Схема движения смеси на участке диффузионных лопаток дополнительного шнека

Подставим (7) в (6) и получим:

$$\varphi_{диф2} = \left(1 - \frac{4 \cdot S_{BDC}}{\pi \left[(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2\right]}\right), \tag{9}$$

или после подстановки (8):

$$\varphi_{диф2} = \left(1 - \frac{(d_1 + 2\delta_2)^2 \cdot \arcsin\left(\frac{a_{диф2}}{d_1 + 2\delta_2}\right) - \frac{a_{диф2}}{4}\sqrt{(d_1 + 2\delta_2)^2 - a_{диф2}^2}}{\pi\left[(d_1 + 2\delta_2)^2 - d_2^2\right]} \right). \quad (10)$$

При вращении канала обратного хода кормовая смесь, контактирующая с внутренней поверхностью канала обратного хода (дуга *BAC*) при вращении канала обратного хода смещается в направлении вращения.

Величина смещения будет определяться коэффициентом трения:

$$f_{трA} = tg\varphi_{тр2}, \quad (11)$$

где $f_{трA}$ - коэффициент трения корма о внутреннюю стенку канала обратного хода; $\varphi_{тр2}$ - угол трения корма о внутреннюю стенку канала обратного хода, град.

При дальнейшем вращении канала обратного хода частицы кормовой смеси контактирующие с внутренней поверхностью канала обратного хода и перемещаются по дуге $B_1A_1C_1$ со скоростью $\vartheta_{окр2}$:

$$\vartheta_{окр2} = \omega_1 \cdot (d_1 + 2\delta_2) \cdot K_{\delta 2}, \quad (12)$$

где $\vartheta_{окр2}$ - скорость перемещения внутренней поверхности канала обратного хода, м/с; ω_1 – угловая скорость вращения шнека, $с^{-1}$; $K_{\delta 2}$ - коэффициент, учитывающий отставание кормовой смеси от внутренней поверхности канала обратного хода.

Частицы кормовой смеси, достигнув точки C_1, начинает скатываться вдоль хорды $|B_1C_1|$ от точки C_1 к точке B_1 и проходят расстояние:

$$|B_1C_1| = a_{диф2}. \quad (13)$$

Из условия неразрывности потока скорость перемещения частичек корма по дуге $B_1A_1C_1$ должна соответствовать скорости перемещения кормовой смеси вдоль хорды $a_{диф2}$ из точки C_1 в точку B_1:

$$\vartheta_{окр2} = \vartheta_{диф3}, \quad (14)$$

где $\vartheta_{диф3}$ - скорость перемещения кормовой смеси по хорде $a_{диф2}$, м/с.

Так как шнек находится в наклонном состоянии под углом α_1, то перемещение смеси будет перемещаться не перпендикулярно корпусу канала обратного хода хорда $a_{диф2}$, но также смещаться вдоль оси корпуса шнека направление движения кормового потока будет отклоняться от хорды $a_{диф2}$ на величину угла наклона шнека, α_1 (рис. 3) в точку B_2, т.е.

$$a_{диф3} = \frac{a_{диф2}}{\cos\alpha_1}. \quad (15)$$

Величина перемещения кормовой смеси за один оборот канала обратного хода будет составлять расстояние $|B_1B_2|$, которое можно определить по формуле:

$$a_{диф} = a_{диф3} \cdot \sin\alpha_1 = a_{диф2} \cdot tg\alpha_1, \quad (16)$$

где $a_{диф}$ - величина осевого перемещения кормовой смеси за один оборот канала обратного хода на участке L_{13}, диффузионных лопаток, м.

Осевая скорость перемещения кормовой смеси на участке L_{13} определится:

$$\vartheta_{диф2} = \frac{a_{диф}}{n_{ш1}} = \frac{a_{диф2} \cdot tg\alpha_1}{n_{ш1}}, \quad (17)$$

где $\vartheta_{диф2}$ - осевая скорость перемещения кормовой смеси на участке диффузионных лопаток, м/с.

В выражении (17) расстояние $a_{диф2}$ будет определяться из выражения (15).

Время нахождения кормовой смеси в канале обратного хода дополнительного шнека (участок L_{12}) определится:

$$t_{доп1} = \frac{L_{12}}{\vartheta_{доп2}} = \frac{L_{12}}{d_1(n_{доп1} + n_{ш1}) \cdot K_{доп1} \cdot K_{\alpha 2}}, \quad (18)$$

где $t_{доп1}$ - время нахождения кормовой смеси в канале обратного хода с дополнительным шнеком (участок L_{12}), с.

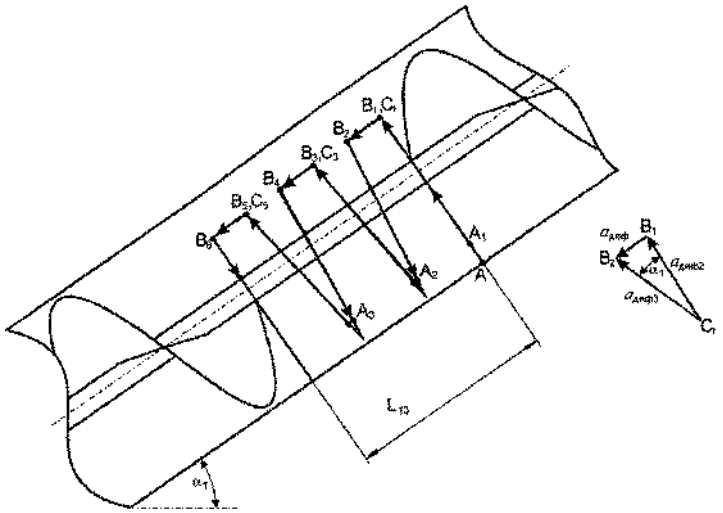


Рисунок 3 – Схема движения корма на участке диффузионных лопаток дополнительного шнека

При открытии заслонки в зоне загрузочного окна кормовая масса из бункера будет поступать на участок L_{11}. При достижении кормовой смесью из канала обратного хода шнековой навивки в зоне загрузочного окна (участок L_{11}) смеситель будет заполнен кормовой смесью и начнется циркуляция кормовой смеси в смесителе. В момент достижения кормовой смесью участка загрузки (L_{11}) необходимо закрыть заслонку в зоне загрузочного окна. Время загрузки будет соответствовать времени цикла:

$$t_{заг} = t_ц = t_{ш1} + t_{диф1} + t_{ш2} + t_{тан} + t_{доп1} + t_{диф2} + t_{доп2}. \quad (19)$$

Для полной разгрузки смесителя от кормовой смеси время выгрузки также должно быть не меньше времени цикла, т.е. [10]:

$$t_{выг} = t_{тан} + t_{доп1} + t_{диф2} + t_{доп2} + t_{ш1} + t_{диф1} + t_{ш2}. \quad (20)$$

Подача корма через выгрузное окно будет соответствовать подаче кормовой смеси шнековой навивкой:

$$Q_{выг} = Q_{ш1} = \frac{\pi}{4}\left(D_1^2 - D_2^2\right) \cdot D_1 \cdot n_{ш1} \cdot K_{ш1} \cdot \rho_н \cdot \varphi_{ш1} \cdot K_{\alpha 1}. \quad (21)$$

Анализ выражений подачи и времени нахождения смеси на каждом из участков смесителя, показывает, что их подача зависит от конструктивных параметров (наружный и внутренний диаметры винтовых рабочих органов, шаг шнека, длина участка), режимных параметров (частота

вращения), физико-механических свойств смешиваемых компонентов кормов, угла наклона корпуса к горизонту, коэффициентов заполнения рабочих органов.

Наиболее загруженным участком смесителя с активным каналом обратного хода является участок L_{12}

При малом зазоре между наружной кромкой винта дополнительного шнека и каналом обратного хода, а также толщины стенки канала обратного хода относительно небольшой можно принять, что:

$$D_2 \approx d_1. \tag{22}$$

Для исключения смещения кормовой смеси в канале обратного хода вал дополнительного шнека и канал обратного хода должны вращаться в противоположных направлениях, причем:

$$2n_{ш1} = n_{доп2}. \tag{23}$$

Тогда из условия непрерывности потока и исключения застойных зон можно записать:

$$Q_{ш1} = Q_{доп2}, \tag{24}$$

или

$$\frac{\pi\left(D_1^2 - D_2^2\right)}{4} \cdot D_1 \cdot n_{ш1} \cdot K_{ш1} \cdot \rho_н \cdot \varphi_{ш1} \cdot K_{\alpha 1} = \frac{\pi\left(d_1^2 - d_2^2\right)}{4} \cdot d_1 \cdot K_{доп2} \cdot n_{доп2} \cdot \rho_н \cdot \varphi_{доп2} \cdot K_{\alpha 2}. \tag{25}$$

Так как количество кормовой смеси, подаваемой шнеком, должно соответствовать количеству смеси, движущейся по каналу обратного хода, то можно принять, что ($\varphi_{доп2} \approx \varphi_{ш1}$).

С учетом принятых допущений ($D_2 \approx d_1$), ($2n_{ш1} = n_{доп2}$), ($d_2 << d_1$) максимальная производительность смесителя будет определяться следующим соотношением конструктивных параметров:

$$K_L = \frac{D_1}{d_1} \le \sqrt{1 + \frac{K_{доп2}}{K_{ш1} \cdot K_{\alpha_1}^2}}, \tag{26}$$

где K_L - соотношение между наружным диаметром шнека и дополнительного шнека.

Производительность смесителя (Q_V) определяется его полезным объемом, свойствами кормов, временем приготовления смеси и коэффициентом заполнения смесительной камеры. Увеличение коэффициента заполнения смесительной камеры и полезного объема позволит увеличить подачу рабочих органов на каждом из участков смесителя.

При приготовлении смеси максимальное заполнение смесительной камеры будет наблюдаться на участках L_{11} и L_{12} шнековой навивки и в канале обратного хода.

Увеличение длины участков L_{11} и L_{12} позволяет увеличить коэффициент заполнения смесителя, и, как следствие, производительность смесителя.

Для эффективной подачи кормовой смеси количество витков шнековой навивки необходимо принимать кратным целому числу и не менее одного полного витка, т.е. $L_i = k_S S_i$, где k_S = 1, 2, 3, …, n – количество витков шнека.

Так как наибольшее значение коэффициента заполнения будет на участках L_{11} и L_{12}, а минимальное значение на участках L_{13}, L_{14} и с учетом размеров загрузочного окна, то можно принять следующие параметры участков:

$$L_{11} = L_{13} = L_{14} = S_{ш2} = S_{ш1}. \tag{27}$$

Увеличение объема смешиваемой кормовой смеси можно достигнуть увеличением длины участка L_{12}, но при этом будет увеличиваться продолжительность цикла $t_ц$, что скажется на производительности.

Результаты и обсуждение.

Объем порции кормовой смеси определится как сумма объемов на каждом из участков смесительной камеры:

$$V_{см} = \frac{\pi}{4}\left[\left(D_1+\delta_2\right)^2 - d_2^2\right]\cdot L_{11}\cdot\varphi_{ш1} + \frac{\pi}{4}\left[\left(D_1+\delta_1\right)^2 - D_2^2\right]\cdot L_{12}\cdot\varphi_{ш1} +$$
$$+\frac{\pi}{4}\left[\left(D_1+\delta_1\right)^2 - D_2^2\right]\cdot L_{13}\cdot\varphi_{ш\lambda} + \frac{\pi}{4}\left[\left(D_1+\delta_1\right)^2 - D_2^2\right]\cdot L_{14}\cdot\varphi_{ш2} + \quad , \quad 8)$$
$$+\frac{\pi}{4}\left[\left(D_1+\delta_1\right)^2 - d_2^2\right]\cdot L_{15}\cdot\varphi_{тан} + \frac{\pi}{4}\left[\left(d_1+\delta_2\right)^2 - d_2^2\right]\cdot L_{14}\cdot\varphi_{доп1} +$$
$$+\frac{\pi}{4}\left[\left(d_1+\delta_2\right)^2 - d_2^2\right]\cdot L_{13}\cdot\varphi_{диф2} + \frac{\pi}{4}\left[\left(d_1+\delta_2\right)^2 - d_2^2\right]\cdot L_{12}\cdot\varphi_{доп2}$$

где δ_1 - зазор между наружной кромкой винта и корпусом смесителя, м; δ_2 - зазор между наружной кромкой винта дополнительного шнека и каналом обратного хода, м.

Объемная производительность смесителя за цикл определится по выражению:

$$Q_V = \frac{V_{см}}{t_ц}, \tag{29}$$

где Q_V - объемная производительность смесителя за цикл, м^3/с.

Моделирование объемной подачи позволило оценить влияние на объемную подачу смесителя в зависимости от отношения шага витка шнека к его диаметру, представленную на рисунке 4, влияния количества витков шнека на участке L_{13}.

Анализ зависимостей (рис. 4) показывает, что при количестве витков шнека на участке L_{12} более четырех – объемная подача не увеличивается. Это связано с тем, что увеличение количества витков шнека приводит к увеличению полезного объема смесителя, но при этом возрастает продолжительность перемещения кормовой смеси, и, как следствие, времени смешивания. Рациональное количество витков шнека на участке L_{12} должно составлять четыре витка.

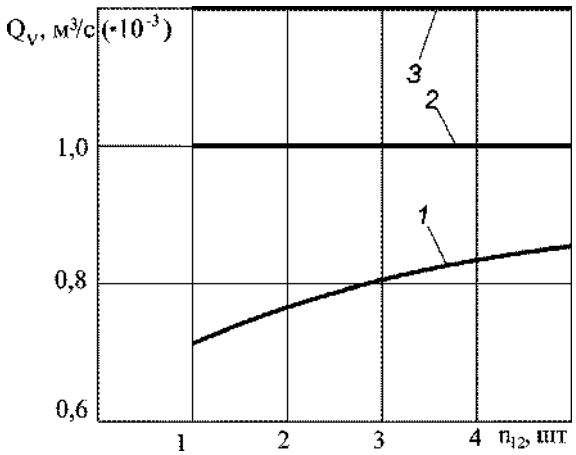


Рисунок 4 – Зависимость изменения цикловой подачи от количества витков шнека на участке L_{12} при $K_ш$ = 1 – 0,4; 2 – 0,6; 3 – 0,8

Заключение. В результате проведенных исследований:

- предложена конструктивно-технологическая схема шнекового смесителя с активным каналом обратного хода;
- получены выражения для определения времени цикла, времени загрузки и времени полной разгрузки готовой кормовой смеси;
- получены выражения для определения подачи рабочих органов на каждом участке шнекового смесителя с активным каналом обратного хода;
- определено рациональное количество витков шнека из условия объемной подачи смесителя за цикл.

Список литературы

1. Борисова, М. В. Аналитическое описание показателей работы смесителя сыпучих материалов с винтовыми лопастями / М. В. Борисова, В. В. Новиков, В. В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 69-78.

2. Ведищев, С. М. Анализ малогабаритных комбикормовых агрегатов / С.М. Ведищев, А.А. Кажияхметова, Н.В. Хольшев // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья [Электронный ресурс] : материалы I Всерос. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Ю. В. Родионова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. - С. 135 – 151.

3. Ведищев, С.М. Смесители-дозаторы сухих рассыпных кормов / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, А.Н. Зазуля, В.П. Капустин // Промышленность и сельское хозяйство. - №12(17). – 2019. - С. 10-14.

4. Ведищев, С.М. Технология получения комбикормов в хозяйствах / С.М. Ведищев, М.Е. Выгузов, П.Д. Плохих, А.В. Прохоров, А.С. Ткачев // Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера: материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Мичуринск, Издательство: Мичуринский государственный аграрный университет, 2020. - С. 144-149.

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

6. Влияние угла установки барабана смесителя на качество смеси / К. П. Фудин, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 12-19. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-12-19.

7. Влияние частоты вращения мешалки и длины ее лопаток на качество смеси / М. В. Фомина, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков, В. В. Коновалов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 63-69.

8. Влияние частоты вращения мешалки и количества её лопастей на качество приготавливаемой смеси тихоходным смесителем / М. В. Борисова, В. В. Новиков, А. Ю. Титов, В. В. Коновалов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3(77). – С. 136-141.

9. Кажияхметова, А.А. Моделирование процесса смешивания в шнековом смесителе с активным каналом обратного хода для получения экологически безопасных смесей / А.А. Кажияхметова, А.И. Завражнов, С.М. Ведищев, А.В. Прохоров, М.Е. Выгузов // Цифровизация агропромышленного комплекса [Электронный ресурс] : сборник научных статей II Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х т. Тамбов, 21 – 23 октября 2020 г. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. Т. II. – С. 320-324.

10. Регрессионная модель производительности опорожнения тихоходного смесителя / М. В. Борисова, А. Ю. Титов, В. В. Новиков, В. В. Коновалов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(50). – С. 103-108. – DOI 10.31563/1684-7628-2019-50-2-103-109.

References

1. Borisova, M.V., Novikov V.V., Konovalov V.V. Analytical description of the performance indicators of a bulk material mixer with helical blades // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. - 2019. - No. 1. - S. 69-78.

2. Vedishchev, S.M. Analysis of small-sized feed aggregates / S.M. Vedishchev, A.A. Kazhiyakhmetova, N.V. Kholshev // Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials [Electronic resource]: materials of the I All-Russian. conf. with international participation / under total. ed. Yu. V. Rodionova; FGBOU VO "TSTU". - Tambov: Publishing Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "TSTU", 2019. - P. 135 - 151.

3. Vedischev, S.M. Mixers-dispensers of dry loose feed / S.M. Vedishchev, A.I. Zavrazhnov, A.N. Zazulya, V.P. Kapustin // Industry and agriculture. - No. 12 (17). - 2019. - S. 10-14.

4. Vedischev, S.M. Technology for obtaining compound feed in farms / S.M. Vedishchev, M.E. Vyguzov, P.D. Bad, A.V. Prokhorov, A.S. Tkachev // Innovative approaches to the development of technologies for the production, storage and processing of crop cluster products: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. - Michurinsk, Publisher: Michurinsky State Agrarian University, 2020. - S. 144-149.

5. Vedischev, S.M. Screw dispenser with a reverse channel / S.M. Vedishchev, A.I. Zavrazhnov, D.N. Balakhonova, V.V. Sorokin, M.A. Garina, A.V. Kozlov // Science in Central Russia. - 5(17). - 2015. - S. 29-33.

6. Fudin K. P., Teryushkov V. P., Chupshev A. V., Konovalov V. V. Influence of the angle of the mixer drum on the quality of the mixture // Science in Central Russia. - 2020. - No. 3 (45). - S. 12-19. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-12-19.

7. Fomina M. V., Chupshev A. V., Teryushkov V. P., Konovalov V. V. Influence of the stirrer rotation frequency and the length of its blades on the quality of the mixture // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. - 2019. - No. 1. - P. 63-69.

8. Borisova M. V., Novikov V. V., Titov A. Yu., Konovalov V. V. Influence of the stirrer speed and the number of its blades on the quality of the mixture prepared by a low-speed mixer. Izvestiya Orenburg State Agrarian University. - 2019. - No. 3 (77). - S. 136-141.

9. Kazhiyakhmetova, A.A. Simulation of the mixing process in a screw mixer with an active return channel to obtain environmentally friendly mixtures / A.A. Kazhiyakhmetova, A.I. Zavrazhnov, S.M. Vedishchev, A.V. Prokhorov, M.E. Vyguzov // Digitalization of the agro-industrial complex [Electronic resource]: collection of scientific articles II Intern. scientific-practical. conf. In 2 volumes. Tambov, October 21 - 23, 2020 - Tambov: Publishing Center of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "TSTU", 2020. Vol. II. - S. 320-324.

10. Borisova M. V., Titov A. Yu., Novikov V. V., Konovalov V. V. Regression model of low-speed mixer emptying performance // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. - 2019. - No. 2 (50). - S. 103-108. – DOI 10.31563/1684-7628-2019-50-2-103-109.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ведищев Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры «Агроинженери»" ФГБОУ ВО «ТГТУ», Россия, г. Тамбов, e-mail: serg666_65@mail.ru.

Завражнов Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Прохоров Алексей Владимирович – доцент кафедры «Агроинженери»" ФГБОУ ВО «ТГТУ», Россия, г. Тамбов, e-mail: pav1981@bk.ru.

Кжияхметова Айнур Ароновна – старший преподаватель кафедры технии и технологий ЧВПОУ Западно-Казахстанский инновационно-технологический универститет, Казахстан, г. Уральск, e-mail: aiioka@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Vedishchev Sergey Mikhailovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agroengineering, FGBOU VO "TSTU", Russia, Tambov, e-mail: serg666_65@mail.ru.

Zavrazhnov Anatoly Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Michurinsk State Agrarian University, Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Prokhorov Aleksey Vladimirovich - Associate Professor of the Department "Agroengineering"" FSBEI HE "TSTU", Russia, Tambov, e-mail: pav1981@bk.ru.

Kzhiyakhmetova Ainur Aronovna - Senior Lecturer of the Department of Engineering and Technology ChVPOU West Kazakhstan Innovation and Technology University, Kazakhstan, Uralsk, e-mail: aiioka@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 18.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 20.05.2022

УДК 631.365.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-24-31

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ КАГАТОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

[1,2]Кольцов Семен Михайлович
[1]Стрыгин Сергей Петрович
[2]Чиркин Станислав Олегович
[2]Чечевицын Иван Дмитриевич
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. *Применение технологии активного вентилирования кагатов позволяет снизить потери свекломассы до 5%, увеличить продолжительность работы сахарного завода на 9 - 22% и снизить себестоимость сахара на 2 - 4,5 %. Установка вентиляционных ветвей осуществляется непосредственно при формировании кагата и ограниченно временем на выполнение монтажных работ, так как за одну смену необходимо установить от 6 до 12 ветвей. Унификация размера проходного сечения вентиляционной ветви позволяет повысить производительность монтажных работ и предотвратить остановки работы буртоукладочных машин при формировании кагатов. По результатам аналитических и теоретических исследований выявлены зависимости для определения конструктивных параметров вентиляционных ветвей с учетом технических характеристик буртоукладочных машин и большегрузных автомобилей с прицепом, а также физико-механических свойств корнеплодов сахарной свеклы. С учетом высоты и длины кагата определены расстояние между вентиляционными ветвями, количество вентиляционных ветвей и длина одной вентиляционной ветви. При длине кагата 120 метров и оптимальной высоте кагата в 6 метров количество вентиляционных ветвей составляет 16 шт., расстояние между ними – 6 метров, длина вентиляционной ветви - 26 метров. При максимально допустимой скорость воздуха магистральных воздуховодов в 11 м/с и интенсивности вентилирования в размере 40 м^3/час на 1 тонну корнеплодов сахарной свеклы, определен расход воздуха для одной вентиляционной ветви равный 22400 м^3/час. С учетом скорости и расхода воздуха определены: площадь воздуховода – 0,5026 м^2, площадь одного воздуховыпускного отверстия 0,005 м^2, количество воздуховыпускных отверстий – 150 шт. Полученные параметры послужат основой для разработки системы автоматического формирования вентилируемых кагатов.*

Ключевые слова: *сахарная свекла, кагат, активная вентиляция, буртоукладочная машина*.

PARAMETERS` DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL MACHINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR THE AUTOMATIC CREATION OF VENTILATED SUGAR BEET PILES

[1,2]Koltsov Semyon
[1]Strygin Sergei
[2]Chirkin Stanislav
[2]Chechevitsyn Ivan
[1]FSBSI «All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture»
[2]FSBEI HE «Michurinsk State Agrarian University»

Abstract. *The use of the technology of active ventilation of the sugar beet piles allows reducing the loss of beet pulp by up to 5%, increasing the duration of operation of the sugar factory by 9-22% and reducing the cost of sugar by 2-4.5%. The installation of ventilation branches is carried out directly during the formation of the sugar beet piles and is limited by the time for installation work, since it is*

necessary to install from 6 to 12 branches in one shift. The unification of the size of the passage section of the ventilation branch makes it possible to increase the productivity of installation work and prevent work stoppages of the sugar beet pilers during the formation of sugar beet piles. According to the results of analytical and theoretical studies, dependencies have been identified for determining the design parameters of ventilation branches, taking into account the technical characteristics of shoulder-laying machines and heavy-duty vehicles with a trailer, as well as the physical and mechanical properties of sugar beet root crops. Taking into account the height and length of the field clamp, the distance between the ventilation branches, the number of ventilation branches and the length of one ventilation branch are determined. With a length of 120 meters and an optimal height of 6 meters, the number of ventilation branches is 16 pcs, the distance between them is 6 meters, the length of the ventilation branch is 26 meters. With the maximum permissible air velocity of the main air ducts at 11 m/s and the ventilation intensity of 40 m^3/hour per 1 ton of sugar beet root crops, the air consumption for one ventilation branch is determined to be equal to 22400 m^3/hour. Taking into account the speed and air flow, the following are determined: the area of the duct is 0.5026 m^2, the area of one air outlet is 0.005 m^2, the number of air outlets is 150 pcs. The obtained parameters will serve as the basis for the development of a system for the automatic formation of ventilated sugar beet piles.

Keywords: *sugar beet, sugar beet piles, active ventilation, sugar beet pilers.*

Введение. Эффективность длительного хранения сахарной свеклы в вентилируемых кагатах во многом определяется соблюдением технологических регламентов на этапе их формирования. Соблюдение регламентов позволяет повысить скорость разгрузки большегрузных автомашин с прицепом в буртоукладочную машину (БУМ) и увеличить количество рейсов с полей возделывания до свеклопункта. Параметры эксплуатируемого БУМа необходимо учитывать при разработке производственных технологических регламентов.

Производительность БУМов варьируется от 100 до 720 тонн перевалки сахарной свеклы в час [1]. На большинстве сахарных заводов эксплуатируются БУМ комплекс 65М2Б3К производительностью 130 т/ч и его аналоги [2].

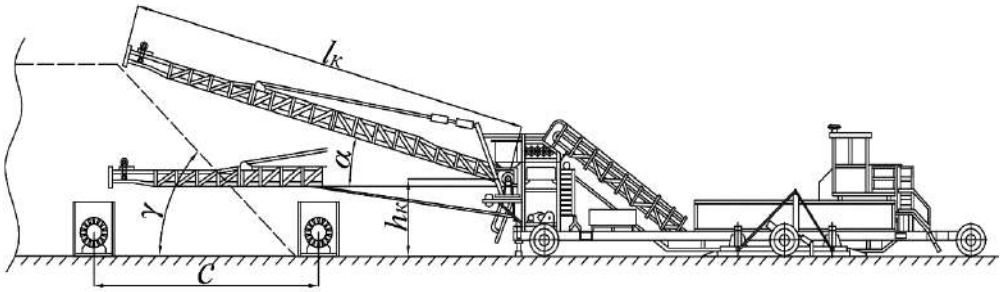
Загрузка бункера БУМа корнеплодами осуществляется при поочередной выгрузке большегрузной автомашины и прицепа посредством боковой площадки опрокидывателя. Это связано с преобладающей долей в парке большегрузных автомашин моделей КАМАЗ 45143-50, укомплектованных прицепом НЕФАЗ-8560-02, а также их аналогов, в то время как седельные тягачи при перевозке сахарной свеклы используют реже [3].

Движение автомашин при разгрузке организовано в направлении от площадки опрокидывателя в сторону поворотного укладочного конвейера. В процессе формирования кагата без вентиляции, ширина основания которых составляет 12-15 м, движение автомашин после разгрузки организовано вдоль кагата.

Однако наличие системы активной вентиляции приводит к увеличению ширины кагата и к уменьшению пространства для маневра при съезде с площадки опрокидывателя большегрузных автомашин. После разгрузки в бункер БУМа комплекса 65М2Б3К большегрузным автомашинам необходимо пространство для разворота. При формировании кагата с активной вентиляцией необходимо учитывать ряд параметров (рисунок 1).

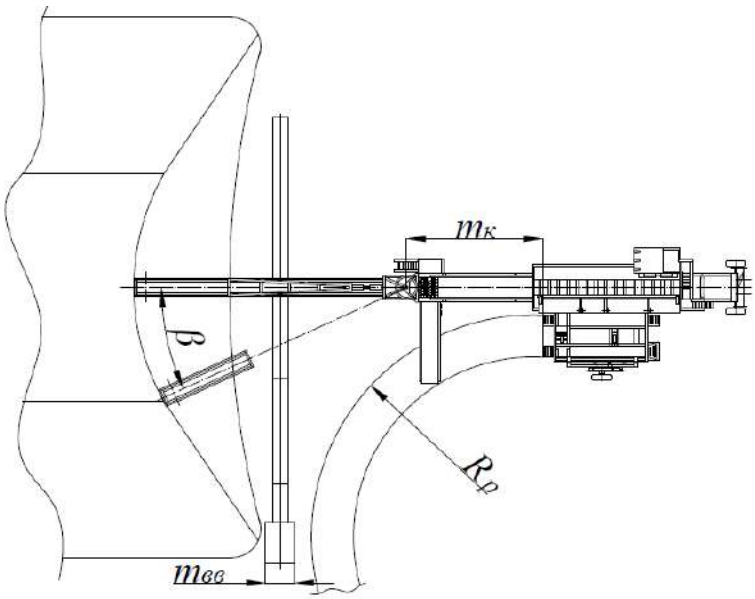
Комплекс 65М2Б3К оснащается в основном поворотными укладочными конвейерами длиной 12-16 м. При формировании кагата с активной вентиляцией необходимо выдерживать заданные габаритные размеры (высоту и ширину), а также интервал между перемещениями БУМа вдоль продольной оси кагата. Верхняя площадка кагата имеет волнообразную форму, которая образуется вследствие перемещения БУМа по ходу формирования кагата. При интервале между перемещениями БУМа 1 м перепад уровней на верхней площадке кагата не превышает 0,5 м, что не оказывает существенного влияния на равномерность аэродинамического сопротивления кагата.

Ширина кагата ограничивается пространством для разворота большегрузной автомашины. Минимальный радиус разворота КАМАЗ 45143-50 с прицепом при съезде с боковой платформы опрокидывателя составляет 11,5 м [4]. При формировании кагата его поперечное сечение имеет закругленную форму с радиусом нижнего основания 48 м (рисунок 2).



$l_к$ – длина поворотного укладочного конвейера БУМа; $h_к$ – высота подвеса укладочного конвейера; α – угол подъема укладочного конвейера; C – расстояние между вентиляционными ветвями; γ – угол естественного откоса корнеплодов сахарной свеклы

Рисунок 1 – Схема укладки кагата с активной вентиляцией буртоукладочной машиной



R_p – радиус траектории разворота большегрузной автомашины; β – угол поворота укладочного конвейера; $m_к$ – расстояние от площадки опрокидывателя до поворотного бункера укладочного конвейера; $m_{вв}$ – ширина вентиляционной ветви

Рисунок 2 – Схема съезда большегрузной автомашины при формировании кагата с системой активной вентиляции

Кроме того, часть пространства площадки для маневрирования большегрузных автомашин занимает установленная вентиляционная ветвь.

Цель исследования – определить конструктивные параметры системы активной вентиляции кагата сахарной свеклы.

Материалы и методы. Высота кагата с активной вентиляцией с учетом характеристик БУМа зависит от угла подъема, высоты подвеса и длины укладочного конвейера, ограничивается проскальзыванием корнеплодов на конвейере при выпадении осадков и определяется по формуле:

$$h = h_к + l_к \cdot sin(\alpha), \quad (1)$$

где α – угол наклона укладочного конвейера;

$h_к$ – высота от площадки до нижней точки крепления укладочного конвейера, м.

Ширина кагата с активной вентиляцией определяется с учетом физико-механических свойств корнеплодов сахарной свеклы, технических характеристик БУМа, места для постановки системы активной вентиляции, а также пространства для разворота большегрузного автотранспорта с прицепом по следующему соотношению:

$$l_к\, cos(\alpha)\, cos(\beta) + m_к \geq h \cdot ctg(\gamma) + m_{вв} + R_p\,, \quad (2)$$

где $l_к$ – длина укладочного конвейера, м;

β – угол поворота укладочного конвейера;

γ – угол естественного откоса корнеплодов сахарной свеклы;

$m_к$ – расстояние от площадки опрокидывателя до поворотного бункера укладочного конвейера, м;

R_p – радиус траектории разворота большегрузной автомашины, м;

$m_{вв}$ – ширина вентиляционной ветви, м.

Преобразовав формулы (1) и (2), определим угол поворота укладочного конвейера БУМа:

$$\beta = arccos(\frac{(h_к + l_к \cdot sin(\alpha)) \cdot ctg(\gamma) + R_p + m_к - m_{вв}}{l_к\, cos(\alpha)}) \quad (3)$$

Длина вентиляционной трубы определяется по следующей зависимости:

$$L = 2 \cdot (\frac{h_к + l_к \cdot \sin(\alpha)}{tg(\gamma)} + l_к \cdot cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)) - 4 \cdot ctg(\gamma) \quad (4)$$

В соответствии с методикой [5, 6] проектирования систем вентиляции хранилищ растительной продукции расстояние между вентиляционными ветвями при поперечной схеме вентилирования может быть определено из соотношения:

$$C = (0{,}8 \div 1{,}1) \cdot h \quad (5)$$

Количество вентиляционных ветвей, располагаемых по длине кагата:

$$n = \frac{l - 4 \cdot C}{C}, \quad (6)$$

где l – длина кагата, м.

Необходимое количество воздуховыпускных отверстий вентиляционной трубы определяется по формуле:

$$n_{во} = \frac{\Sigma f_{во}}{\bar{f}}, \quad (7)$$

где $\Sigma f_{во}$ – суммарная площадь воздуховыпускных отверстий, м^2.

$\bar{f}$ - площадь одного воздуховыпускного отверстия, м^2.

Форма воздуховыпускных отверстий принимается из условий наименьшей вероятности их перекрытия корнеплодами сахарной свеклы, которые размещаются при формировании кагата.

Площадь одного воздуховыпускного отверстия определяется из соотношения суммарной площади воздуховыпускных отверстий к площади поперечного сечения воздухораспределителя (с постоянной площадью сечения) принимается по следующей зависимости [7]:

$$\bar{f} = \frac{\Sigma f_{во}}{S} = 1{,}4 \div 1{,}8, \quad (8)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода, м^2.

Скорость воздуха в поперечном сечении в начале воздуховода определяется по формуле:

$$w = \frac{G}{S \cdot 3600}, \quad (9)$$

где G - расход воздуха для одной вентиляционной ветви, м^3/ч.

Требуемое количество воздуха для охлаждения кагата определяется исходя из периода, когда его расход максимален. Количество тепла, которое передается от корнеплодов поступающему приточному воздуху, зависит от следующих факторов: разности температур между ними; тепловыделениями корнеплодов; равномерности и интенсивности подаваемого воздушного потока; степени засорения насыпи; равномерности размеров корнеплодов и других факторов.

Расход воздуха для одной вентиляционной ветви определяется по следующей формуле:

$$G = q \cdot h \cdot C \cdot \left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot \rho_c, \quad (10)$$

где q – интенсивность вентилирования, м^3/ч на 1 т свеклы;
a, b – ширина нижнего основания и верхней площадки кагата, м;
ρ_c – насыпная плотность корнеплодов сахарной свеклы, 0,65 т/м^3.

Каждый из факторов меняется в процессе укладки и хранения. Поэтому точно учесть дифференцированное влияние каждого из факторов и их взаимного влияния затруднительно. Ориентировочно можно использовать рекомендации ВНИИСП (г. Киев), в соответствии с которыми для центральных районов РСФСР интенсивность вентилирования должна составлять в сентябре 35 м^3/час на 1 тонну свеклы; в октябре – 30 м^3/час на 1 тонну свеклы; в ноябре – 25 м^3/час на 1 тонну свеклы [7, 8].

Однако необходимо учитывать изменение сортового состава заготавливаемого сырья, в составе которого более 95% составляют гибриды зарубежной селекции, которые имеют более крупноклеточную структуру тканей и, соответственно, более высокую интенсивность дыхания [9, 10].

Кроме того, вся заготавливаемая свекла убирается механизированным способом и характеризуется обрезкой головок корнеплодов [11], что ведет к росту интенсивности дыхательных процессов и выделению большего количества тепла. Как правило, гибриды зарубежной селекции в большей степени подвержены поражению болезнями в период вегетации, что также способствует повышению интенсивности дыхательных процессов в послеуборочный период.

Результаты и их обсуждения. По результатам исследований были получены данные изменения высоты кагата в зависимости от угла подъема укладочного конвейера, представленные на рисунке 3.

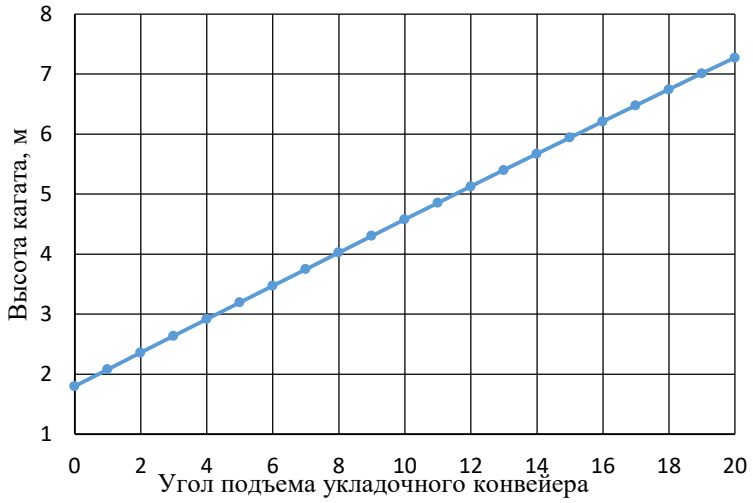


Рисунок 3 – График изменения высоты кагата от угла подъема конвейера

Из графика рисунка 3 следует, что максимальная высота кагата может составлять более 7-ми метров, однако, в случае выпадения осадков превышение угла наклона конвейера α>16° [12] приводит к проскальзыванию корнеплодов на ленте и забиванию приемного бункера перед укладочным конвейером.

На рисунке 4 представлен график изменения радиуса разворота большегрузного автотранспорта с прицепом в зависимости от угла поворота укладочного конвейера.

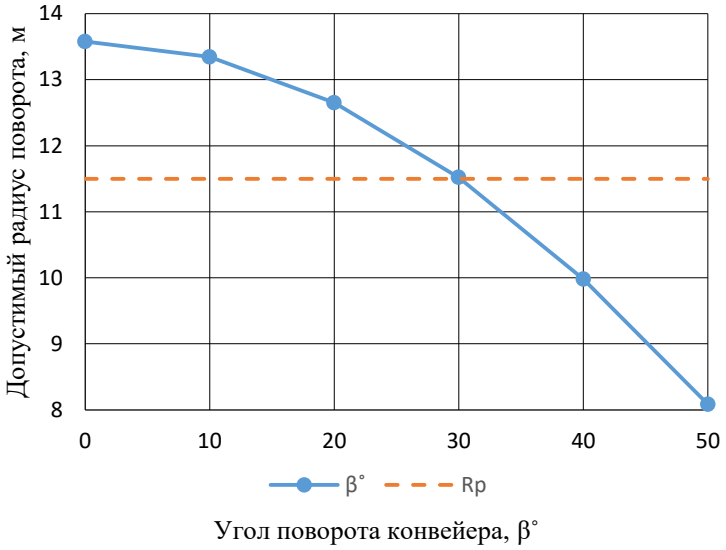


Рисунок 3 – График изменения радиуса разворота большегрузного автотранспорта с прицепом в зависимости от угла поворота укладочного конвейера

Анализируя данные рисунка 4 делаем вывод, что при оптимальной высоте кагата в 6 метров, допустимом радиусе разворота автомобиля с прицепом в 11,5 метров, угол поворота укладочного конвейера (*β*) должен быть менее 30°, при этом длина вентиляционной трубы составляет 26 м. С учетом высоты и длины кагата определены расстояние между вентиляционными ветвями и количество вентиляционных ветвей. Так при длине кагата в 120 м количество вентиляционных ветвей составляет 16 шт., а расстояние между ними – 6 м. Определен расход воздуха для одной вентиляционной ветви равный 22400 м^3/час, исходя из принятой интенсивность вентилирования в размере 40 м^3/час на 1 тонну корнеплодов сахарной свеклы [13].

Максимально допустимая скорость воздуха в магистральных воздуховодах производственного назначения составляет 11 м/с [14, 15]. Превышение допустимой скорости воздуха приводит к возрастанию аэродинамического сопротивления в системе вентиляции.

С учетом скорости и расхода воздуха получены: площадь воздуховода – 0,5026 м^2, площадь одного воздуховыпускного отверстия 0,005 м^2, количество воздуховыпускных отверстий – 150 шт.

В системах активной вентиляции кагатов сахарной свеклы должны применяться толстостенные воздуховоды с толщиной стенки 8…12 мм. Увеличенная толщина стенки воздуховодов позволит минимизировать риски повреждения элементов конструкции при взаимодействии с фронтальным погрузчиком во время демонтажа системы вентилирования [16].

Выводы. Обоснованы конструктивные параметры системы активной вентиляции (длина воздухораспределителя, количество вентиляционных ветвей и расстояние между ними, площадь воздуховыпускных отверстий, расход воздуха для одной вентиляционной ветви) с учетом размеров и размещения кагата на площадке и характеристик технологических машин и оборудования.

Полученные параметры послужат основой для разработки системы автоматического формирования вентилируемых кагатов.

Список литературы

1. Новиков В. А., Соколов Е. С., Гуппер Н. З., Григоренко В. А. Буртоукладочные машины и тракторные погрузчики для сахарной свеклы / Москва, 1977. – 75 с.

2. Буртоукладчик КОМПЛЕКС 65М2Б3К [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://kmbp.com.ua/ru/produktsiya/resheniya-dlya-sakharnoj-promyshlennosti/burtoukladchik-kompleks-65m2b3k (дата обращения 25.04.2021).

3. Буртоукладочная машина БУМ 700 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=nVKE5v-GVDM (дата обращения: 05.06.2020).

4. ГОСТ 27032-86 Машины буртоукладочные для сахарных заводов. Типы, основные параметры и размеры. - М.: Стандартинформ, 1987. - 20 с.

5. Инструкция по нормированию потерь свекломассы и сахара в свеклосахарном производстве. – ВНИИСП, 1989. – 90 с.

6. Проектирование активной вентиляции кагатов сахарной свеклы К.: КИСИ, ВНИИСП – 1969. – 28 с.

7. Бородянский Н. А. Вентиляция кагатов сахарной свёклы / М.: Издательство «Пищевая промышленность», 1972. – 163 с.

8. Нефелов С. В., Давыдов В. С. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха / М.: Стройиздат, 1984. - 328 с.

9. Пивоваров А. В., Ласкутова Л. М. Хранение сахарной свеклы с применением препаратов из фильтрационного осадка // Сахарная промышленность. – 1970. – №10. – С. 45–47.

10. Селиванова Г. А. Технологические качества корнеплодов сахарной свёклы, инфицированных возбудителями бактериального увядания // Евразийский союз ученых. – 2014. – № 7-8(7). – С. 32-34.

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

12. Zavrazhnov A.I., Koltsov S.M., Zazulya A.N., Vedishchev S.M., Tolstoshein S.S. Investigating natural cooling of piled sugar beet // IOP conference series: earth and environmental science. - Michurinsk, Russia, 2021. – P. 012089.

13. Активное вентилирование сахарной свеклы при хранении: М. – ЦИНТИ пищепром, 1969. – 65 с.

14. Вентиляция: учеб. пособие для студ. Учреждений высш. Проф. Образования / В. И. Полушкин, С. М. Анисимов, В. Ф. Васильев, В. В. Дерюгин. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 416 с.

15. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции / М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. – 209 с.

16. Князев В. А. Приемка и хранение сахарной свеклы по прогрессивной технологии / М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. – 200 с.

References

1. Novikov V. A., Sokolov E. S., Gupper N. Z., Grigorenko V. A. Burtoukladochnye mashiny i traktornye pogruzchiki dlja saharnoj svekly / Moskva, 1977. – 75 s.

2. Burtoukladchik KOMPLEKS 65M2B3K [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: https://kmbp.com.ua/ru/produktsiya/resheniya-dlya-sakharnoj-promyshlennosti/burtoukladchik-kompleks-65m2b3k (data obrashhenija 25.04.2021).

3. Burtoukladochnaja mashina BUM 700 [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: https://www.youtube.com/watch?v=nVKE5v-GVDM (data obrashhenija: 05.06.2020).

4. GOST 27032-86 Mashiny burtoukladochnye dlja saharnyh zavodov. Tipy, osnovnye parametry i razmery. - M.: Standartinform, 1987. - 20 s.

5. Instrukcija po normirovaniju poter' sveklomassy i sahara v sveklosaharnom proizvodstve. – VNIISP, 1989. – 90 s.

6. Proektirovanie aktivnoj ventiljacii kagatov saharnoj svekly K.: KISI, VNIISP – 1969. – 28 s.

7. Borodjanskij N. A. Ventiljacija kagatov saharnoj svjokly / M.: Izdatel'stvo «Pishhevaja promyshlennost'», 1972. – 163 s.

8. Nefelov S. V., Davydov B. C. Tehnika avtomaticheskogo regulirovanija v sistemah ventiljacii i kondicionirovanija vozduha / M.: Strojizdat, 1984. - 328 s.

9. Pivovarov A. V., Laskutova L. M. Hranenie saharnoj svekly s primeneniem preparatov iz fil'tracionnogo osadka // Saharnaja promyshlennost'. – 1970. – №10. – S. 45–47.

10. Selivanova G. A. Tehnologicheskie kachestva korneplodov saharnoj svjokly, inficirovannyh vozbuditeljami bakterial'nogo uvjadanija // Evrazijskij sojuz uchenyh. – 2014. – № 7-8(7). – S. 32-34.

11. Povyshenie jeffektivnosti tehnologij i tehnicheskih sredstv dlja vozdelyvanija i uborki propashnyh kul'tur (rekomendacii) / Zazulja A.N., Tyrnov Ju.A., Balashov A.V., Erohin G.N., Belogorskij V.P., Strygin S.P., Sinelnikov A.A., Minkin V.A., Suhov A.A. – Tambov. - Izdatel'stvo Pershina R.V. (Tambov), 2012. – 76 s.

12. Zavrazhnov A.I., Koltsov S.M., Zazulya A.N., Vedishchev S.M., Tolstoshein S.S. Investigating natural cooling of piled sugar beet // IOP conference series: earth and environmental science. - Michurinsk, Russia, 2021. – P. 012089.

13. Aktivnoe ventilirovanie saharnoj svekly pri hranenii: M. – CINTI pishheprom, 1969. – 65 s.

14. Ventiljacija: ucheb. posobie dlja stud. Uchrezhdenij vyssh. Prof. Obrazovanija / V. I. Polushkin, S. M. Anisimov, V. F. Vasil'ev, V. V. Derjugin. – 2-e izd., ispr. – M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2011. – 416 s.

15. Posohin V. N. Ajerodinamika ventiljacii / M.: AVOK-PRESS, 2008. – 209 s.

16. Knjazev V. A. Priemka i hranenie saharnoj svekly po progressivnoj tehnologii / M.: Leg. i pishh. prom-st', 1984. – 200 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Кольцов Семен Михайлович – младший научный сотрудник Федерального бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». Россия, г. Тамбов, e-mail: smkoltsov@yandex.ru.

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

Чиркин Станислав Олегович – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет». Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, e-mail: stas.chirkin@bk.ru.

Чечевицын Иван Дмитриевич – бакалавр Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет». Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, e-mail: ivanoldmen@gmail.com.

Author credentials

Affiliations

Koltsov Semen - Junior researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: smkoltsov@yandex.ru.

Strygin Sergei - Candidate of Technical Sciences, 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: sew1982@gmail.com.

Chirkin Stanislav is a master's student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University". Russia, Tambov region, Michurinsk, e-mail: stas.chirkin@bk.ru.

Chechevitsyn Ivan – Bachelor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University". Russia, Tambov region, Michurinsk, e-mail: ivanoldmen@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 14.02.2022 Принята к публикации (Accepted): 15.02.2022

УДК 631.3:634.711
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-32-40

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВАЛОВ ПОЧВЫ ИЗ ПРИКУСТОВОЙ ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ РЕМОНТАНТНОЙ МАЛИНЫ ПЕРЕД ОБРЕЗКОЙ

[1]Купреенко Алексей Иванович
[1]Кузнецов Владимир Васильевич
[1]Исаев Хафиз Мубариз-оглы
[1]Исаев Самир Хафизович
[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет

Реферат. *Установлено, что валы почвы в прикустовой зоне и неровности рельефа междурядий снижают качество механизированного способа срезания ремонтантной малины. Методом нивелирования и статистической обработки получены статистические показатели микропрофиля междурядий в диапозоне: дисперсия 2,0 - 4,0 см^2, среднеквадратическое отклонение 1,4 -2,0 см, частота среза 8 - 15. Разработаны конструктивные схемы навесных машин для удаления валов почвы из прикустовых защитных зон с выравниванием профиля на одном уровне с профилем почвы в ряду малины. Основой конструкций является арочная рама, шарнирно навешиваемая на трактор сбоку и управляемая гидроцилиндром. К нижним концам рамы шарнирно прикреплены две дополнительные рамки. На рамках установлены активные почвообрабатывающие рабочие органы с приводом от гидромоторов и опорно-копирующее колесо. Для лёгких почв предусмотрены ротационные рабочие органы. Для тяжёлых почв предусмотрены плужные рабочие органы с вырезным отвалом и лопастные роторы. Разработанные машины позволяют удалять валы почвы из защитных зон малины с двух сторон ряда за один проход. Почва из валов разбрасывается в междурядья, выравнивает его неровности, а дно борозды формируется на одном уровне с профилем почвы в ряду малины. Таким образом создаётся оптимальный рельеф для последующего движения косилки.*

Ключевые слова: *ремонтантная малина, обрезка малины, удаление валов почвы из защитной зоны, средства механизации.*

DEVELOPMENT OF MECHANIZATION TOOLS FOR REMOVING SOIL SHAFTS FROM THE BUTTON PROTECTIVE ZONE OF REPAIR RASPBERRY BEFORE CUTTING

[1]Kupreenko Alexey
[1]Kuznetsov Vladimir
[1]Isaev Khafiz
[1]Isaev Samir
[1]FGBOU VO "Bryansk State Agrarian University"

Abstract. *It was found that the shafts of soil in the near-growth zone and uneven topography of row spacings reduce the quality of the mechanized method of cutting remontant raspberries. Statistical indicators of the microprofile of row spacing in the range: dispersion 2.0 - 4.0 cm2, standard deviation 1.4 -2.0 cm, cutoff frequency 8 - 15 were obtained by the method of unleveling and statistical processing. The design schemes of mounted machines for removing shafts of soil from the protection zones near the mouth with leveling the profile on the same level with the soil profile in the raspberry row have been developed. The basis of the structures is an arched frame hinged on the tractor from the side and controlled by a hydraulic cylinder. Two additional frames are pivotally attached to the lower ends of the frame. Rotary working bodies are provided for easy soils. Plow tools with a cut-out blade and vane rotors are designed for heavy soils. The developed machines allow removing soil banks from the raspberry protective zones on both sides of the row in one pass. The developed machines allow removing soil banks from the raspberry protective zones on both sides of the row in one pass. The soil from the shafts is*

scattered into the row-spacing, leveling its irregularities, and the bottom of the furrow is formed on the same level with the soil profile in the raspberry row. This creates an optimal terrain for the subsequent movement of the mower.

Keywords: *remontant raspberry, raspberry trimming, removal of soil shafts from the protective zone, means of mechanization.*

В условиях изменившихся земельных отношений [1] в России образовалось много крупных, средних и мелких фермерских хозяйств, возделывающих на своей территории разнообразные сельскохозяйственные культуры. Существенно изменилась структура посевных площадей. Увеличились площади, отводимые под ягодные культуры [2, 3, 4]. В частности увеличены площади и совершенствуется технология возделывания ремонтантной малины.

Важным элементом технологии возделывания ремонтантной малины является осенняя обрезка растений при подготовке к зимовке. Качественной считается обрезка каждого стебля на минимальном уровне относительно поверхности почвы с соблюдением чистого среза без расщепления остающихся пеньков [5]. Обеспечению низкого среза растений препятствуют валы почвы в прикустовых защитных зонах, возвышающиеся относительно поверхности почвы внутри ряда малины. Валы образуются при обработке междурядий дисковыми почвообрабатывающими орудиями [6, 7]. Кроме того, неровности микрорельефа почвы в междурядьях через колёса, раму и подвеску агрегата вызывают колебания режущего аппарата и неравномерность высоты среза отдельных растений.

Очевидно, что для обеспечения качественного среза растений ремонтантной малины следует предварительно удалять валы почвы из прикустовых защитных зон заподлицо с поверхностью почвы внутри ряда с разбрасыванием в междурядья и выравниванием профиля для последующего движения опорных колёс косилок.

В настоящее время сложилась практика обработки почвы в прикустовых зонах ягодных культур с использованием ротационных рабочих органов с вертикальной и крутонаклонной осью вращения. Активно проводится исследование процесса работы и совершенствование конструкций таких средств механизации [8 - 14]. Однако, совершенствование конструкций и оптимизация параметров и режимов работы таких рабочих органов осуществляются под задачи рыхления почвы, ограничения рядов малины и подрезания сорных растений в прикустовых зонах. Так, в работе [15] исследован эффект поперечного смещения почвы при обработке прикустовой зоны ягодных культур почвофрезой с ротационным рабочим органом. Установлено, что исследуемый рабочий орган осуществляет незначительное объёмное поперечное смещение вала почвы без существенного выравнивания профиля поверхности. По результатам исследований процесс работы почвофрезы с ротационным рабочим органом, в отношении задачи удаления валов почвы из прикустовой зоны и выравнивания профиля почвы в прикустовой зоне до уровня профиля в рядах следует считать неудовлетворительным, а автор считает его побочным и в некоторых случаях даже вредным. Таким образом, остаётся нерешённым вопрос создания эффективных средств механизации для качественного удаления валов почвы из прикустовой зоны и выравнивания профиля почвы в прикустовой зоне до уровня профиля в рядах перед обрезкой малины.

Цель статьи. Разработка средств механизации для удаления валов почвы из прикустовой защитной зоны ремонтантной малины перед обрезкой.

Материалы и методы.

Профилирование поверхности поля в рядах ремонтантной малины выполнялось методом нивелирования на опытной плантации малины, принадлежащей Кокинскому опорному пункту ФГНБУ ФНЦ Садоводства у села Кокино Выгоничского района Брянской области. Качество обрезки стеблей ремонтантной малины безподпорным способом косилкой КРН-2,1 на той же плантации оценивалось методом осмотра и инструментального измерения. Проводился анализ научных работ и патентный поиск перспективных решений в области технических средств обработки почвы в прикустовой зоне ягодных культур и средств ограничения рядов и обрезки малины.

Результаты и их обсуждение.

По результатам исследования установлено, что для обеспечения качественного среза растений ремонтантной малины следует отдавать предпочтение косилкам с режущим аппаратом подпорного среза. При этом необходимо предварительно удалять валы почвы из прикустовых защитных зон.

Выполненный анализ результатов профилирования поверхности поля в междурядьях малины показал, что он состоит из неровностей макро-, мезо- и микрорельефа.

Установлено, что характеристики макрорельефа и мезорельефа на исследуемой плантации определяются ландшафтом местности данной зоны. Характеристики микрорельефа сформированы в результате обработки междурядий дисковыми почвообрабатывающими орудиями. К микрорельефу отнесли неровности, ширина которых находится в пределах от 0,05 до 0,5 м, к мезорельефу - от 0,5 до 30 м, к макрорельефу – свыше 30 м. Установлено также, что характеристики макро- и мезорельефа в междурядьях малины высоко коррелированы с соответствующими характеристиками рельефа внутри рядов, а микропрофиль имеет статистические показатели, приведенные в таблице 1. Расчёт статистических показателей характеристики микрорельефа междурядий малины (таблица 1) выполнен с использованием пакета программ Stadia.

Таблица 1 – Значение статистических показателей микрорельефа междурядий плантации малины в Кокинском опорном пункте ФГНБУ ФНЦ Садоводства

Дисперсия, D_x, см^2	Среднеквадратическое отклонение, σ_x, см	Частота среза $\varpi^п_c$, м$^{-1}$
$2{,}0 < D_x < 4{,}0$	$1{,}4 < \sigma_x < 2{,}0$	$8 < \varpi^п_c < 15$

Часть представительной реализации профиля междурядий с наглядным отображением неровностей микрорельефа представлена на рисунке 1.

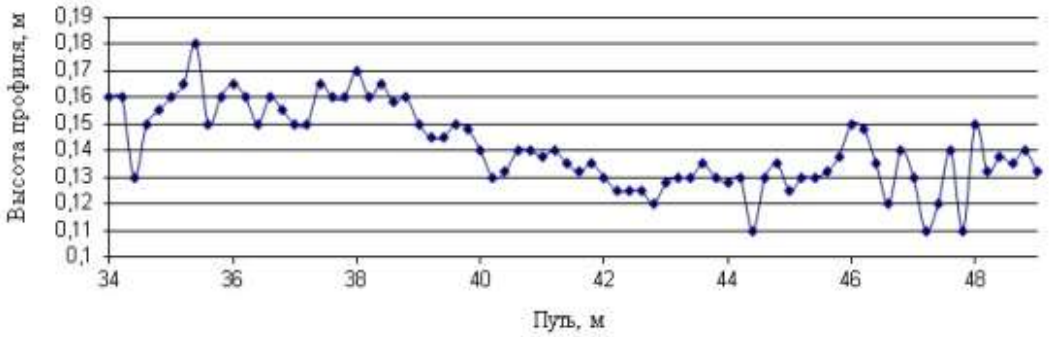


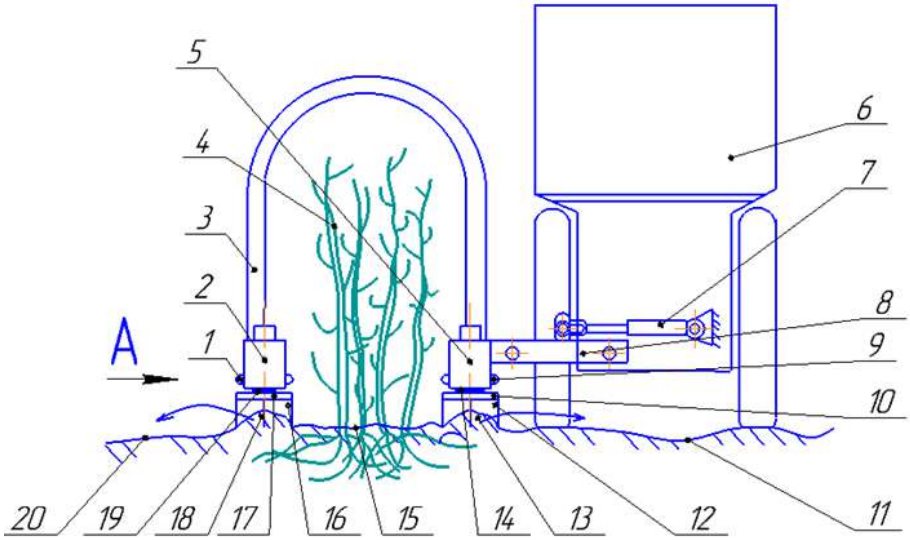
Рисунок 1 - Часть реализации профиля поверхности поля в междурядьях земляники, с наглядным отображением неровностей микрорельефа

Полученные данные свидетельствуют о том, что именно микрорельеф междурядий плантации малины будет оказывать существенное влияние через колёса, раму и механизм подвески на неравномерность глубины хода удаляющих валы почвы рабочих органов. При этом профиль поля в прикустовой зоне после удаления валов будет иметь неровности. Для нейтрализации такого влияния в конструкции агрегатов необходимо предусмотреть компенсирующие колебания механизмы. На месте удаляемых валов должен формироваться выровненный профиль поверхности, заподлицо с профилем внутри ряда малины.

В процессе решения поставленных задач, разработаны два типа технических средств для удаления валов почвы из прикустовой защитной зоны ремонтантной малины: для работы на лёгких почвах и для работы на тяжёлых связных почвах.

Для выполнения работы по удалению валов почвы лёгкого механического состава и разбрасывания её в междурядья из прикустовых защитных зон ремонтантной малины,

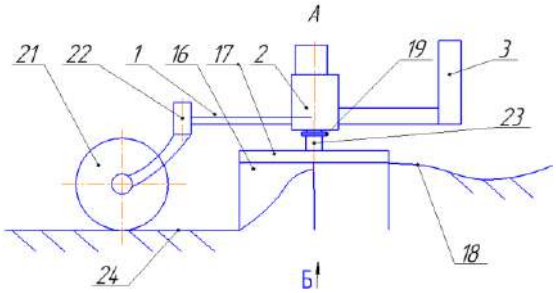
одновременно с двух сторон ряда растений разработан опытный образец навесного агрегата для возделывания высокостебельных культур, [16]. Агрегат (рисунок 2), включает навесное устройство в виде бруса 8, закреплённого посредством продольно-горизонтального шарнира сбоку трактора и управляемого гидроцилиндром 7, арочную раму 3, один конец которой закреплён на навесном устройстве посредством продольно-горизонтального шарнира.



1, 9 - рамки крепления рабочих органов; 2, 5 - гидравлические мотор-редукторы; 3 - арочная рама; 4 – стебли малины; 6 – трактор; 7 – гидроцилиндр; 8 – брус; 10, 17 – ротационные рабочие органы; 11, 20 – неровности поверхности почвы в междурядье; 12, 16 – лопасти; 13, 18 – удаляемые валы почвы; 14, 19 – предохранительные муфты; 15 – поверхность почвы в рядах малины.

Рисунок 2 – Схема агрегата для возделывания высокостебельных культур на лёгких почвах

Такая конструкция навесного устройства, при переводе золотника гидрораспределителя управляющего гидроцилиндром 7 в плавающее положение, позволит снизить влияние колебаний трактора на неравномерность хода ротационных рабочих органов по глубине (рисунок 3).



1 - рамка крепления рабочих органов; 2 - гидравлический мотор-редуктор; 3 - арочная рама; 16 -16 – лопасти; 17 – ротационный рабочий орган; 18 – удаляемый вал почвы; 19 - предохранительная муфта; 21 - опорно-копирующее колесо; 22 – механизм регулировки опорно-копирующего колеса по высоте; 23 - вал; 24 - выровненная поверхность

Рисунок 3 – Схема ротационного рабочего органа агрегата для возделывания высокостебельных культур на лёгких почвах, вид *А* на рисунке 2

Рабочие органы содержат рамки крепления 1, 9. Для обеспечения ровного дна борозды, позади каждого ротационного рабочего органа 17 к рамкам 1, 9 прикреплены самоустанавливающиеся опорно-копирующие колёса 21 с механизмами 22 регулировки по высоте. Ротационные рабочие органы имеют форму дисков 10, 17 с жёстко присоединёнными к ним радиально расположенными лопастями 12, 16 с режущей кромкой и поперечным сечением в форме известной спирали «жезл» [17].

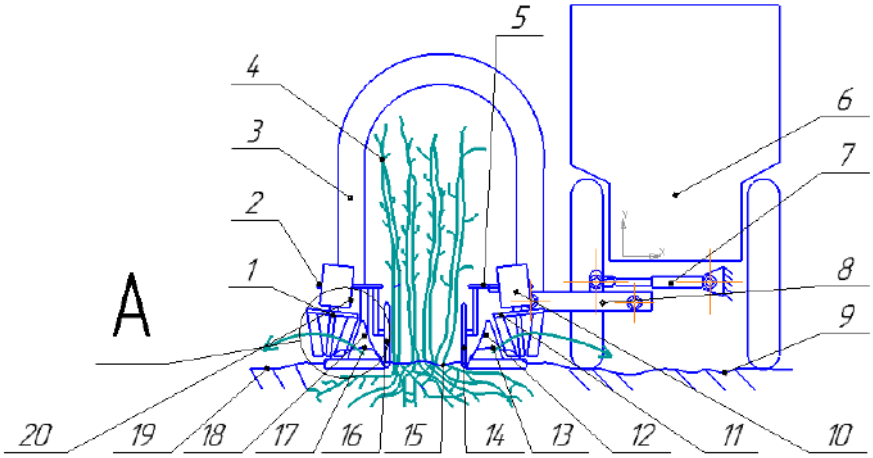
Такая форма лопастей, аналогичная лопастям грунтомёта позволяет осуществлять процесс отделения стружки от вала почвы с малым углом резания и одновременно задерживать её на своей поверхности до момента метания в междурядье. Оси вращения валов 23 ротационных рабочих органов расположены, согласно [18] вертикально. Валы 23 соединены с расположенными над ними гидравлическими мотор-редукторами 2, 5 через предохранительные муфты 14, 19 таким образом, что левый вращается против часовой стрелки, а правый – по часовой.

Перед работой, с помощью опорно-копирующих колес 21, устанавливают глубину хода лопастей ротационных рабочих органов 10, 17 такой, чтобы выровненная поверхность 24 находилась заподлицо с профилем почвы внутри ряда малины.

При движении рабочие органы под действием веса машины заглубляются в вал почвы до упора копирующих колёс 21 в выровненную при удалении вала, заподлицо с профилем почвы внутри ряда малины, поверхность 24, обеспечивая заданную глубину обработки.

Каждая лопасть рабочего органа отрезает режущей кромкой и захватывает из вала порцию почвы, отбрасывает её в междурядья 11, 20 и формируя позади себя выровненную поверхность, заподлицо с профилем 15 почвы внутри ряда малины.

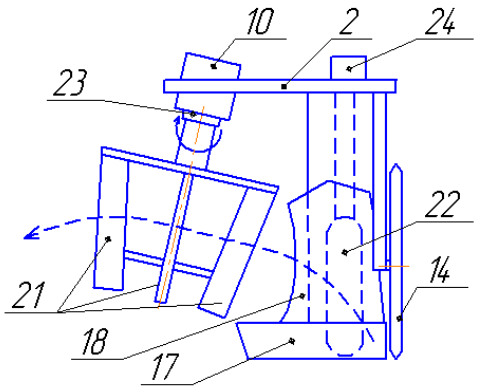
Для выполнения работы по удалению валов почвы тяжёлого связного состава и разбрасывания её в междурядья из прикустовых защитных зон ремонтантной малины, разработан другой вариант опытного образца агрегата для возделывания высокостебельных культур [19]. Агрегат (рисунок 4) включает в себя аналогичное первому варианту, навесное устройство в виде бруса 8, закреплённого посредством продольно-горизонтального шарнира сбоку трактора 6 и управляемого гидроцилиндром 7. К навесному устройству прикреплена арочная рама 3, один конец которой закреплён на навесном устройстве посредством продольно-горизонтального шарнира. Отличие имеет устройство и крепление рабочих органов.



1, 11 – лопастной ротор; 2, 5 - рамка крепления комбинированного рабочего органа; 3 - арочная рама; 4 – стебли малины;; 6 – трактор; 7 – гидроцилиндр; 8 – брус; 9, 19 рельеф междурядий; 10, 20 – гидравлические мотор-редукторы;12, 18 – вырезной отвал предплужника;13, 17 – лемех предплужника; 14, 16 – самоустанавливающийся дисковый нож; 15- рельеф почвы в ряду малины;

Рисунок 4 – Схема агрегата для возделывания высокостебельных культур на тяжёлых связных почвах

К рамкам 2, 5 прикреплены напротив друг друга в поперечном направлении самоустанавливающиеся дисковые ножи 14, 16, право и левооборачивающие предплужники, включающие лемеха 13, 17 с вырезными отвалами 12, 18 и лопастные роторы 1, 11. Лопастные роторы имеют привод от прикреплённых к рамкам 2, 5 гидравлических мотор-редукторов 10, 20 через предохранительные муфты 23 (рисунок 5). Крепление выполнено так, что лопасти роторов расположены в зонах вырезов отвалов. Позади предплужников к рамкам 2, 5 прикреплены опорно-копирующие колёса 22.



2 - рамка крепления комбинированного рабочего органа; 14, 16 – самоустанавливающийся дисковый нож; 10 – мотор-редуктор; 17 – лемех предплужника; 18 – вырезной отвал предплужника; 21 – лопасть ротора; 22 – опорно-копирующее колесо; 23 – предохранительная муфта; 24 – механизм регулирования колеса

Рисунок 5 - Схема комбинированного рабочего органа агрегата для возделывания высокостебельных культур на тяжёлых связных почвах, выносной элемент *А* (рисунок 3)

Зазор между дисками 14, 16 и соответствующими им лемехами 13, 17 предплужников составляет 10…12 миллиметров. Для снижения интенсивности износа [20] лемех и вырезной отвал предплужника подвергли термообработке.

Агрегат для ухода за высокостебельными культурами на тяжёлых связных почвах работает следующим образом.

Перед работой машину навешивают на трактор 6, гидромоторы 10, 20 при помощи шлангов подключают к гидросистеме трактора, копирующие колёса 22 устанавливают механизмом регулировки в такое положение по высоте, чтобы нижний обрез их обода был на уровне лезвия лемехов 13, 17. Тракторист въезжает в междурядье культурных растений, седлает аркой ряд растений до соприкосновения лемехов 13, 17 предплужников с началом подлежащих удалению валов почвы на уровне поверхности почвы в раду малины, включает привод гидравлических мотор-редукторов, переводит золотника гидрораспределителя управляющего гидроцилиндром 7 в плавающее положение и начинает движение агрегата вперёд на соответствующей передаче.

При движении рабочие органы под действием веса машины заглубляются в валы почвы до упора копирующих колёс в выровненную предплужниками поверхность 24 (рисунок 2). Предплужники лемехами 13, 17 подрезают удаляемые валы почвы снизу, предварительно крошат и подают почву на вырезные отвалы 21, а по ним – на лопасти 21 активных лопастных роторов.

Лопасти роторов дополнительно крошат почву и разбрасывают её в междурядья 9 и 19, как показано на рисунках 1, 4 стрелками. В результате рельеф почвы в междурядьях, прикустовых зонах и кустовой зоне 15 плантации выравниваются по высоте, что создаёт благоприятные условия для последующей операции скашивания ремонтантной малины.

Выводы.

1. Обоснована необходимость уборки валов почвы из прикустовых защитных зон ремонтантной малины с разбрасыванием в междурядья с целью последующей качественной обрезки растений.

2. Экспериментально определены характеристики профиля междурядий на плантации малины, подтверждающие необходимость выравнивания дна борозды при уборке валов почвы и необходимость наличия опорно-копирующих устройств рабочих органов в конструкциях средств механизации для удаления валов почвы из прикустовой защитной зоны ремонтантной малины перед обрезкой.

3. Разработаны опытные образцы средств механизации для качественного удаления валов почвы из прикустовой зоны и выравнивания профиля почвы лёгкого и тяжёлого состава в прикустовой зоне до уровня профиля в рядах перед обрезкой малины.

Список литературы

1. Актуальные проблемы земельных отношений / С.А. Бельченко, В.Е. Ториков, В.Т. Симонов, И.Н. Белоус, С.Н. Поцепай // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XV междунар. науч. конф. Брянск, 2018. С. 277-285.

2. Ягодные культуры в Центральном регионе России. 2-е изд., перераб. и доп. / И.В. Казаков, С.Д. Айтжанова, С.Н. Евдокименко, Сазонов Ф.Ф., В.Л. Кулагина, Н.В. Андронова. М., 2016.

3. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Товарное производство ягод малины: монография. М.: Колос, 2004. 96 с.

4. Белоус Н.М., Евдокименко С.Н. Результаты сотрудничества ученых Брянского ГАУ и Кокинского опорного пункта ВСТИСП по развитию садоводства // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 1 (65). С. 15-22.

5. Евдокименко С.Н. Некоторые аспекты возделывания ремонтантных сортов малины. // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сб. ст. по материалам XI междунар. науч.-практ. конф. Горки: типогр. Белорусская ГСХА, 2018. С. 66-69.

6. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Влияние способа обработки почвы в междурядьях малины на их поперечный профиль // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. Ч. 1. Брянск: Из-во Брянская ГСХА, 2006. С. 68-71.

7. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Особенности работы дисковой бороны в междурядьях ягодных кустарников при экстремальных условиях // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 6. С. 29-30.

8. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Опыт разработки и практического использования фрезерного культиватора для плантации малины // Вестник НГИЭИ. 2018. № 11 (90). С. 112-123.

9. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Особенности применения вертикальной фрезы для обработки почвы в междурядьях малины // Агроинженерия. 2021. № 5 (105). С. 20-24.

10. Почвообрабатывающая фреза с вертикальной осью вращения: пат. 190984 Рос. Федерация: МПК A01B 33/06, 33/14 / Блохин В.Н., Кувшинов Н.М., Случевский А.М., Кузнецов В.В., Кубышкин А.В., Лаптева Н.А.; опубл. 18.07.2019, Бюл. № 20.

11. Блохин В.Н., Кузнецов В.В., Случевский А.М. Почвофреза с вертикальной осью вращения // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2009. С. 22-52.

12. Ротор почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 201711 Рос. Федерация: МПК A01B 33/06 / Кузнецов В.В., Кубышкин А.В., Лаптева Н.А.; опубл. 29.12.2020, Бюл. №1.

13. Блохин В.Н., Случевский А.М., Орехова Г.В. Разработка конструкций рабочих органов и роторов фрез с вертикальной осью вращения для копирования корневой системы растений // Известия Оренбургского ГАУ. 2021. № 4 (90). С. 118-121.

14. Фреза с вертикальной осью вращения: пат. 173801 Рос. Федерация: U1 / Блохин В.Н., Случевский А.М., Роганков С.И., Кувшинов Н.М., Ковалев А.Ф., Лаптева Н.А.; - № 2017101747; заявл. 19.01.2017; опубл. 12.09.2017.

15. Ожерельев В.Н. Влияние параметров ротора и режима работы вертикальной фрезы на боковой вынос почвы // Наука в центральной России. 2021. № 1. С. 5-11.

16. Агрегат для возделывания высокостебельных культур: пат. 197368 Рос Федерация: МПК A01B 39/08 / Кузнецов В.В., Гринь А.М., Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф., Кубышкин А.В., Лаптева Н.А.; опубл. 23.04.2020, Бюл. №12.

17. Фронтальный лесопожарный грунтомёт: пат. 2400274 Рос. Феерация: МПК A62C 27/00, B65G 31/04, E02F 3/18 / Максимов Е.И., Федорченко И.С., Голубев И.В., Голубев Д.А.; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27.

18. Блохин В.Н., Случевский А.М. К вопросу о преимуществе фрез с вертикальной осью вращения над фрезами с крутонаклонной осью вращения // Продовольственная безопасность: от зависимости к самостоятельности: материалы междунар. науч.-практ. конф. Брянск: Брянский ГАУ, 2017. С. 655-658.

19. Агрегат для возделывания высокостебельных культур: пат. 197481 Рос. Федерация: МПК A01B 39/08 / Кузнецов В.В., Гринь А.М., Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф., Кубышкин А.В., Лаптева Н.А.; опубл. 30.04.2020, Бюл. №13.

20. К вопросу о форме частиц кварцевой фракции почвы и их влиянии на изнашивание деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий / А.М. Михальченков, А.А. Локтев, С.А. Феськов, Т.А. Ермакова // Тр. ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 142-147.

References

1. Actual problems of land relations / S.A. Belchenko, V.E. Torikov, V.E. Simonov, I.N. Belous, S.N.. Potsepai // Agroecological aspects of sustainable development of agro-industrial complex: materials of the XV International Scientific conference. Bryansk, 2018. pp. 277-285.

2. Berry crops in the Central region of Russia. 2nd ed., reprint. and additional / I.V. Kazakov, S.D. Aitzhanova, S.N. Evdokimenko, Sazonov F.F., V.L. Kulagina, N.V. Andronova. M., 2016.

3. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. Commodity production of raspberries: monograph. M.: Kolos, 2004. 96 p.

4. Belous N.M., Evdokimenko S.N. Results of cooperation between scientists of the Bryansk State Agrarian University and the Kokinsky stronghold of the VSTISP for the development of horticulture // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2018. No. 1 (65). pp. 15-22.

5. Evdakimenko S.N. Some aspects of the cultivation of remontant raspberry varieties. // Technological aspects of cultivation of agricultural crops: Sat. Art. based on the materials of the XI int. scientific-practical. conf. Slides: typ. Belarusian State Agricultural Academy, 2018. S. 66-69.

6. Ozherel'ev V.N., Nikitin V.V. Influence of the method of tillage in the row spacing of raspberries on their transverse profile // Design, use and reliability of agricultural machines: coll. scientific works. Part 1. Bryansk: Iz-vo Bryansk State Agricultural Academy, 2006. S. 68-71.

7. Ozherel'ev V.N., Nikitin V.V. Peculiarities of the work of a disc harrow in the row-spacing of berry bushes under extreme conditions // Mechanization and electrification of agriculture. 2007. No. 6. S. 29-30.

8. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. Experience in the development and practical use of a milling cultivator for a raspberry plantation // Vestnik NGIEI. 2018. No. 11 (90). pp. 112-123.

9. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. Features of the use of a vertical cutter for tillage in the aisles of raspberries // Agroengineering. 2021. No. 5 (105). pp. 20-24.

10. Soil-cultivating cutter with a vertical axis of rotation: Pat. 190984 Ros. Federation: IPC A01B 33/06, 33/14 / Blokhin V.N., Kuvshinov N.M., Sluchevsky A.M., Kuznetsov V.V., Kubyshkin A.V., Lapteva N.A.; publ. 07/18/2019, Bull. No. 20.

11. Blokhin V.N., Kuznetsov V.V., Sluchevsky A.M. Rotary tiller with a vertical axis of rotation // Design, use and reliability of agricultural machines: Sat. scientific works of the international sci.-tech. conf. Bryansk, 2009. S. 22-52.

12. Rotor tillage cutter with a vertical axis of rotation: Pat. 201711 Ros. Federation: IPC A01B 33/06 / Kuznetsov V.V., Kubyshkin A.V., Lapteva N.A.; publ. 12/29/2020, Bull. No. 1.

13. Blokhin V.N., Sluchevsky A.M., Orekhova G.V. Development of designs of working bodies and rotors of cutters with a vertical axis of rotation for copying the root system of plants. Izvestia of the Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 4 (90). pp. 118-121.

14. Milling cutter with vertical axis of rotation: pat. 173801 Russian. Federation: U1 / Blokhin V.N., Sluchevsky A.M., Rogankov S.I., Kuvshinov N.M., Kovalev A.F., Lapteva N.A.; - No. 2017101747; application 19.01.2017; publ. 12.09.2017.

15. Ozherelyev V.N. Influence of the rotor parameters and the operating mode of the vertical cutter on the lateral removal of the soil // Science in Central Russia. 2021. No. 1. S. 5-11.

16. Unit for the cultivation of tall crops: Pat. 197368 Russian Federation: IPC A01B 39/08 / Kuznetsov V.V., Grin A.M., Evdokimenko S.N., Sazonov F.F., Kubyshkin A.V., Lapteva N.A.; publ. 04/23/2020, Bull. No. 12.

17. Frontal forest fire soil thrower: Pat. 2400274 Ros. Feeration: IPC A62C 27/00, B65G 31/04, E02F 3/18 / Maksimov E.I., Fedorchenko I.S., Golubev I.V., Golubev D.A.; publ. 27.09.2010, Bull. No. 27.

18. Blokhin V.N., Sluchevsky A.M. On the issue of the advantage of cutters with a vertical axis of rotation over cutters with a steeply inclined axis of rotation // Food security: from dependence to independence: materials of the international. scientific-practical. conf. Bryansk: Bryansk GAU, 2017. S. 655-658.

19. Unit for the cultivation of tall crops: Pat. 197481 Ros. Federation: IPC A01B 39/08 / Kuznetsov V.V., Grin A.M., Evdokimenko S.N., Sazonov F.F., Kubyshkin A.V., Lapteva N.A.; publ. 04/30/2020, Bull. No. 13.

20 On the question of the shape of particles of quartz fraction of soil and their influence on the wear of parts of working bodies of tillage tools / A.M. Mikhalchenkov, A.A. Loktev, S.A. Feskov, T.A. Ermakova // Tr. GOSNITI. 2017. Vol. 129. pp. 142-147.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Купреенко Алексей Иванович - доктор технических наук, профессор, директор инженерно-технологического института, профессор кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, kupreenkoai@mail.ru, +7-920-601-57-38.

Кузнецов Владимир Васильевич - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве, vlg3k@rambler.ru, +7-920-600-43-16.

Исаев Хафиз Мубариз-оглы - кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, доцент кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, haf-is@mail.ru, +7-920-604-64-54.

Исаев Самир Хафизович - ассистент кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, Samir.isaev.94@inbox.ru.

Authors credentials
Affiliations

Kupreenko Aleksei Ivanovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Engineering and Technology Institute, Professor of the Department of Technological Equipment of Animal Husbandry and Processing Industries, e-mail: kupreenkoai@mail.ru, telephone: +7-920-601-57-38.

Kuznetsov Vladimir Vasil'evich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction, e-mail: vlg3k@rambler.ru, telephone: +7-920-600-43-16.

Isaev Hafiz Mubariz-ogly - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technological Equipment of Animal Husbandry and Processing Industries, e-mail: haf-is@mail.ru, telephone: +7-920-604-64-54.

Isaev Samir Khafizovich - Assistant of the Department of Technological Equipment of Animal Husbandry and Processing Industries, e-mail: Samir.isaev.94@inbox.ru.

Поступила в редакцию (Received): 01.06.2022 Принята к публикации (Accepted): 03.06.2022

УДК 635.21:633.491:631.559
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ

[1]Гаджиев Парвиз Имранович
[2]Башкиров Анатолий Петрович
[1]Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна
[3]Гаджиев Имран Парвизович
[2]Шершнев Николай Сергеевич
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет»
[2]ФГБОУ ВО Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова
[3]ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева

Реферат. *Из-за высоких эксплуатационных расходов в нашей стране во многих местах сокращаются посевные площади под картофель, поэтому встает вопрос о новых технологиях и технических средствах в картофелеводстве. Исследовали возделывание картофеля с предварительной подготовкой почвы к посадке путем фрезерования. После такой обработки объемная масса почвы в зоне клубненосного гнезда весь вегетационный период остаётся в пределах от 0,87 до 1,06 г/см³, что обеспечивает хорошую аэрацию клубней*. На опытном поле, площадью *15 га, в фермерском хозяйстве в Курской области, Курского района, при посадке картофеля в апреле 2022 года фрезерование почвы проводилось почвообрабатывающей фрезой ФН-2,8 при влажности почвы 35%, которая агрегатировалась с трактором класса 1,4. Результаты фрезерования почвы показывают, что степень крошения почвы на глубине посадки картофеля высокая. Плотность почвы после фрезерования достигнута 1,0-1,1 г/см³, при этом сорняки полностью уничтожены. Предпосадочная подготовка почвы, с применением почвообрабатывающей фрезы, приведет к уменьшению потери клубней и повышению урожайности картофеля. На этом же участке была проведена посадка картофеля. картофелесажалой КСМ-4 с одновременным внесением минеральных удобрений в агрегате с трактором МТЗ-80. При посадке картофеля, обеспечивалось количество гнезд в среднем 43…45 тысяч на гектар, с сохранением нормы посадки картофеля 2,4 тонны на гектар. Агрегат картофелесажалки обслуживался трактористом и двумя подсобными рабочими, обеспечивающими загрузку картофеля и минеральных удобрений. В последующем планируется произвести уборку картофеля модернизированным картофелеуборочным комбайном КПК-2-01, в котором установлен усовершенствованный сепарирующий элеватор с прижимным транспортером с обрезиненными лопастями, что позволить произвести уборку на переувлажненных почвах.*

Ключевые слова: *плотность почвы, посадка картофеля, картофелесажалка, сорт картофеля, расстояние между клубнями, глубина посадки, ширина междурядий.*

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL METHODS ON POTATO YIELD

[1]Hadzhiev Parviz
[2]Bashkirov Anatolyi
[1]Ramazanova Gulbike
[3]Hadzhiev Imran
[2]Shershnev Nikolai
[1]Federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Russian State Agrarian Correspondence University»
[2] Federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov»

[3] *Federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev»*

Abstract. *Due to the high operating costs in our country, the area under potatoes is being reduced in many places, so the question arises of new technologies and technical means in potato growing. The cultivation of potatoes with preliminary preparation of the soil for planting by milling was studied. The volumetric mass of the soil after such treatment in the area of the tuber nest for the entire growing season remains in the range from 0.87 to 1.06 g/cm³, which ensures good aeration of the tubers. Soil milling on an experimental field with an area of 15 hectares, on a farm in the Kursk region, Kursk district, when planting potatoes in April 2022, was carried out with a tiller FN-2.8 at a soil moisture content of 35%, which was aggregated with a class 1.4 tractor. The results of soil milling show that the degree of soil crumbling at the depth of planting potatoes is high. Soil density after milling reached 1.0-1.1 g/cm³, while the weeds were completely destroyed. Pre-plant soil preparation, using a tiller, will reduce the loss of tubers and increase the yield of potatoes. Potatoes were planted in the same area. Potatoes were planted in the same area by potato planter KSM-4 with simultaneous application of mineral fertilizers in a unit with a tractor MTZ-80. When planting potatoes, the number of nests was provided on average 43...45 thousand per hectare, while maintaining the potato planting rate of 2.4 tons per hectare. The potato planter unit was serviced by a tractor driver and two auxiliary workers, who ensured the loading of potatoes and mineral fertilizers. In the future, it is planned to harvest potatoes with a modernized potato harvester KPK-2-01, in which an improved separating elevator with a pressure conveyor with rubber-coated blades is installed, which will allow harvesting on waterlogged soils*

Keywords: *soil density, potato planting, potato planter, potato variety, distance between tubers, planting depth, row spacing.*

Введение. Картофель во всем мире является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, как основной источник питания населения всего мира. Производство картофеля по валовому сбору занимает третье место в мире. По данным Росстата в стране было убрано в 2019 году свыше 21,1 млн. тонн картофеля, при урожайности в среднем около 210 ц с 1 га. По данным того же источника в 2021 году валовой сбор уменьшился на 6,7% при снижении урожайности с 166 до 160 ц с 1 га, при сокращении убранных площадей на 3,1% [1]. Это объясняется тем, что в зависимости от технологических приемов предпосадочной обработки почвы, ширины междурядий, выбора технологии посадки, выбора семенного сорта, климатических условий, урожайность картофеля сильно может отличаться. Весь вегетационный период на созреваемость картофеля значительно влияет влажность и плотность почвы. Эти факторы, также зависят от предпосадочной подготовки почвы под картофель. Из-за высоких эксплуатационных расходов на возделывание картофеля в стране во многих местах сокращаются посевные площади под картофель. В связи с этим отрасль картофелеводства нуждается в новых технологиях и технических средствах.

Исследования, проводимые последние годы в ФГБОУ ВО РГАЗУ, показывают, что после прохода почвообрабатывающей фрезы количество комков размером до 25 мм, которые соизмерима с просветами прутков сепарирующих органов картофелеуборочных машин составляет 91,6%. Усовершенствованные ножи почвообрабатывающей фрезы освобождают поля от растительных остатков на 90%. При этом, гребнистость обработанной поверхности поля оценивается около +1,8 см. Повышение урожайности картофеля и производительности картофелеуборочных комбайнов зависит от выбора способа подготовки почвы, вида технологии посадки картофеля и усовершенствования картофелеуборочных комбайнов, применительно к почвенно-климатических условиям возделывания картофеля. Исследования по выбору приемлемого технологического способа возделывания картофеля подтвердили, что повышение урожайности картофеля во многом зависит от качества фрезерование почвы при предпосадочной обработке почвы [2].

После фрезерной обработки почвы к посадке картофеля объемная масса почвы в зоне клубненосного гнезда весь вегетационный период остаётся в пределах от 0,87 до 1,06 г/см³ [3].

Сроки и качество всходов клубней во многом зависит от качества подготовки поля, то есть хорошо подготовленное поле должно быть рыхлым и ровным. Здесь немаловажно качество семенного материала при соблюдении заданной нормы посадки клубней и внесение минеральных удобрений как подкормка для дальнейшего развития и повышение урожайности картофеля [4-6].

Повреждение ростков пророщенных клубней при посадке, разгрузке, транспортировке и посадке приводит к снижению урожая. Так же к снижению урожая приводит любой вид повреждений – облом частично или полностью, смятие ростка или точки роста [7,8].

Фрезерная обработка почвы обеспечивает высокую степень крошения крупных комков, также хорошее качество измельчение растительных остатков. С целью выбора технологических приемов с созиданием рыхлого слоя почвы в клубненосной зоне, было заложено экспериментальное исследование возделывания картофеля с предварительной подготовкой почвы под посадку картофеля путем фрезерования. Проведенное сплошное фрезерование почвы, обеспечивает высокую степень крошения почвенных комков. После такой обработки почвы поле становится рыхлым, освобождается от твердых комков, что способствует лучшей аэрации почвы [9,10]. Результаты фрезерования почвы показывают, что степень крошения почвы на глубине посадки картофеля высокая. Плотность почвы после фрезерования достигнута 1,0-1,1г/см³, при этом сорняки полностью уничтожены. Предпосадочная подготовка почвы, с применением почвообрабатывающей фрезы, приведет к уменьшению потери клубней и повышению урожайности картофеля**.** Фрезерная подготовка почвы к посадке картофеля позволяет как минимум на неделю раньше произвести посадку картофеля на переувлажненных почвах, поэтому ее использование актуально.

Материалы и методы. Принимая во внимание вышеизложенное, в 2022 году было подготовлено опытное поле под посадку картофеля, с целью произвести уборку его модернизированным картофелеуборочным комбайном КПК-2-01 в ФХ «Радуга» Быкова В.Д., Курская область, Курский район, п. Камыши на площади 15 га. В этом районе тип почвы – выщелоченный чернозем, что хорошо подходит для возделывания картофеля. Фрезерование почвы проводилось весной в апреле 2022 года с почвообрабатывающей фрезой ФН-2,8 при влажности почвы 35%, которая агрегатировалась с трактором класса 1,4.

Как правило, качество выполнения технологического процесса фрезерной обработкой почвы оценивается по СТО АИСТ 4.2-2010 «Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей»[1].

Результаты и обсуждение.

Полученные результаты, согласно методике, приведенной выше, отражены в таблице 1.

Результаты агротехнических показателей фрезерной обработки почвы в хозяйстве показывают, что после такой обработки структура почвы отвечает агротехническим требованиям, предъявленным для посадки картофеля.

Исследования влияния технологии предпосадочной подготовки почвы к посадке картофеля обосновано уменьшением потери клубней, увеличением урожайности картофеля и улучшением работы сепарации почвы на переувлажненных почвах [11-12]. Обработка почвы проводится почвообрабатывающей фрезой ФН-2,8, которая агрегатируется трактором МТЗ-80. Результаты фрезерования почвы показывают, что степень крошения почвы на глубине посадки картофеля высокая и в слое почвы на глубине до 60 мм составляет 86,5%, на глубине до 150 мм составляет 67,4%, а в слое глубиной свыше 150 мм крошение почвы составляет 97,5%. Плотность почвы после фрезерования составил в благоприятной норме 1,0-1,1 г/см³, при этом сорняки полностью уничтожаются.

Общий вид поля после подготовки к посадке картофеля почвообрабатывающей фрезой ФН-2,8 показан на рисунке 1.

[1]СТО АИСТ 4.2-2010. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей. М., 2012. 40 с.

Таблица 1 – Агротехнические показатели фрезерный обработки почвы

Показатели	Данные испытаний
Дата и место проведения оценки	Курская область, Курский район, п. Камыши Апрель 2022 г.
Состав агрегата	МТЗ - 80 + ФН 2,8
Скорость движения агрегата, км/ч	3,9
Ширина захвата фрезы, м	2,8
Отклонение от заданной глубины, ± см	0,03
Глубина обработки почвы, см	12,6
Степень крошения почвы, %	
Размеры фракции: до 25 мм, % в слое до 60 мм до 50 мм, % в слое до 150 мм в слое свыше 150 мм	 86,5 67,4 97,5
Плотность почвы, г/см^3	1,0 –1,1
Гребнистость поверхности почвы, см	1,54 –1,62
Подрезание сорняков, %	100
Заделка растительных и пожнивных остатков, %	97,3

Рисунок 1 – Поле после фрезерования почвы к посадке картофеля

На этом же участке в начале мая 2022 года была проведена посадка картофеля в установленные агротехнические сроки согласно технологическим картам с выполнением предусмотренных агротехнических мероприятий. Для посадки картофеля из известных сажалок, была выбрана наиболее подходящая для гладкой посадки, картофелесажалка марки КСМ-4 (рисунок 2). Картофелесажалка КСМ-4 использовалась на посадке картофеля рядовым способом с одновременным внесением минеральных удобрений в агрегате с трактором МТЗ-80.

При проведении работ, высаживающий аппарат установлен так, чтобы обеспечивало количество гнезд в среднем 43…45 тысяч на гектар, с сохранением нормы посадки картофеля в количестве 2,4 тонны на гектар. Агрегат картофелесажалки обслуживался трактористом и двумя подсобными рабочими, обеспечивающими загрузку картофеля и минеральных удобрений.

Производительность картофелесажалки КСМ-4 в агрегате с трактором МТЗ-80 в междурядье 70 см за час чистой работы составило 1,2 га. Для посадки был выбран семенной сорт картофеля Винета, расстояние между клубнями в рядке 27 см, глубина посадки 80 мм, ширина междурядий 70 см (рисунок 3). Норма посадки на данном участке составила 2,4 т/га. Этот сорт позволяет при хорошем уходе за культурой получать до 45 тонн урожая с 1 гектара.

Рисунок 2 – Картофелесажалка КСМ-4 в работе

Рисунок 3 – Семенной картофель в борозде

Сорт Винета не повреждается при транспортировке, устойчив как засухе, также температурным перепадам. Поэтому его советуют высаживать в регионах со сложными почвенно-климатическими условиями.

В последующем планируется произвести уборку картофеля модернизированным картофелеуборочным комбайном КПК-2-01, в котором установлен усовершенствованный сепарирующий элеватор с прижимным транспортером. В свою очередь прижимной транспортер с обрезанными лопастями. Взаимодействие лопастей с прутками элеватора ведет очищению просвета прутков элеватора от залипания, тем самым улучшая процесс просеивания почвы на переувлажненных почвах.

Выводы. На основании, изученных материалов влияния технологических приемов на уменьшение потери клубней, увеличения урожайности картофеля и улучшения работы сепарации почвы на переувлажненных почвах, выбрана предпосадочная подготовка почвы к посадке картофеля с почвообрабатывающей фрезой. Результаты фрезерования почвы показывают, что степень крошения почвы на глубине посадки картофеля высокая и в слое почвы на глубине до 60 мм составляет 86,5%, на глубине до 150 мм составляет 67,4%, а в слое глубиной свыше 150 мм крошение почвы составляет 97,5%. Крошение почвы составляет 97,5%. Плотность почвы после фрезерования достигнута в благоприятной норме 1,0-1,1 г/см³, при этом сорняки полностью уничтожены. В зависимости от местности, выбран сорт картофеля Винера и схема посадки – расстояние между клубнями в рядке 27 см, глубина посадки 80 мм, ширина междурядий 70 см.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://rosstat.gov.ru (дата обращения: 10.05.2022).

2. Рамазанова Г.Г. Параметры и режимы работы фрезы для предпосадочной обработки почвы под картофель: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01.М., 2016. 132 с.

3. Старовойтова О.А. Разработка и совершенствование элементов технологии возделывания картофеля применительно к условиям изменяющегося климата Нечерноземной зоны России - дис. ... докт. с.-х. наук: 05.20.01 / О.А. Старовойтова. 2020.

4. Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Манаенков К.А. Повышение эффективности обработки почвы для комбайновой уборки картофеля // Наука в центральной России, 2020. №4(46). С.33-40. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-4-33-40

5. Гаджиев П.И. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Наука в центральной России. 2022. № 2(56). С.98-106. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106.

6. Успенский И.А., Юхин И.А., Мачнев А.В., Голиков А.А. Формирование комплекса картофелеуборочных и транспортных машин // Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С.27-31. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-2-27-31

7. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Results of Laboratory Studies of Soil Sifting in a Rod Elevator with Asymmetric Arrangement of Web Agitators and Adjustable Elevator Apron Angle // Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(3):380-402. DOI: https:// doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.380-402

8. Byshov N.V., Borychev S.N., Abramov Yu.N., Uglanov M.B., Kostenko, M.Yu. Rembalovich G.K. Validating the Parameters of the Rotary Device for Potato Haulm Removal // Bioscience Biotechnology Research Communications Special Issue. 2019. Vol. 12 (5). P.312-322.

9. Исследование крошения почвы при её предпосадочной подготовке к последующей комбайновой уборке картофеля / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, М.С. Шикалов, А.И. Алексеев// Техника и оборудование для села. 2019. № 4. С.20–23. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-4-20-23

10. Гаджиев П.И. Агротехнические показатели фрезерования почвы с зубцеобразной формой ножа / П.И. Гаджиев, М.С. Шикалов, Г.Г. Рамазанова, А.И. Алексеев // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии и оборудование в АПК. Материалы международной научно-практической конференции. 18–19 апреля 2019. С.25–29.

11. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля / А.С. Дорохов, А.В. Сибирев, А.Г. Аксенов, М.А. Мосяков // Агроинженерия. 2022. Т.24. № 1. С.12-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16.

12. KostenkoM.Y., Ruzimurodov A.A., Byshov D.N., Golakhov A.A., Yakutin N.N. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020.Vol. 422(1). 012032.

References

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://rosstat.gov.ru (data obrashcheniya: 10.05.2022).

2. Ramazanova G.G. Parametry i rezhimy raboty frezy dlya predposadochnoy obrabotki pochvy pod kartofel': dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. M., 2016. 132 s.

3. Starovoytova O.A. Razrabotka i sovershenstvovaniye elementov tekhnologii vozdelyvaniya kartofelya primenitel'no k usloviyam izmenyayushchegosya klimata Nechernozemnoyzony Rossii - dis. ... dokt. s.-kh. nauk: 05.20.01 / O.A. Starovoytova. 2020.

4. Gadzhiyev P.I., Ramazanova G.G., Manayenkov K.A. Povysheniye effektivnosti obrabotki pochvy dlya kombaynovoy uborki kartofelya // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2020. №4(46). S.33-40. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2020-4-33-40

5. Gadzhiyev, P. I. Usloviya raboty separiruyushchego elevator kartofeleuborochnykh mashin na pereuvlazhnennykh pochvakh / P.I. Gadzhiyev, G.G. Ramazanova, I.P. Gadzhiyev // Nauka v tsentral'noy Rossii. 2022. № 2(56). S.98-106. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106.

6. Uspenskiy I.A., Yukhin I.A., Machnev A.V., Golikov A.A. Formirovaniye kompleksa kartofeleuborochnykh i transportnykh mashin // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2021. № 2 (284). S.27-31. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-2-27-31

7. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Results of Laboratory Studies of Soil Sifting in a Rod Elevator with Asymmetric Arrangement of Web Agitators and Adjustable Elevator Apron Angle // Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(3):380-402. DOI: https:// doi.org/10.15507/2658-4123.031.202103.380-402

8. Byshov N.V., Borychev S.N., Abramov Yu.N., Uglanov M.B., Kostenko, M.Yu. Rembalovich G.K. Validating the Parameters of the Rotary Device for Potato Haulm Removal // Bioscience Biotechnology Research Communications Special Issue. 2019. Vol. 12 (5). R.312-322.

9. Issledovaniye krosheniya pochvy priy eyo predposadochnoy podgotovke k posleduyushchey kombaynovoy uborke kartofelya / P.I. Gadzhiyev, G.G. Ramazanova, M.S. Shikalov, A.I. Alekseyev // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2019. № 4. S.20–23. https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-4-20-23

10. Gadzhiyev P.I. Agrotekhnicheskiye pokazateli frezerovaniya pochvy s zubtseobraznoy formoy nozha / P.I. Gadzhiyev, M.S. Shikalov, G.G. Ramazanova, A.I. Alekseyev // Resursosberegayushchiye

ekologicheski bezopasnyye tekhnologii i oborudovaniye v APK. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 18–19 aprelya 2019. S.25–29.

11. Metod kompleksnoy otsenki kachestva vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy energoresursosberegayushchey tekhnologii uborki korneplodov i kartofelya / A.S. Dorokhov, A.V. Sibirev, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov // Agroinzheneriya. 2022. T.24. № 1. S.12-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16.

12. Kostenko M.Y., Ruzimurodov A.A., Byshov D.N., Golakhov A.A., Yakutin N.N. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020.Vol. 422(1). 012032.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Гаджиев Парвиз Имранович – доктор технических наук, профессор, декан факультета электроэнергетики и технического сервиса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха, e-mail: pgadjiev@yandex.ru

Башкиров Анатолий Петрович – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», Россия, г. Курск, e-mail: tmv46@mail.ru

Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства и водопользования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет», Россия, г. Балашиха, e-mail: gulbike@yandex.ru

Гаджиев Имран Парвизович – соискатель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» Россия, г. Рязань, e-mail: imgadjiev@mail.ru

Шершнев Николай Сергеевич – аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», Россия, г. Курск, e-mail: shershnevnikola@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Hadzhiev Parviz – PhD in Engineering, Professor, Dean of the Electrical Power Engineering and Technical Service Faculty of the federal state-owned publicly-funded institution of higher education«Russian State Agrarian Correspondence University», Russia, Balashikha,, e-mail: pgadjiev@yandex.ru

Bashkirov Anatolyi – PhD in Engineering, Professor, federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov», Russia, Kursk, e-mail: tmv46@mail.ru

Ramazanova Gulbike – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Environmental Engineering and Water Resources Managementof the federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Russian State Agrarian Correspondence University», Russia, Balashikha, e-mail: gulbike@yandex.ru

Hadzhiev Imran – applicant, federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev», Russia, Moscow, e-mail: imgadjiev@mail.ru

Shershnev Nikolai – Post-graduate student, federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanova», Russia, Kursk, e-mail: shershnevnikola@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 08.06.2022 Принята к публикации (Accepted): 10.06.2022

УДК 631.158
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-48-54

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

[1]Иванов Андрей Викторович
[1,2] Никифоров Владислав Евгеньевич
[2] Симонов Геннадий Александрович
[3] Филиппова Ольга Борисовна

[1] ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»
[2] ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук»
[3]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Микроклимат производственных помещений агропромышленного комплекса имеет большое значение. Необходимо поддерживать нормальные значения температуры, относительной влажности воздуха, а также требуется учитывать концентрацию вредных газов, которые негативно влияют на организм сельскохозяйственных животных и птицы, приводят к преждевременному выводу из строя зданий, сооружений и оборудования, увеличивают затраты на их ремонт, что влияет на себестоимость получаемой продукции. Максимальная концентрация аммиака в воздухе помещений для животных допускается не более 20 мг/м3. С целью снижения влияния вредных факторов разработано измерительное устройство ИКГ-1, позволяющее контролировать содержание аммиака в воздушной среде сельскохозяйственных помещений. Измеритель позволяет оперативно в течение 10 минут проводить измерение концентрации аммиака (NH3). Пределы измерений составляют 20...200 мг/м3 в воздухе рабочей зоны производственных помещений. Характеристики измерителя концентрации аммиака ИКГ-1 сопоставлены с показаниями прибора промышленного изготовления УГ-2, который прошел стандартизацию. Научные исследования и производственная проверка показали, что разработанный измеритель ИКГ-1 определяет концентрацию аммиака в 2-3 раза точнее и в 3-4 раза быстрее по сравнению с газоанализатором УГ-2. Применение газового определителя концентрации аммиака в воздухе позволяет обеспечить общие нормы безопасности при эксплуатации зданий и сооружений за счёт эффективной работы вентиляционного оборудования с кондиционерами.*

Ключевые слова: *микроклимат, производственные помещения, воздействие вредных факторов, воздух, концентрация аммиака, контроль, измерения.*

TECHNOLOGICAL CONTROL OF AMMONIA CONCENTRATION AT THE ENTERPRISES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

[1] Ivanov Andrey
[1,2] Nikiforov Vladislav
[2] Simonov Gennady
[3] Filippova Olga

[1] FSBEI HE "Vologda State University"
[2]FSBIS "Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences"
[3]FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russian Federation

Abstract. *The microclimate of the industrial premises of the agro-industrial complex is of great importance. It is necessary to maintain normal values of temperature, relative humidity, and it is also necessary to take into account the concentration of harmful gases that negatively affect the body of farm animals and poultry, lead to premature failure of buildings, structures and equipment, increase the cost*

of their repair, which affects the cost of products. The maximum concentration of ammonia in the air of premises for animals is allowed no more than 20 mg / m^3. In order to reduce the influence of harmful factors, a measuring device IKG-1 has been developed that allows monitoring the content of ammonia in the air of agricultural premises. The meter allows you to quickly measure the concentration of ammonia (NH_3) within 10 minutes. The measurement limits are 20...200 mg/m3 in the air of the working area of industrial premises. The characteristics of the ammonia concentration meter IKG-1 are compared with the readings of the device of industrial manufacture UG-2, which has passed standardization. Scientific research and production testing have shown that the developed ICG-1 meter determines the concentration of ammonia 2-3 times more accurately and 3-4 times faster than the gas analyzer UG-2. The use of a gas determinant of ammonia concentration in the air makes it possible to ensure general safety standards during the operation of buildings and structures due to the efficient operation of ventilation equipment with air conditioners.

Keywords: *microclimate, industrial premises, exposure to harmful factors, air, ammonia concentration, control, measurements.*

Введение. Для успешного функционирования предприятий агропромышленного комплекса большое значение имеет состояние микроклимата в производственных помещениях. Микроклимат – это комплекс факторов, представляющих собой различные физические воздействия, как на организм человека, так и животных, содержащихся в этих помещениях. В первую очередь к таким факторам относятся сочетания температуры, освещенности, потоков движения воздуха, относительной влажности, а также шумовой нагрузки и интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей. Кроме этих показателей в производственных условиях, характерных для сельскохозяйственной отрасли, большое значение имеют загрязненность воздуха, в том числе накопившимися в нем газами – продуктами жизнедеятельности животных и птицы. Например, углекислый газ, пары влаги, аммиак, сероводород и пыль от кормов на свинарниках и фермах для крупного рогатого скота снижают результаты работы предприятий, экономическую эффективность производства. Большую экологическую нагрузку при этом испытывает территория, прилегающая к животноводческим производственным помещениям. В частности из навоза выделяется сероводород и аммиак с последующим испарением до 25 % азота, которые легко проникают в атмосферу и могут переноситься на значительные расстояния с перемещением воздуха.

Существующие нормативные зоотехнические требования к параметрам производственного микроклимата внутри помещений, в которых содержатся животные, в основном регламентируют состояние воздуха, характеризующий производственно-технологический уровень работы предприятий [1]. Кроме учета состояния воздушной среды по части превышения концентраций вредных газов, необходимо также поддерживать оптимальные условия для содержания сельскохозяйственных животных и птицы по температурному режиму и относительной влажности воздуха. Нарушение условий содержания приводят к снижению продуктивности, качества получаемой сельскохозяйственной продукции и повышению себестоимости ее производства. Эффективность производства на крупных животноводческих комплексах и фермах можно обеспечить только при создании оптимальных условий микроклимата с учетом всех его параметров. Особые требования предъявляются к соблюдению санитарно-гигиенических норм при производстве молока, продукции птицеводства. Эти требования закладываются заранее на этапе проектирования зданий и строительства данных объектов с учетом необходимого освещения, установки систем вентиляции и т.п. [2-7]. Однако, в ходе продолжительной эксплуатации производственных помещений и хозяйственной деятельности предприятий благоприятные условия содержания животных нарушаются.

Следует отметить, что функционально каждый животноводческий комплекс в больших объемах активно образует загрязняющие вещества в виде газов, которые посредством интенсивной вентиляции воздуха в растворенном виде должны удаляться в атмосферу. Поэтому для поддержания параметров микроклимата в производственных помещениях периодически следует контролировать уровень концентрации, состояние газов содержащихся в воздухе и поддерживать стабильную работу систем вентиляции [8-10]. Влияние микроклимата на здоровье и

продуктивность животных имеет немаловажное значение. Известно, что 70% молочных коров по своим потенциалам определяются условиям окружающей среды и лишь 30% генетическими признаками. Отклонения параметров микроклимата в помещении от принятых норм (температуры, относительной влажности воздуха, концентрации вредных газов освещённость, и пр.) приводит к увеличению затрат кормов и труда на единицу продукции, и на ремонт используемого оборудования (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние отклонений микроклимата на производственные показатели

Показатель	Значение
Сокращение надоев	10-12%
Снижение приростов живой массы	20-30%
Увеличение отхода молодняка	до 40%
Снижение производственных показателей в птицеводстве	на 40%
Сокращение периода продуктивного использования животных	15-20%
Сокращение срока службы оборудования и эксплуатации животноводческих зданий	в 2-3 раза

У животных чаще выявляются нарушения функции органов пищеварения, дыхания, заболевания опорно-двигательной системы, а также нарушения обмена веществ (кетозы, витаминная и микроэлементная недостаточность), снижение воспроизводительной функции, рахит [11, 12]. Кроме того, неудовлетворительные условия содержания животных даже при полноценном кормлении снижают коэффициент использования корма на 70%.

Благодаря современным технологиям и различным научным разработкам в области улучшения микроклимата имеется исключительная возможность оперативно оценивать и снижать негативное влияние деятельности животноводческих комплексов на окружающую среду. С этой целью следует принимать определенные организационные меры, позволяющие ограничить появление ряда так называемых техногенных факторов:

- выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сокращая число источников активного выброса в грунт путем целенаправленной переработки (например, навоза);
- опасных отходов производства, применяя различные способы их удаления, безопасного складирования либо утилизации;
- вредных воздействий производства различного происхождения, путем ограничения их влияния на социальные объекты, расположенные на прилежащей территории сельскохозяйственных предприятий.

Учитывая совокупность вредных факторов сопровождающих технологические процессы на животноводческих комплексах, основной задачей при организации производства продукции АПК должно являться обеспечение её высокого качества, которого возможно достичь только при соблюдении всех нормативных требований к микроклимату.

Оптимальные санитарно-гигиенические условия на крупных сельскохозяйственных комплексах можно создать путем установки эффективных систем вентиляции, автоматических устройств кондиционирования. А также необходимо внедрять автоматическое управление режимом работы вентиляции, что обеспечит необходимый воздухообмен и допустимые параметры воздушной среды в животноводческих помещениях при различных условиях. Качество воздуха может оказывать влияние не только на животных, снижая их продуктивность, но и на технический персонал, поскольку аммиак является вредным фактором, который следует учитывать при санитарно-гигиенической оценке микроклимата в производственных условиях. Отсутствие эффективного контроля содержания NH_3 и других газов в конечном итоге приведет к ухудшению условий содержания животных и в целом экологической обстановки в районе расположения производства.

Максимальная концентрация аммиака в воздухе помещений для животных допускается 10-20 мг/м^3. Снижению концентрации аммиака способствуют своевременная уборка навоза, активная вентиляция (проветривание) помещений, использование газопоглотительной подстилки. Поэтому, чтобы обеспечить необходимый макроклимат в производственных помещениях для управления режимами работы устройств вентиляции и кондиционирования, требуется контролировать состояние воздуха на содержание вредных газов.

Существующие приборы, построенные на основе различных методов газового анализа (оптических, ионизационных, спектральных и т. п.) дороги, сложны в использовании и ограничены в применении. Современные тенденции в совершенствовании контроля газов – это применение измерительных датчиков на основе полупроводниковых химических элементов, которые имеют конструктивно-технологическую совместимость с электроизмерительными средствами, хорошие метрологические характеристики и высокие показатели надежности при эксплуатации.

Целью работы являлась разработка способа улучшения микроклимата в производственных помещениях, создание более совершенных технических средств измерения концентрации NH_3.

Материалы и методы исследований.

В ходе предварительных исследований и научно-технических источников по изучению полупроводниковых датчиков на основе тонких пленок было выявлено, что: из ряда фталоцианинов наиболее чувствительным и селективным по отношению к аммиаку является фталоцианин меди (CuPc) [13]; более высокой чувствительностью обладают образцы из вещества, синтезированного в лабораторных условиях и очищенного только химическими методами; оптимальная толщина пленки CuPc составляет 30-40 нм.

На основе результатов этих исследований был разработан датчик определения концентрации NH_3 воздуха в производственных помещениях. Измерительное устройство ИКГ-1 предназначено для контроля содержания на предприятиях агропромышленного комплекса. Внешний вид газового измерителя ИКГ-1 показан на (рисунок 1). Прибор был представлен в санитарно-эпидемиологической станции Вологодской области и по результатам испытаний рекомендован для работы и внедрения.

Рисунок 1 – Измеритель аммиака газовый ИКГ-1

Результаты и их обсуждение.

Разработанный преобразователь имеет чувствительность до 5 мг/м^3 NH_3 и качество на уровне известных полупроводниковых сенсоров. Рассматриваемый вариант измерителя для удобства использования снабжен выносной ручкой с держателем. Выносной держатель присоединяется к измерителю с помощью гибкого кабеля (рис. 1). В нем смонтирован полупроводниковый датчик и дополнительный нагреватель, который представляет собой нихромовую проволоку, намотанную на термостойкий каркас. Рабочая температура нагрева самого датчика составляет 90°С.

При работе прибора учитываются изменения внешних условий измерения, в частности, температуры. Так как устройство контролирует концентрацию аммиака в окружающем пространстве, то с изменением температуры окружающей среды приводит к неточным измерениям. Для исключения ошибки использована система для установки рабочей температуры датчика из полупроводникового материала. Данная система поддерживает необходимую температуру нагрева измерителя для работы прибора с высокой точностью. Стабильная температура при работе датчика автоматически поддерживается встроенным регулятором. Заданная температура работы датчика устанавливается и поддерживается постоянной автоматически.

Измеритель ИКГ-1 предназначен для измерения концентрации аммиака (NH_3) в воздухе рабочей зоны производственных помещений. Прибор имеет индикацию в результате измерения сопротивления чувствительного элемента (датчика) и градуировочную характеристику в

графическом виде, по которой определяется концентрация аммиака в воздухе в зависимости от сопротивления датчика NH_3. В таблице 2 приведены характеристики измерителя концентрации аммиака ИКГ-1.

Таблица 2 – Характеристики измерителя концентрации аммиака

Показатель	Значения
Пределы измерения концентрации NH_3, мг/м^3	20...200
Рабочая температура датчика, °С	90
Время, необходимое на измерение, мин.	10
Погрешность измерения, %	30
Потребляемая мощность, Вт	25
Габаритные размеры, мм	200×200×140
Масса, кг	3

Проверка работы разработанного прибора для контроля аммиака проведена в производственных условиях свинокомплексов и птичников АО «Племптица-Можайское» Вологодской области, прибор показал высокую точность определения концентрации NH_3. Характеристики измерителя концентрации аммиака ИКГ-1 были сопоставлены с показаниями прибора промышленного изготовления УГ-2, прошедшим стандартизацию. При этом учитывается, что наполнение трубок вручную индикаторным порошком увеличивает погрешность измерения концентрации аммиака газоанализатора УГ-2 до 50-70%. Поэтому для получения достоверного результата проводили несколько повторных измерений и брали среднее арифметическое их результатов, что значительно растягивает время контроля (более 10-20 минут) и увеличивает общие затраты измерений на использование и высокий расход индикаторного порошка. Сравнительная характеристика показала, что разработанный измеритель определяет концентрацию аммиака в 2-3 раза точнее (при сопоставимом времени измерения) и в 3-4 раза быстрее по сравнению с используемым газоанализатором УГ-2.

Известно, что большинство животноводческих помещений, особенно свинокомплексы при эксплуатации имеют более сложные условия по микроклимату. Также высокая загазованность и влажность на фермах отрицательно сказываются на работе различных механизмов и электрических приводов. В птичниках концентрация аммиака значительно меньше, однако также необходим постоянный и пристальный контроль текущего состояния микроклимата, особенно по загазованности. Для эффективного контроля аммиака во всех перечисленных условиях рекомендуется использовать простой и неприхотливый измеритель ИКГ-1.

Заключение. Применение разработанного прибора по определению концентрации аммиака повышает уровень благоприятного и безопасного технологического процесса в среде сельскохозяйственных помещений. Чтобы обеспечить надлежащие условия содержания животных и птицы, необходимо организовать эффективную работу систем вентиляции и управление кондиционирующих установок.

Производственная проверка показала, что разработанный прибор при определении концентрации аммиака в воздухе сельскохозяйственных помещений имеет в 2-3 раза большую точность и в 3-4 раза большую скорость действия по сравнению с газоанализатором УГ-2. Прибор для контроля концентрации аммиака ИКГ-1 имеет не сложную конструкцию и предназначен для проведения зоогигиенических исследований и улучшения микроклимата в производственных помещений АПК.

В результате проведения комплекса мероприятий по контролю уровня концентрации аммиака повысится продуктивность сельскохозяйственных животных, увеличатся привесы живой массы.

Список литературы

1. Галкин М.М., Татаров Л.Г. Микроклимат животноводческого помещения // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1 (8). – С. 64-65.
2. Очистка сточных вод промышленных предприятий с использованием мембранной технологии / Т.С. Казарян [и др.] // Газовая промышленность. – 2003. – № 8. – С. 79-81.
3. Мембранная технология в процессах оксигенации и очистки вод в УЗВ / Т.С. Казарян [и др.] // Газовая промышленность. – 2003. – № 9. – С. 80-81.

4. Техническое решение для утилизации навозных стоков на свинокомплексах / Ю.А. Киров [и др.] // Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства». Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2021. – С. 55-59.

5. Переработка навозных стоков методом флотации / Ю.А. Киров, В.С. Зотеев [и др.] // Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства». Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2021. – С. 59-63.

6. Условия получения качественного молока при применении автоматизированных технологий доения deLaval / В.Е. Никифоров, Л.А. Никитин, В.К. Углин // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 1 (33). – С. 190-195.

7. Симонов Г.А. Мембранная технология очистки сточных вод / Г.А. Симонов, И.И. Шигапов, Б.Р. Ахмадов [и др.] // Сельский механизатор. – 2020. – № 8. – С. 15-17.

8. Герасимова О.А., Соловьев С.В., Иванов С.И. Автоматизированная система управления микроклиматом в животноводческих помещениях // Техника и технологии в животноводстве. – 2019. – № 3 (35). – С. 163-165.

9. Шигапов И.И., Краснова О.Н., Симонов Г.А. Использование текстильных аэраторов для очистки сточных вод в животноводческих фермах // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Инновационные достижения науки и техники АПК». Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2019. – С. 464-468.

10. Использование текстильных фильтров для очистки сточных вод в животноводческих фермах / И.И. Шигапов [и др.] // Материалы X Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». В 2-х томах. Ульяновск, 2020. – С. 326-331.

11. Инновационное устройство для очистки сточных вод животноводческих ферм / И.И. Шигапов [и др.] // Сельский механизатор. – 2021. – № 2. – С. 20-21.

12. Найденко В.К. Уменьшение негативного воздействия свиноводческих предприятий на окружающую среду // АгроЭкоИнженерия. – 2015. – № 87. – С. 201-211.

Немировский А.Е., Федоров М.И., Иванов А.В. Измеритель концентрации аммиака // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. – № 6. – С. 34.

References

1. Galkin M.M., Tatarov L.G. Mikroklimat zhivotnovodcheskogo pomeshhenija // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2009. – №1 (8). – S.64,65.

2. Ochistka stochnyh vod promyshlennyh predprijatij s ispol'zovaniem membrannoj tehnologii / T.S. Kazarjan [i dr.] // Gazovaja promyshlennost'. – 2003. – № 8. – S. 79-81.

3. Membrannaja tehnologija v processah oksigenacii i ochistki vod v UZV / T.S. Kazarjan [i dr.] // Gazovaja promyshlennost'. – 2003. – № 9. – S. 80-81.

4. Tehnicheskoe reshenie dlja utilizacii navoznyh stokov na svinokompleksah / Ju.A. Kirov [i dr.] // Sbornik nauchnyh dokladov XXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'skohozjajstvennoj produkcii – novye tehnologii i tehnika novogo pokolenija dlja rastenievodstva i zhivotnovodstva». Tambov: FGBNU VNIITiN, 2021. – S. 55-59.

5. Pererabotka navoznyh stokov metodom flotacii / Ju.A. Kirov, V.S. Zoteev [i dr.] // Sbornik nauchnyh dokladov XXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. «Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija resursov pri proizvodstve sel'skohozjajstvennoj produkcii - novye tehnologii i tehnika novogo pokolenija dlja rastenievodstva i zhivotnovodstva». Tambov: FGBNU VNIITiN, 2021. – S. 59-63.

6. Uslovija poluchenija kachestvennogo moloka pri primenenii avtomatizirovannyh tehnologij doenija deLaval / V.E. Nikiforov, L.A. Nikitin, V.K. Uglin // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mehanizacii zhivotnovodstva. – 2019. – № 1 (33). – S. 190-195.

7. Simonov G.A. Membrannaja tehnologija ochistki stochnyh vod / G.A. Simonov, I.I. Shigapov, B.R. Ahmadov [i dr.] // Sel'skij mehanizator. – 2020. – № 8. – S. 15-17.

8. Gerasimova O.A., Solov'ev S.V., Ivanov S.I. Avtomatizirovannaja sistema upravlenija mikroklimatom v zhivotnovodcheskih pomeshhenijah // Tehnika i tehnologii v zhivotnovodstve. – 2019. – № 3 (35). – S. 163-165.

9. Shigapov I.I., Krasnova O.N., Simonov G.A. Ispol'zovanie tekstil'nyh ajeratorov dlja ochistki stochnyh vod v zhivotnovodcheskih fermah // Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Innovacionnye dostizhenija nauki i tehniki APK». Ul'janovsk: Ul'janovskij GAU, 2019. – S. 464-468.

10. Ispol'zovanie tekstil'nyh fil'trov dlja ochistki stochnyh vod v zhivotnovodcheskih fermah / I.I. Shigapov [i dr.] // Materialy H Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Agrarnaja nauka i obrazovanie na sovremennom jetape razvitija: opyt, problemy i puti ih reshenija». V 2-h tomah. Ul'janovsk, 2020. – S. 326-331.

11. Innovacionnoe ustrojstvo dlja ochistki stochnyh vod zhivotnovodcheskih ferm / I.I. Shigapov [i dr.] // Sel'skij mehanizator. – 2021. – № 2. – S. 20-21.

12. Najdenko V.K. Umen'shenie negativnogo vozdejstvija svinovodcheskih predprijatij na okruzhajushhuju sredu // AgroJekoInzhenerija. – 2015. – № 87. – S. 201-211.

13. Nemirovskij A.E., Fedorov M.I., Ivanov A.V. Izmeritel' koncentracii ammiaka // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 1997. – № 6. – S. 34.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Иванов Андрей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия**.** e-mail: electro35@mail.ru.

Никифоров Владислав Евгеньевич – старший научный сотрудник технологического отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Вологодский научный центр Российской академии наук, ФГБОУ ВО Вологодский государственный университет, г. Вологда, Россия. e-mail: nfrv_123@mail.ru.

Симонов Геннадий Александрович – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела кормов и кормления сельскохозяйственных животных ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук, г. Вологда, Россия, e-mail: sznii@list.ru.

Филиппова Ольга Борисовна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией технологии производства кормов и продуктов животноводства ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: filippova175@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Ivanov Andrei – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Electrical Equipment of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vologda State University," Vologda, Russia. e-mail: electro35@mail.ru.

Nikiforov Vladislav – senior researcher at the technological department of the Federal State Budgetary Institution of Science "Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, FSBOU VO «Vologda State University», Vologda, Russia. e-mail: nfrv_123@mail.ru.

Simonov Gennady – Doctor of agricultural Sciences, Chief Researcher, Animal Feed and Feeding Department, FSBIS «Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences», Russian Federation, e-mail: sznii@list.ru.

Filippova Olga – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Feed and Animal Products Production Technology, FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Tambov, Russian Federation, e-mail: filippova175@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 01.04.2022 Принята к публикации (Accepted): 23.05.2022

УДК 631.171
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-55-59

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ КОРМОВАРОЧНЫЙ КОТЁЛ ДЛЯ КРЕСТЬЯНСКИХ ХОЗЯЙСТВ

[1]Шувалов Анатолий Михайлович
[1]Машков Алексей Николаевич
[1]ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве

Реферат. *В период проведения широкомасштабной газификации села встаёт вопрос о необходимости внедрения в технологических процессах газоиспользующих аппаратов различных по назначению и конструктивному исполнению. В личных подсобных хозяйствах и в других крестьянских хозяйствах наиболее энергоёмкий процесс – запаривание кормов и приготовление пищи. В последние годы начинают применять для этих целей газоиспользующие варочные котлы различной мощности и различного конструктивного исполнения. Общим недостатком их является отсутствие регулирования мощности. В статье приведены результаты исследований системы энергообеспечения газоиспользующего варочного котла, обеспечивающей плавное регулирование расхода газа в динамическом режиме в процессе разогрева содержимого варочной ёмкости до кипения. В процессе выполнения НИР разработаны эскизные чертежи и создан действующий образец пароводяной камеры, которая применена в варочном котле. Разработана конструктивно технологическая схема варочного котла с плавным регулированием расхода газа. Создан действующий экспериментальный образец варочного котла с автоматизированной системой энергообеспечения. На основе разработанной частной методики экспериментальных исследований определена номинальная мощность системы энергообеспечения котла. Исследованы расход газа газогорелочного устройства, изменение температуры продукта в варочной ёмкости. Определена экономия расхода газа при пропорциональном регулировании мощности.*

Ключевые слова: *кормоварочный котел, газ, мощность, пропорциональное регулирование.*

ENERGY-SAVING FEED BOILER FOR FARMS

[1]Shuvalov Anatoliy
[1]Mashkov Alexey
[1]FSBSI All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture

Abstract. *The question of the need to introduce in technological processes gas-using devices of various purposes and designs arises during the period of large-scale gasification of the village The most energy-intensive process is fodder steaming and cooking in personal subsidiary farms and other peasant farms. Gas-using digesters of various capacities and designs are beginning to be used for these purposes in recent years. Their common disadvantage is the lack of power regulation. The results of studies of the energy supply system of a gas-using digester, which provides smooth regulation of gas flow in dynamic mode in the process of heating the contents of the digester to a boil, are given in the article. Sketch drawings were developed and a working sample of the steam-water chamber, which is used in the digester, was created in the process of performing research. A working experimental sample of a digester with an automated power supply system has been created. The rated power of the boiler power supply system is determined on the basis of a developed private methodology for experimental studies. The gas consumption of the gas burner device, the change in the temperature of the product in the brewing tank were studied. The savings in gas consumption with proportional power control are determined.*

Keywords: *feed boiler, gas, power, proportional control.*

Введение. В 2022 году правительство наметило широкомасштабную газификацию села с бесплатным подводом газовой сети к сельскому дому. В этой связи в ЛПХ целесообразно для приготовления кормов применять варочные котлы, работающие на природном газе. Существует большой выбор кормоварочных аппаратов. Общим недостатком их является отсутствие регулирования расхода энергии, что приводит к излишнему её расходу [1]. Следовательно, является актуальным разработать систему энергообеспечения для варочного котла, которая обеспечивала бы автоматически регулируемый расход газа.

Материалы и методы. В ФГБНУ ВНИИТиН создан экспериментальный образец газоиспользующего кормоварочного котла с пропорциональным регулированием мощности [2-4]. Для выработки пара в нём разработана и применена пароводяная камера (рисунок 1). Основными узлами её являются теплообменник 1 , который заполнен промежуточным теплоносителем (вода 8 л) и газогорелочная камера 2. Сжигаемый в газогорелочной камере газ передаёт теплоту теплообменнику 1, который нагревает до кипения 8 л воды, в результате вода превращается в пар, который проходит через патрубок и поступает в паровую камеру варочного котла, омывая стенки варочной ёмкости.

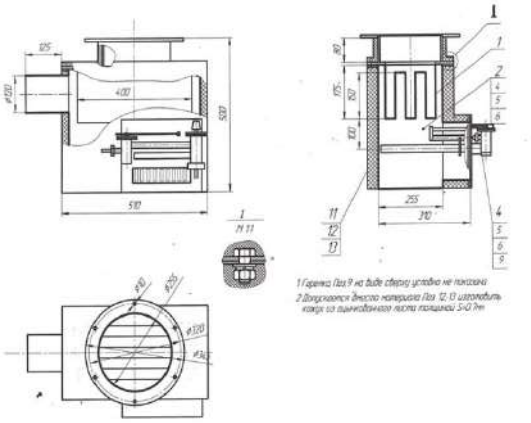


Рисунок 1 – Пароводяная камера для выработки пара.

Конструктивно-технологическая схема газоиспользующего котла приведена на рисунке 2.

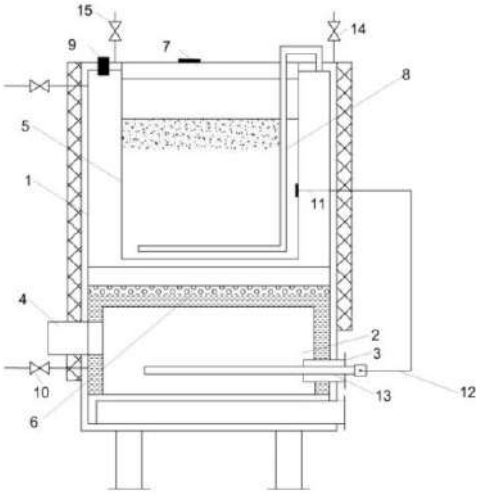


Рисунок 2 – Конструктивно-технологическая схема кормоварочного котла с плавным регулированием мощности.

Котёл содержит корпус 1, топку 2, газогорелочное устройство 3, патрубок для отвода продуктов сгорания 4. Топка 2 ограждена от варочной ёмкости 5 пароводяной камерой 6. Корпус 1, варочная ёмкость 5 и пароводяная камера 6 образуют паровую рубашку 8. Котёл закрывается герметической крышкой 7.В корпусе паровой рубашки 8 предусмотрен предохранительный клапан 9 и кран 10 для подачи воды в пароводяную камеру. На поверхности варочной ёмкости предусмотрена термоэлектрическая батарея 11 Кормоварочный котёл работает следующим образом: в варочную ёмкость 5 помещается необходимое количество корма (или другого продукта). Поток горячих газов, образовавшийся в результате сжигания топлива омывает теплообменную поверхность пароводяной камеры 6 и передаёт свою энергию воде пароводяной камеры. В результате закипания воды в пароводяной камере образуется пар, который поднимается к стенкам варочной ёмкости 5, конденсируется на её поверхности и передаёт свою энергию содержимому в варочной ёмкости. В начальный период, когда разность температуры между паром и содержимом варочной ёмкости максимальная (тепловой напор), термоэлектрическая батарея 11 вырабатывает максимальный электрический сигнал, в результате селеноидный регулируемый газовый вентиль полностью открыт и в газовую горелку поступает максимальное количество газа.

В процессе нагрева содержимого варочной ёмкости тепловой напор уменьшается и уменьшается величина электрического сигнала с темоэлектрической батареи, воздействующего на селеноидный кран. С уменьшением температурного напора, то есть при увеличении температуры нагреваемого продукта уменьшается теплота, потребляемая им, поступающая через поверхность варочной ёмкости. В это время подача газа через селеноидный клапан в газовую горелку уменьшается. Таким образом, осуществляется регулирование расхода газа пропорционально потребляемому тепловому потоку.

Результаты и обсуждение. Приняв коэффициент полезного действия (КПД) газоиспользующего варочного котла таким же как у серийно выпускаемых, проведён численный расчет изменения расхода газа и температуры содержимого варочной ёмкости, по результатам расчета построены графики (рисунок 3 и рисунок 4). Расчеты приведены с учетом общих положений теории теплопередачи, термодинамики и теплотехники [5-7], а также с использованием справочных материалов [8]. Как следует из из приведенных данных (рисунок 3 и рисунок 4) в начальный период, когда металлоконструкции парогенератора, корпуса котла, варочной ёмкости холодные, то тепловой напор на разогрев всех нагреваемых частей максимальный и потребляемые тепловой поток тоже максимальный (точки а17, б17, а12). При нагреве металлоконструкций до максимума и воды (промежуточного теплоносителя) в пароводяной камере до закипания, а также при постепенном повышении температуры содержимого варочной ёмкости (рисунок 4) температурный напор уменьшается и осуществляется снижение потребляемой мощности (точки с17, с12., с7). Здесь наступает режим тихого кипения, и энергия расходуется лишь на его поддержание и на компенсацию потерь теплоты в окружающую среду.

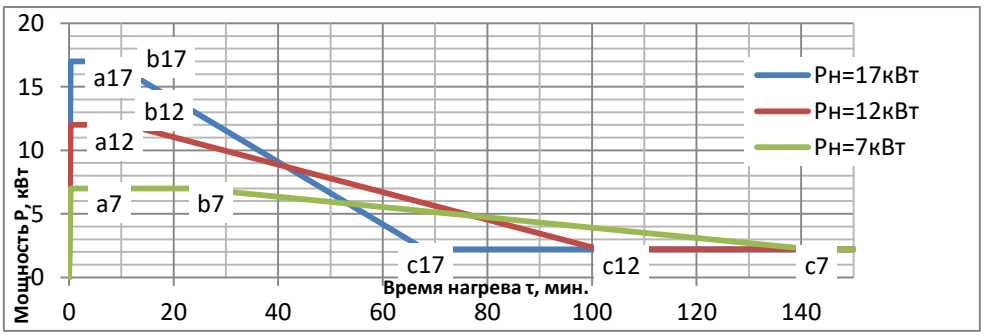


Рисунок 3 – Динамика теплового потока газоиспользующего варочного котла в процессе пропорционального регулирования потребляемой теплоты при различной мощности: $P_н$=17 кВт, $P_н$=12 кВт, $P_н$=7 кВт

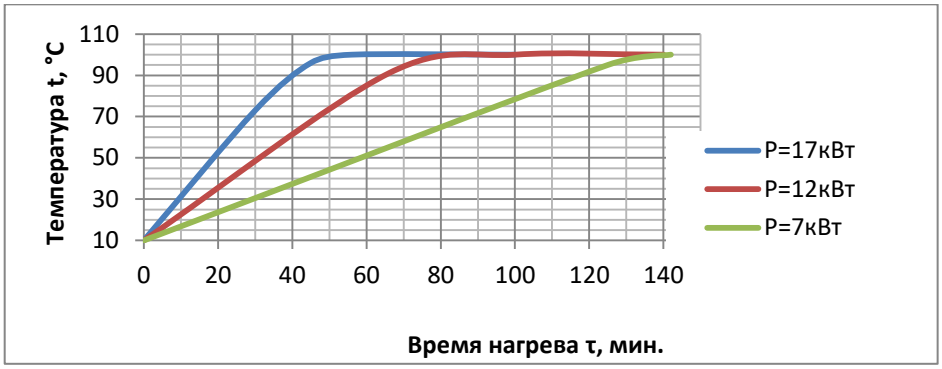


Рисунок 4 – Изменение температуры воды в варочной ёмкости до момента её закипания

Из графика (рисунок 3) следует, что крутопадающая линия изменения потребляемого теплового потока наблюдается при использовании мощности горелки *P*=17 кВт. Время нагрева воды до закипания тоже минимальное $\tau_{зак}$=76 мин (рисунок 4). И наоборот для горелки включенной на 7 кВт время нагрева увеличивается до 143 мин. Здесь следует добавить, что процесс приготовления продукта не заканчивается доведением корма или другого продукта в варочной емкости до кипения, а продолжается его варка, например, мяса $\tau_{доп}$ =1,5-2 часа. Следовательно, потери энергии при нерегулируемом процессе с учетом времени варки увеличиваются еще в 1,5-2 раза.

В процессе исследований определены основные конструктивные и технико – эксплуатационные показатели: оптимальная мощность системы энергообеспечения варочного котла -14 кВт, максимальный расход газа в начальный период разогрева составляет 9 л/мин, минимальный расход газа в период тихого кипения 3 -4 л /мин, время закипания воды в парообразователе – 5мин, максимальное напряжение на выходе термоэлектрической батареи - 7,8 В, минимальное напряжение в конце регулирования (в режиме тихого кипения) - 0,7 В.

Результатами теоретических и экспериментальных исследований установлено, что применением автоматизированной системы регулирования получена экономия сжигаемого газа в динамическом режиме разогрева корма (продукта) до кипения, которая достигает до 20 %.

Новизна технических решений варочного котла защищена двумя патентами.

Выводы.

Информационные исследования показали, что существует широкий спектр газоиспользующих варочных и отопительных котлов различных по производительности, конструктивному исполнению, принципу действия, использования энергоносителей, средств автоматического управления тепловыми процессами. Все они имеют преимущества и недостатки. Основным недостатком их является перерасход топлива из-за отсутствия регулирования газа пропорционально потребляемому тепловому потоку.

Разработанный энергосберегающий варочный котёл, укомплектованный системой энергообеспечения с пропорциональным регулированием мощности, обеспечивает экономию энергии до 20% и его экономически выгодно применять в личных подсобных хозяйствах, в столовых сельских школ, больниц, сельхозпредприятий. Для этого необходимо провести производственные испытания, разработать конструкторскую документацию, определить завод-изготовитель.

Список литературы

1. Антуфьев, В.Т. Концепция совершенствования газовых пищеварочных котлов / В.Т. Антуфьев, М.А. Амосова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищеварочных производств», 2007. - №1.

2. Патент на изобретение. №2708097 РФ. СПК A47J 27/06. Котёл кормоварочный /Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. Опубл. 04.12.2019. Бюл. №34

3. Шувалов А.М., Машков А.Н., Тихомиров Д.А. Анализ теплоэнергетических процессов в системе энергообеспечения газоиспользующего кормоварочного котла // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 1 (38). - С. 71-77.

4. Шувалов А.М., Машков А.Н., Чернов Д.С. Математическая модель тепло- массообменных процессов в газоиспользующем кормоварочном котле с саморегулированием мощности // Наука в центральной России. 2020. - № 2 (44). - С. 93-99.

5. Ерохин В.Г. и др. Основы термодинамики и теплотехники. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.

6. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 346 с.

7. Исаченко В.П. Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1981. – 416 с.

8. Литвина Л.С. Фролова З.С. Тепловое оборудование общественного питания. – М.: Экономика, 1987. – 272 с.

References

1. Antuf'ev, V.T. Koncepciya sovershenstvovaniya gazovyh pishchevarochnyh kotlov / V.T. Antuf'ev, M.A. Amosova // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevarochnyh proizvodstv», 2007. - №1.

2. Patent na izobretenie. №2708097 RF. SPK A47J 27/06. Kotyol kormovarochnyj /SHuvalov A.M., Mashkov A.N., CHernov D.S.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN. Opubl. 04.12.2019. Byul. №34

3. SHuvalov A.M., Mashkov A.N., Tihomirov D.A. Analiz teploenergeticheskih processov v sisteme energoobespecheniya gazoispol'zuyushchego kormovarochnogo kotla // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2020. T. 67. № 1 (38). - S. 71-77.

4. SHuvalov A.M., Mashkov A.N., CHernov D.S. Matematicheskaya model' teplo- massoobmennyh processov v gazoispol'zuyushchem kormovarochnom kotle s samoregulirovaniem moshchnosti // Nauka v central'noj Rossii. 2020. - № 2 (44). - S. 93-99.

5. Erohin V.G. i dr. Osnovy termodinamiki i teplotekhniki. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 224 s.

6. Miheev M.A. Osnovy teploperedachi. – M.: Energiya, 1977. – 346 s.

7. Isachenko V.P. Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha. – M.: Energiya, 1981. – 416 s.

8. Litvina L.S. Frolova Z.S. Teplovoe oborudovanie obshchestvennogo pitaniya. – M.: Ekonomika, 1987. – 272 s.

Сведения об авторах:

Принадлежность к организации

Шувалов Анатолий Михайлович – 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: vniiti@mail.ru.

Машков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научноисследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Shuvalov Anatoliy – 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: vniiti@mail.ru.

Mashkov Alexey – 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: vniiti@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.05.2022

УДК 631.3.004
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-60-69

АНАЛИЗ СТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

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

Реферат. *Установлено, что до стандартизации методов оценки эффективности сельскохозяйственной техники в отраслевом научно-техническом прогрессе использовалось множество методических подходов к решению этой задачи. Основными недостатками указанных методов являлись: пониженная объективность оценок из-за избыточного использования унифицированной нормативной базы, нивелирующей сопоставление оцениваемых объектов; игнорирование критериев качества работ и продукции; низкая продуктивность оценок в выработке текущих решений по управлению машинными технологиях и по модернизации машин. При переходе народного хозяйства страны к рыночной экономике в конце 80-х годов появилась потребность в упорядочении развития отраслевого научно-технического прогресса (НТП) на основе расширения стандартизации оценки его достижений и их эффективного использования в производстве. В разработанных стандартах был учтен главный недостаток прежних методических подходов - в состав оценочных критериев включено количество и качество продукции. Однако, это решение снизило универсальность стандартных методов относительно видов техники – большинство технологических операций являются промежуточными, когда событие получения продукции отсутствует. Кроме того, разработчики стандартов в интегральных критериях объединяют прямые эксплуатационные затраты с эффектом от изменения качества продукции, что в случае положительного изменения качества продукции относительно базы сравнения исключает применимость критерия. Подтверждена недостаточная обоснованность включения в интегральный критерий и составляющей эффекта от условий труда. Дана расчетная оценка необходимости включения в интегральный критерий затрат на возмещение отрицательного воздействия техники на окружающую среду. Она сомнительна – эти затраты составляют 0,16% от совокупных затрат. Доказана ошибочность включения в эксплуатационные затраты прочих прямых затрат средств на приобретение семян, удобрений, гербицидов. Они снижают универсальность критериев относительно видов техники, снижают объективность и независимость оценки эффективности техники. На основе выполненного анализа стандартных методов оценки эффективности техники сформулированы предложения по устранению принципиальных недостатков.*

Ключевые слова. *Метод оценки, стандарт, эффективность, техника, критерии, прогресс.*

ANALYSIS OF STANDARD METHODS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL MACHINERY

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

Abstract. *It has been established that before the standardization of methods for assessing the effectiveness of agricultural machinery in the sectoral scientific and technological progress, many methodological approaches were used to solve this problem. The main disadvantages of these methods were: low objectivity of assessments due to the excessive use of a unified regulatory framework, leveling the comparison of the objects being evaluated; ignoring the criteria for the quality of work and products; low productivity of assessments in the development of current decisions on the management of machine*

technologies and on the modernization of machines. During the transition of the national economy of the country to a market economy in the late 80s, there was a need to streamline the development of sectoral scientific and technological progress (STP) on the basis of expanding the standardization of assessing its achievements and their effective use in production. The developed standards took into account the main drawback of the previous methodological approaches - the evaluation criteria included the quantity and quality of products. However, this decision reduced the universality of standard methods in relation to the types of equipment - most of the technological operations are intermediate, when there is no product receipt event. In addition, developers of standards in integral criteria combine direct operating costs with the effect of a change in product quality, which, in the case of a positive change in product quality relative to the comparison base, excludes the applicability of the criterion. Insufficient validity of inclusion in the integral criterion and the component of the effect of working conditions is confirmed. A calculated estimate of the need to include in the integral criterion the costs of compensation for the negative impact of technology on the environment is given. It is doubtful - these costs are 0.16% of total costs. The erroneousness of including other direct costs of funds for the purchase of seeds, fertilizers, herbicides in operating costs has been proved. They reduce the universality of criteria regarding the types of technology, reduce the objectivity and independence of evaluating the effectiveness of technology. Based on the analysis of standard methods for evaluating the effectiveness of technology, proposals are formulated to eliminate fundamental shortcomings.

Keywords. *Assessment method, standard, efficiency, technique, criteria, progress.*

Введение. По данным авторов работы [1] недостатки методов выработки решений на различных этапах НТП приводят к его деформации – рост цен на технику опережений рост показателей ее качества: среднюю наработку на отказ в 7,4 раза; ресурс в 6,2 раза; производительность в 2,3 раза. В качестве основного критерия оценки эффективности техники в 80-е годы 20-го века использовались «приведенные затраты в расчете на единицу выполненных работ». Академик Ю.А. Конкин [2] считал этот критерий основным экономическим показателем, характеризующим производственную эксплуатацию машин. Вместе с тем критерий приведенных затрат обладает рядом принципиальных недостатков по мнению авторов [3, 4] и многих других: в расчетах приведенных затрат избыточно используется унитарная нормативная база, что снижает объективность оценок (нивелирует их); критерий не учитывает качество работ и продукции, что противоречит базовым задачам НТП; снижает возможности выработки оперативных решений по управлению производственной эксплуатацией техники. Автор работы [5] предпринимает попытку учитывать качество и потери продукции по итогам года. Однако, объективность итоговых оценок «размывается» природно-климатическими, организационными и многими другими факторами. Причем годовой итог является следствием использования нескольких машинных агрегатов, управляемых разными механизаторами. Продуктивность избыточно интегральных и смешанных оценок чрезвычайно мала. Мельников С.В. [6] считал, что критерий приведенных затрат на единицу работ может служить основой только выбора лучшего варианта технологии или средств механизации. Автор работы [7] предложил упростить критерий оценки эффективности техники, ограничив его 3-мя составляющими прямых эксплуатационных издержек (без амортизационных отчислений), а Д.Н. Саакян [8] предложил учитывать оценку качества эквивалентом изменения производительности новой машины с настройкой и разрегулированной под базу сравнения без достаточного учета характера ожидаемых взаимосвязей в конкретных технологических операциях. Эти предположения не нашли поддержки специалистов. В конце 80-х годов с переходом страны к рыночным отношениям правительство РФ с намерениями исправить крайне неудовлетворительное положение по эффективности отечественной сельскохозяйственной техники дали поручение разработчикам по стандартизации методов оценки ее эффективности с учетом конечных результатов. Эта работа выполнялась на протяжении 20 лет. Многие решения, включенные в стандарты, оказались спорными. Предложенные оценки не отличались существенно от прежних методических разработок по полноте, объективности и результативности вырабатываемых на их основе решений. Поэтому конструктивный анализ опыта стандартизации методов оценки эффективности техники с целью устранения указанных недостатков сохраняет свою актуальность.

Материалы и методы. Информационной базой выполненного анализа послужили отраслевые периодические издания, нормативно-техническая документация по эксплуатации сельскохозяйственной техники, стандарты по оценки ее эффективности, результаты испытаний и практический опыт использования машин.

Результаты и их обсуждение. Согласно ГОСТ 23728-88[9]: - «На всех стадиях создания и внедрения комплексов машин сравниваемыми вариантами являются оптимальные структуры машино – тракторных парков (МТП)». Можно по этому поводу заметить, что структура МТП не является объектом создания и внедрения – зачем же их сравнивать? Очевидно, разработчики имели в виду задачу обеспечения сопоставимых условий испытаний для сравниваемых комплексов машин (техники)?

Оптимальность МТП для конкретных условий производства, которые в последствии (ГОСТ Р 53054–2008 и ГОСТ 34393–2018) стали идентифицировать с зональной технологией для данной природно-климатическое зоны или с типовым хозяйством, является невыполнимым требованием по причине множественности факторов производства, исключающих управляемость ими в попытках обеспечения сопоставимости условий испытаний. В настоящее время задачи оптимизации МТП в сельском хозяйстве не решают по той же причине – научной несостоятельности.

Основным показателем сравнительной экономической эффективности машин, согласно стандарту [9], является «годовой экономической эффект с учетом количества и качества продукции, высвобождения трудовых ресурсов, улучшения условий труда» ($Э_г$).

Отличие предложенного разработчиками основного показателя ($Э_г$) от ранее используемых состоит в учете дополнительных источников образования экономического эффекта (последние три). Однако, наличие эффекта от изменения количества и качества продукции в оценке снижает универсальность метода относительно видов техники – в операциях по возделыванию зерновых культур и уходу за ними, например, событие получения продукции отсутствует. А для технологий, обеспечивающих получение продукции (уборочная техника, перерабатывающие комплексы и др.) стандарт не содержит необходимых расчетных процедур.

Кроме того, установить достоверную взаимосвязь третьего дополнительного эффекта от улучшения условий труда весьма сложно по причинам ее недостаточной определенности для некоторых характеристик условий труда. Более того, необходимость в его учете сомнительна, если эффект от разницы условий труда будет существенным, то его влияние проявится в результативных показателях, что исключает повтор учета эффекта в расчетах $Э_г$.

В состав наиболее значимых показателей, которые формируют сравнительную экономическую эффективность входят: приведенные затраты; прямые эксплуатационные затраты. Эти показатели, содержащие элементы унифицированной нормативной базы, нивелируют в значительной степени оценки эффективности сравниваемых вариантов техники, снижая объективность сравнения.

В расчетах приведенных затрат используется нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (Е), который невилирует сроки окупаемости капитальных вложений ($С_к$) сравниваемых вариантов техники, так как Е является обратной величиной $С_к$. Затраты на реновацию (А) нивелируют сроки службы сравниваемых вариантов техники, так как амортизационные отчисления часто нормируются по группам машин, а не по вариантам исполнения. Затраты на технические обслуживание и ремонт (ТОР) по результатам испытаний определять сложно и дорого – для объективной оценки затрат необходимо испытывать группу одномарочных машин (агрегатов) в идентичных условиях производственной эксплуатации и технического обслуживания, а использование годовых нормативов отчислений на ТОР в процентах от прейскурантной цены техники (18%) также невилирует оценки.

В состав прямых эксплуатационных затрат (И) по ГОСТ 23729 – 88 включены затраты (Ф) на семена, удобрения, гербициды, проволоку, шпагат и др.

$$И = З + Г + Р + А + Ф, \quad (1)$$

где З, Г, Р, А – затраты соответственно на зарплату, горючесмазочные материалы, ТОР, амортизацию, руб./ед. наработки.

Включение в состав прямых эксплуатационных затрат прочих прямых (Ф) вызывает большие сомнения. Если по этой части затрат, которая не характеризует технику (ее эффективность,

технический уровень), обеспечивать сопоставимость сравниваемых вариантов, то зачем их включать в структуру? И наоборот – если не контролировать сопоставимость условий испытаний сравниваемых вариантов техники по величине Ф, то объективность оценок по основному критерию ($Э_г$) будет нарушена:

$$Э_г = В_з (П_б – П_н + Э), \quad (2)$$

где $В_з$ – годовая наработка новой машины в условиях данной природно-климатической зоны, ед. наработки / год;

$П_б$, $П_н$ – приведенные затраты на единицу наработки по базовой и новой машинам, руб./ед. наработки;

Э – экономический эффект от высвобождения рабочей силы, достигнутых условий труда, изменения количества и качества продукции, руб./ед. наработки.

Величина Ф входит в прямые эксплуатационные затраты (см. формулу 1) и в приведенные затраты ($П_б$, $П_н$), определяемые по формуле:

$$П = И + КЕ, \quad (3)$$

где К – капитальные вложения, руб. / ед. наработки.

Из уравнений (1-3) видно, что снижение затрат на семена, удобрения и гербициды в новом варианте техники увеличивает ее эффективность относительно базы сравнения и наоборот. Поэтому включение затрат (Ф) в структуру затрат (И) воспринимается необоснованным – затраты на семена, удобрения и гербициды следует относить к затратам на технологию, а не к эксплуатационным затратам на технику. В рассмотренном случае разработчики, вероятно, отдали предпочтение ожидаемой полноте учета факторов в ущерб объективности.

Методы оценки эффективности техники по ГОСТ 23728(29) – 88 разрабатывались для организационной формы научно-технического прогресса (НТП), в которой отсутствовали полноценные интересы его участников. Для этих условий характерны два обстоятельства: возникает необходимость в избыточном (иногда дублирующем) контроле результатов деятельности участников НТП взамен полноценным (по интересам и ответственности) отношениям между ними; гарантирована низкая эффективность контроля даже посредствам множества регламентирующих наработок при указанной выше подмене. Поэтому новая отечественная техника существенно уступала зарубежным аналогам, часто имела ограниченную работоспособность и отрицательную рентабельность в эксплуатации.

В 2008 году введен в действие новый стандарт, регламентирующей методы экономической оценки сельскохозяйственной техники – ГОСТ Р 53056-2008 [10]. Главные его отличия от предыдущего стандарта [9] заключаются в изменении расчетных процедур определяющих критериев, куда включена удельная остаточная стоимость техники, и добавлении в совокупные затраты денежных средств на единицу наработки компонента затрат, учитывающего отрицательное воздействие на окружающую среду.

Новый стандарт «устанавливает единый подход при проведении экономической оценки сельскохозяйственной техники в Российской Федерации». Поэтому в анализе методов, содержащихся в стандарте [10], следует учитывать то, что задач и условий экономической оценки техники у ее разработчиков, потребителей и других участников НТП много. Возникают вопросы. На какие задачи распространяется единый подход? Возможно, единый подход оправдан только в случаях контроля исполнения госзаказа? Не утрачивается ли исконное инструментальное предназначение метода? В чем приоритет – в однообразии подхода или в продуктивности решений?

В стандарте [10] изменена структура «совокупных затрат денежных средств», которые (помимо прочего) включают «убытки от изменения условий труда обслуживающего персонала и от отрицательного воздействия техники на окружающую среду». При таком составе элементов затрат экономическая оценка техники существенно теряет в объективности, спорна необходимость в ней и с практической точки зрения. Кроме того, не ясен объем отрицательных воздействий на окружающую среду и процедур их оценки – в стандарте они отсутствуют, дана лишь единичная унитарная оценка ущерба. Неопределенная и трудоемкая оценка «совокупных затрат денежных средств» в дальнейшем используется для расчета «срока окупаемости дополнительных

капитальных вложений», «верхнего предела цены», «годовой экономии совокупных затрат денежных средств» в задачах сравнения техники.

В каких то случаях указанные выше дополнения к «прямым эксплуатационным затратам денежных средств» имеют существенное значение, но это не характерные условия использования технологий. Такие исключения следует регламентировать (ограничивать) показателями «вето» или требованиями к качеству продукции, условиям труда, воздействиям на окружающую среду.

В широкой практике применения стандартного метода [10] не исключена возможность злоупотреблений неопределенностью величин некоторых компонентов затрат. За счет притянутой экономии по труднооцениваемым составляющим «совокупных затрат денежных средств» могут приниматься (или навязываться) ошибочные решения по разным мотивам, что дискредитирует стандартный метод.

«Совокупные затраты денежных средств» в новом стандарте рассчитывают при определении годовой экономии ($Э_{г.н.}$) по технологическим операциям, с учетом зональной наработки или по наработке в типичном хозяйстве, где неопределенности возрастают, а объективность показателей падает – формулы (24–27). В эти формулы кроме неопределенно исчисляемых затрат входит «удельная остаточная стоимость» новой и базовой техники ($Ц_{ост}$). В свою очередь величину $Ц_{ост}$ определяют по формулам, куда входят показатели, которые характеризуют не только потребительские свойства техники. Они зависят еще и от частных условий производства ($Т_З$, $\lambda_{а.р.}$, $W_{ЭК}$):

$$Ц_{ОСТ} = \frac{Б(\lambda_{т.р.} - \lambda_{а.р.})}{\lambda_{т.р.} T_З W_{эк}}, \quad (4)$$

где Б – цена техники (без НДС), руб.;

$Т_З$ – годовая фактическая загрузка техники, ч;

$W_{ЭК}$ – производительность агрегата в час эксплуатационного времени, ед. наработки;

$\lambda_{т.р.}$ – технический ресурс техники (по данным предприятия - изготовителя, зарубежной фирмы), ч;

$\lambda_{а.р.}$ – ресурс техники (рассчитанный по фактическим данным хозяйств или амортизационным нормативам), ч.

Использование показателей, характеризующих частные условия производства с их некоторой предисторией, в расчетах $Ц_{ост}$ снижает сопоставимость оценок. Чтобы подтвердить это, выразим величину коэффициента остаточного ресурса техники ($К_{о.р.}$) через величины $\lambda_{т.р.}$ и $\lambda_{а.р.}$, входящие в формулу (4):

$$К_{о.р.} = (\lambda_{т.р.} - \lambda_{а.р.}) / \lambda_{т.р.}. \quad (5)$$

Из формул (4) и (5) следует, что объективность оценки показателей годовой экономии «совокупных затрат денежных средств» ($Э_{г.н.}$) по формулам (24-27) ГОСТ Р 53056-2008 в целях сравнения эффективности новой и базовой техники может быть обеспечена только при одинаковых величинах $К_{о.р.}$ и $Т_З$ (из условий обеспечения сопоставимости факторов эксплуатации техники). Вместе с тем, вариативность значений показателей $Э_{г.н.}$, исчисленных по формулам (24-27) ГОСТ Р 53056-2008, предопределена разницей годовой загрузки техники: на одной операции; выполнении годового объема в условиях данной природно-климатической зоны; выполнении годового объема работ в типичном хозяйстве по зональной агротехнологии.

К технике, используемой на одной операции, следует отнести зерноуборочные, кормоуборочные, свеклоуборочные и другие комбайны. Эта группа техники требует специального метода оценки эффективности использования. Специфика метода должна, по нашему мнению, состоять не только в факте использования оцениваемой техники на одной операции. Для этой группы чрезвычайно важны показатели качества технологических процессов [11].

Вместе с тем, эти критерии в методах сравнительной оценки эффективности техники по ГОСТ Р 53056-2008 отсутствуют. Их весомость в общей оценке должна быть достаточно велика, а учет «убытков от снижения количества и качества продукции» не отражает реальную значимость качества технологического процесса. Качество – это постоянная и результативная функция

управления производством, поэтому в методах оценки эффективности показатели качества должны быть представлены достаточно полно и детально.

Кроме того, комбайны в течение сезона используются при уборке различных зерновых или кормовых культур, где эффективность и ее составляющие существенно варьируют.

Универсальное энергосредство (трактор) также выполняет годовой объем, который включает разные операции, для чего трактор агрегатируется с разными машинами. Агрегаты не производят «продукции» на промежуточных операциях по возделыванию сельскохозяйственных культур, то есть нет основы для ее количественной и качественной оценки, а качество работ контролировать надо – от него зависит конечный результат производства [12, 13]. Связи качества операций с конечным результатом чрезвычайно сложны по характеру и факторному составу. В этом заключается основной недостаток стандартного метода, который фактически нивелирует экономическую оценку по важнейшей составляющей – качеству работ [13].

Проанализируем инвариантность оценок $Э_{г.н.}$ по формулам стандартного метода относительно $Ц_{ост}$. Учитывая принципиальное сходство структур этих формул, примем для анализа расчетное выражение по определению годовой экономии совокупных затрат денежных средств от эксплуатации новой техники на отдельной операции:

$$Э_{г.н.} = F_i[(И_{с.з.б} - Ц_{ост.б}) - (И_{с.з.н} - Ц_{ост.н})], \quad (6)$$

F_i – объем работ на i-ой операции, ед. наработки;

$И_{с.з.б}$, $И_{с.з.н}$ – совокупные затраты денежных средств по базовой и новой технике, руб./ед. наработки;

$Ц_{ост.б}$, $Ц_{ост.н}$ – удельная остаточная стоимость соответственно базовой и новой техники, руб./ед. наработки.

Принимая во внимание уравнения (4) и (5), можно прийти к следующему заключению: если новая и базовая техника имеют одинаковый остаточный ресурс ($К_{о.р.б} = К_{о.р.н}$), то какой смысл включать соотношение ($\lambda_{т.р.} - \lambda_{а.р}$)/ $\lambda_{т.р.}$ в уравнение (4)? Случай, когда $\lambda_{т.р.} > \lambda_{а.р}$ ($К_{о.р.н} > К_{о.р.б}$), вероятно представлялся разработчикам стандарта более предпочтительным по двум причинам: необходимости экономии затрат на базу сравнения; наличию данных по наработке ($Т_З$) и издержкам ($И_{с.з.б}$). При этом разработчики стандарта, очевидно, претендуют на универсальность процедуры оценки $Э_{г.н.}$ по формуле (6), когда обеспечивается инвариантность оценки относительно остаточного ресурса базовой техники.

Однако, наличие информационного «задела» по базе сравнения понижает сопоставимость оценок. Поэтому в задачах сравнения эффективности использования техники или сравнения технического уровня по совокупности показателей следует строго и всесторонне выдерживать условия сопоставимости по их составу, значимости и степени сходимости [15]. Возможности использования уравнения (6) по нашему мнению, ограничиваются сравнением эффективности одноименных машин или агрегатов с идентичным составом агрегатируемых машин, у которых разный срок службы. Причем сравнение предположительно производится с тем, чтобы обосновать срок эффективного использования техники.

В случаях решения задач по процедурам оценки эффективности техники, предусмотренным ГОСТ Р 53056-2008, объективность сравнения вызывает сомнения по следующим причинам:

− издержки по базе сравнения ($И_{с.з.б}$) завышаются (издержки на эксплуатацию техники с ростом срока службы увеличиваются), а вычитаемая из них удельная остаточная стоимость ($Ц_{ост.б}$) занижается ($К_{о.р.б} < 1$);

− для новой техники идентичного назначения и сопоставимого размерного уровня $И_{с.з.н} < И_{с.з.б}$, а вычитаемая часть $Ц_{ост.н} > Ц_{ост.б}$, так как $К_{о.р.н} = 1$, потому величина $Э_{г.н.}$ намерено завышается по двум составляющим.

Однако, даже при всестороннем и полном соблюдении условий сопоставимости оценок эффективности техники по ГОСТ Р 53056-2008, его использование предполагает:

− получение большой по объему базы данных;

− наличие значительных финансовых, трудовых и временных ресурсов, исключающее оперативную выработку решений по управлению механизированным производством или при модернизации технологии.

Очевидно, что применение стандартных методов ограничивается сравнением техники при испытаниях. Объемы информации для сравнения техники продиктованы традициями недавних времен, когда не было ограничений в ресурсах, а забота о загрузке и использовании ресурсов машиноиспытательных станций (МИС) была. Устоявшиеся традиции поведения разработчика ГОСТ Р 53056-2008 с учетом его озабоченности о загрузке подведомственных МИС привели к расширению состава учитываемых издержек в ущерб объективности оценок.

Непонятна смысловая нагрузка процедуры вычитания удельной остаточной стоимости из совокупных затрат денежных средств по сравниваемым вариантам оцениваемой техники. Кроме того, вычитаемая величина $Ц_{ост}$, которая рассчитывается с учетом годовой зональной фактической загрузки техники ($Т_З$), не может быть одинаковой для составных частей агрегата (трактора и рабочих машин) – как это учитывать? Такой процедуры в стандарте нет.

Экономическая оценка универсальной техники и технологических комплексов согласно ГОСТ Р 53056-2008 производится наложением на объем работ типового хозяйства зоны. Для этой цели предполагается сформировать оптимальную структуру МТП типового хозяйства. Вместе с тем, задачи оптимизации МТП и обоснования зонального типового хозяйства являются бесконечно сложными. Нельзя получить обоснованные решения, которые инвариантны относительно погодных условий, состояния почвы, посевов и других неуправляемых факторов. Поэтому постановка аналогичных задач и предлагаемые методы их решения возможны лишь при недостаточно высоких требованиях к результатам сравнения техники, пониженной ответственности сторон - заказчиков и исполнителей.

Для проверки обоснованности включения в «совокупные затраты денежных средств» дополнительных составляющих следует оценить их весомость относительно суммы прямых эксплуатационных затрат без учета прочих прямых затрат средств на основные и вспомогательные материалы, которые вносят некоторую неопределенность в расчеты.

Одна из трех дополнительных составляющих, характеризующих отрицательное воздействие на окружающую среду, регламентируется федеральным законом «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ от 4 мая 1999 г. Усредненный норматив ущерба по РФ составляет 0,15 руб. на один килограмм израсходованного топлива.

Для оценки величины годового ущерба от воздействия на окружающую среду ($У_{г.эк}$) рассмотрим эксплуатацию трактора «Беларус МТЗ-1025.3» с мотором «Д-245S2» мощностью 110,2 л.с. Величину $У_{г.эк}$ за один год эксплуатации можно определить по формуле:

$$У_{г.эк} = q_{уд} \cdot N \cdot Н_г \cdot Н_{эк} = 0,16 \cdot 110,2 \cdot 1340 \cdot 0,15 = 3544 \text{ руб.}, \quad (7)$$

где $q_{уд}$ – удельный расход топлива на эффективную лошадиную силу в час ($q_{уд}$ = 0,16 кг/л.с. · ч), кг/л.с. · ч;

N – эффективная мощность двигателя (N = 110,2 л.с), л.с.;

$Н_г$ – нормативная годовая наработка ($Н_г$ = 1340 моточас/год), моточас/год;

$Н_{эк}$ – норма затрат на охрану окружающей среды ($Н_{эк}$ = 0,15 руб./кг), руб./кг

Прямые годовые затраты ($З_г$) на эксплуатацию трактора «Беларус МТЗ-1025.3» (основные компоненты) включают четыре составляющих:

$$З_г = З_{от} + З_{гсм} + З_{тор} + З_а, \quad (8)$$

где $З_{от}$ – затраты на оплату труда механизатора, руб./год;

$З_{гсм}$ – затраты на горючесмазочные материалы, руб./год;

$З_{тор}$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб./год;

$З_а$ – амортизационные отчисления, руб./год.

Величину $З_{от}$ рассчитывали по выражению:

$$З_{от} = Н_г / Ф_{рвм} К_{эв} \text{ x } О_{тм}, \quad (9)$$

где $Ф_{рвм}$ – фонд рабочего времени механизатора в календарном месяце, ч.;

$К_{эв}$ – коэффициент учитывающий структуру эксплуатационного времени (Кэв = 0,7);

$О_{тм}$ – оплата труда механизатора ($О_{тм}$ = 42 тыс.руб./мес).

При расчете $Ф_{рвм}$ учитывалось, что время смены составляет 8 часов, а число рабочих дней в календарном месяце составляет 22 дня, поэтому:

$$Ф_{рвм} = 22 \cdot 8 = 176 \text{ ч/мес.} \quad (10)$$

С учетом формул (9) и (10) получили:

$З_{от}$ = 1340/176 · 0,7 х 42 = 456,8 тыс. руб.

Затраты на ГСМ определяли по формуле:

$$З_{гсм} = q_{уд} \cdot N \cdot Н_г \cdot Ц_т К_{см}/1000 = 0,16 \cdot 110,2 \cdot 1340 \cdot 52 \cdot 1,01/1000 = 1241 \text{ тыс. руб}, \quad (11)$$

где $Ц_т$ – цена дизельного топлива ($Ц_т$ = 52 руб./кг), руб./кг;

$К_{см}$ – коэффициент, учитывающий долю затрат на смазочные материалы (Ксм = 1,01).

Третье слагаемое определяли с учетом годового норматива отчислений на ТО и ремонт, который составляет 18% от прейскурантной цены трактора:

$$З_{тор} = 0,18\ Ц_{тр} = 0,18 \cdot 1920000/1000 = 345,6 \text{ тыс. руб.}, \quad (12)$$

Величина годовых амортизационных отчислений составила:

$З_а = Ц_{тр}/Т_{сл}$ = 1920000/10 · 1000 = 192 тыс. руб.,

где $Т_{сл}$ – срок службы ($Т_{сл}$ = 10 лет), лет.

Таким образом, величина прямых годовых затрат на эксплуатацию трактора составит:

$$З_г = 456,8 + 1241 + 345,6 + 192 = 2235,4 \text{ тыс. руб.}, \quad (13)$$

Доля затрат ($Д_{з.эк}$) на компенсацию экономического ущерба составит:

$$Д_{з.эк} = У_{г.эк}/ З_г = 3,544/2235,4 = 0,001585 \approx 0,16\%. \quad (14)$$

Выполненные расчеты не подтверждают обоснованность включения в совокупные затраты денежных средств на эксплуатацию техники ущерба от негативного воздействия на окружающую среду выхлопных газов. Чрезвычайно малая доля этих затрат в совокупных издержках на эксплуатацию техники в задачах сравнения, составляющих методическую основу ГОСТ Р 53056-2008, внесет вклад в разницу оценок, который будет на порядок меньше величины $Д_{з.эк}$. Это объясняется тем, что разница в топливной экономичности сравниваемой техники, как правило не превышает 10-15%.

Составляющая затрат от недостаточных условий безопасности труда рассчитывается по ГОСТ Р 53054-2008 на базе экспертных оценок взаимосвязей условий труда с текучестью кадров и потерями рабочего времени по этой причине. Для объективной оценки этих взаимосвязей нет достаточного объема информации с целевой оценкой событий. Когда и в каком хозяйстве контролировалась текучесть кадров механизаторов по причине недостаточной безопасности труда, например? Этот компонент совокупных затрат денежных средств воспринимается надуманным. Кроме того, условия труда ранее оценивались эргономическим показателем с существенной весомостью (0,12) в комплексной оценке машин по ОСТ 70.2.30-78 [16]. То есть, показатель условий труда оценивался непосредственно (он входил в состав оценок качества техники) по совокупности единичных показателей, а не косвенно – по трудно устанавливаемым последствиям.

Выводы.

1. ГОСТы 23728(30)-88 и ГОСТ Р 53056-2008 устанавливают единый подход при проведении экономической оценки сельскохозяйственной техники, но они не позволяют оперативно оценивать уровень использования техники и вырабатывать детальные решения по управлению механизированными технологиями, не могут служить продуктивным инструментом выработки решений и по их модернизации. Унификация методических инструментов сдерживает отраслевой научно-технический прогресс, снижает продуктивность решений.

2. Использование «совокупных затрат денежных средств» в расчетах базовых показателей экономической эффективности техники усложняет расчетную процедуру, снижает возможности обеспечения условий сопоставимости и объективности сравнения под сомнительным предлогом повышения полноты учета факторов эксплуатации – за счет дополнительных компонентов затрат. Например, весомость отрицательного воздействия выхлопных газов на окружающую среду не превышает 0,16% от прямых эксплуатационных затрат.

3. Включение в «прямые эксплуатационные затраты» прочих затрат на основные и вспомогательные материалы (проволока, шпагат, тара) дискредитирует стандартный метод по следующим причинам:

− вносит некоторую неопределенность;

− сравнительные испытания техники проводятся с целью подтверждения основных реализованных резервов, изложенных в техническом задании (технических требованиях) и поиска других значимых резервов, но их нет в «прочих» составляющих.

4. Использование базы сравнения техники в ГОСТ Р 53056-2008 с некоторым сроком службы и предложенная процедура учета остаточного ресурса в расчетах критериев сравнительной эффективности снижают уровень сопоставимости оценок в пользу нового варианта техники, так как затраты по базе сравнения неоправданно увеличиваются.

5. Предложение разработчиков стандартов учитывать убытки от количества и качества продукции в совокупных затратах денежных средств может быть реализовано только в перерабатывающих технологиях. Кроме того, оценка качества продукции в денежном выражении зависит от состояния рынка и других условий производства, а процедур расчета убытка стандарты не содержат. Учитывать эту составляющую совокупных затрат денежных средств применительно к агрегатам по возделыванию сельскохозяйственных культур не представляется возможным, так как после промежуточных технологических операций отсутствует событие получения продукции, что вызывает сомнения об универсальности стандартов.

Список литературы

1. Черепанов С.С., Халфин М.А. Проблемы повышения технического уровня и надежности сельскохозяйственной техники // Техника в сельском хозяйстве.-1990. №6-с.3-5.

2. Конкин Ю.А. Экономика ремонта сельскохозяйственной техники.-М.: Колос.-1983.-414 с.

3. Шаров Н.М. Эксплуатационные свойства сельскохозяйственных агрегатов. .-М.: Колос.-1981.-240 с.

4. Погорелый А.В. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники.-К.: Урожай. -1989.-238 с.

5. Мальцев Г.Д. Закономерности повышения экономической эффективности сельскохозяйственной техники в условиях развития АПК // Автореф.дисс. д-ра эконом.наук / ТСХА.-М.:1990.-35 с.

6. Мельников С.В. Эксплуатация технологического оборудования животноводческих ферм и комплексов.-М: Колос. -1980.- 287 с.

7. Агафонов Н.И. Эффективное использование сельскохозяйственной техники.- М.: Знание.-1987.-64 с.

8. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных машин.-М.:ВО «Агропромиздат.»-1988. – 415 с.

9. ГОСТ 23728-88-ГОСТ 23730-88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ.1989.01.01.-М.:Издательство стандартов.-1988.-12 с.

10. ГОСТ Р 53056 – 2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.-Введ. 2008.17.12.-М.:Стандарт информ.-2009.19 с.

11. Ерохин Г.Н., Коновский В.В., Тишанинов Н.П. Использование зерноуборочных комбайнов за пределами регламентированного срока службы // Типография Россельхозакадемии.-М.:2005.-63 с.

12. Тишанинов Н.П. Проблемы эксплуатации техники в рыночных условиях //Механизация и электрификация сельского хозяйства.-1994.-№11.-с.21-24.

13. Тишанинов Н.П. Новые принципы обоснования решений по эксплуатации техники и механизации процессов сельскохозяйственного производства // Инженерно-техническое обеспечение АПК.-1995.-№9-10.-с.23-25.

14. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Метод определяющих критериев качества технологического процесса // Наука в центральной России. - 2019.-№3(39).-с.48-55.

15. Тишанинов Н.П. Инструменты познания и прогресс // Вестник АПК Верхневолжья. -2019.-№3(47).-с.65-73.

16. ОСТ 70.2.30-78 Испытания сельскохозяйственной техники. Комплексная оценка машин. Программа и методы.- Введ.1978.26.10.-М.: Производственно-издательский комбинат Госкомсельхозтехники СССР.-1978.-160 с.

References

1. Cherepanov S.S., Khalfin M.A. Problemy povysheniya tekhnicheskogo urovnya i nadezhnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki // Tekhnika v sel'skom khozyaystve.-1990. №6-s.3-5.

2. Konkin YU.A. Ekonomika remonta sel'skokhozyaystvennoy tekhniki.-M.: Kolos.-1983.-414 s.

3. Sharov N.M. Ekspluatatsionnyye svoystva sel'skokhozyaystvennykh agregatov. .-M.: Kolos.-1981.-240 s.

4. Pogorelyy A.V. Nauchnyye osnovy povysheniya proizvoditel'nosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki.-K.:Urozhay.-1989.-238 s.

5. Mal'tsev G.D. Zakonomernosti povysheniya ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki v usloviyakh razvitiya APK // Avtoref.diss. d-ra ekonom.nauk / TSKHA.-M.:1990.-35 s.

6. Mel'nikov S.V. Ekspluatatsiya tekhnologicheskogo oborudovaniya zhivotnovodcheskikh ferm i kompleksov.-M:Kolos.-1980.- 287 s.

7. Agafonov N.I. Effektivnoye ispol'zovaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki.- M.: Znaniye.-1987.-64 s.

8. Saakyan D.N. Sistema pokazateley kompleksnoy otsenki mobil'nykh mashin.-M.:VO «Agropromizdat.»-1988. – 415 s.

9. GOST 23728-88-GOST 23730-88 Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya. Metody ekonomicheskoy otsenki. – Vved.1989.01.01.-M.: Izdatel'stvo standartov. -1988.-12 s.

10. GOST R 53056 – 2008 Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya. Metody ekonomicheskoy otsenki.-Vved. 2008.17.12.-M.: Standart inform. -2009.19 s.

11. Yerokhin G.N., Konovskiy V.V., Tishaninov N.P. Ispol'zovaniye zernouborochnykh kombaynov za predelami reglamentirovannogo sroka sluzhby // Tipografiya Rossel'khozakademii.-M.:2005.-63 s.

12. Tishaninov N.P. Problemy ekspluatatsii tekhniki v rynochnykh usloviyakh //Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. -1994.-№11.-s.21-24.

13. Tishaninov N.P. Novyye printsipy obosnovaniya resheniy po ekspluatatsii tekhniki i mekhanizatsii protsessov sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva // Inzhenerno-tekhnicheskoye obespecheniye APK.-1995.-№9-10.-s.23-25.

14. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Metod opredelyayushchikh kriteriyev kachestva tekhnologicheskogo protsessa // Nauka v tsentral'noy Rossii. -2019.-№3(39).-s.48-55.

15. Tishaninov N.P. Instrumenty poznaniya i progress // Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. -2019.-№3(47).-s.65-73.

16. OST 70.2.30-78 Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Kompleksnaya otsenka mashin. Programma i metody. - Vved.1978.26.10.-M.: Proizvodstvenno-izdatel'skiy kombinat Goskomsel'khoztekhniki SSSR.-1978.-160 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolaj Petrovich – doktor tekhnicheskih nauk, professor, glavnyj nauchnyj sotrudnik Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovaniya tekhniki i nefteproduktov v sel'skom hozyajstve», g. Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 28.05.2022

УДК 621.899:620.197
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-70-75

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ДВИГАТЕЛЯХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

[1]Остриков Валерий Васильевич
[1]Вязинкин Виктор Сергеевич
[1]Кошелев Александр Викторович
[1]Забродская Алла Владимировна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *В результате изменения физико-химических характеристик моторного масла в двигателях зерноуборочных комбайнов установлено, что за период уборочных работ в большей степени изменяется щелочное число масла. В частности, в комбайнах Дон-1500 щелочное число снизилось с 8 мг КОН/г до 5 – 6 мг КОН/г. При этом вязкость масла и температура вспышки изменились минимально за период наработки 180 часов. Определено, что за период хранения и простоя комбайна в течение 10 месяцев щелочное число снизилось не более чем на 5 %, в то время как кислотное число увеличилось, что свидетельствует об окислительных процессах, происходящих в масле в период простоя комбайнов на открытой площадке. В плане рассмотрения возможности очистки работающего в двигателе моторного масла от смол и продуктов окисления проведены лабораторные исследования по удалению нерастворимого осадка. Установлено, что добавление в масло 2 % раствора гидроксида аммония с растворённым карбамидом в соотношении 50:50 с последующим нагревом и центрифугированием позволяет снизить содержание нерастворимых загрязнений в 10 раз, значение кислотного числа снижается в 2 раза. В процессе проведения лабораторных исследований рассматривалось влияние простоя комбайнов на защитные свойства масла. Определено, что га пластинах из стали Ст3 образовались следы коррозии, не превышающие 7…10 % от площади обработанной маслом поверхности. Полученные результаты исследований являются одним из этапов разработки технологии продления сроков службы моторного масла и защиты деталей двигателей комбайнов от коррозии в период их послеуборочного хранения.*

Ключевые слова: *моторное масло, физико-химические характеристики, изменение свойств, коррозия, защита, очистка, срок службы.*

CHANGING THE CHARACTERISTICS OF MOTOR OILS IN ENGINES OF GRAIN HARVESTERS

[1]Ostrikov Valery
[1]Vyazinkin Viktor
[1]Koshelev Alexander
[1] Zabrodskaya Alla
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture"

Abstract. *As a result of changes in the physical and chemical characteristics of motor oil in the engines of combine harvesters, it was found that during the period of harvesting, the base number of the oil changes to a greater extent. In particular, in Don-1500 combines, the alkaline number decreased from 8 mg KOH/g to 5-6 mg KOH/g. At the same time, the viscosity of the oil and the flash point changed minimally over the period of operation of 180 hours. It was determined that during the period of storage and downtime of the combine for 10 months, the alkaline number decreased by no more than 5%, while the acid number increased, which indicates oxidative processes occurring in the oil during the downtime of combines in an open area. In terms of considering the possibility of cleaning the engine oil from resins and oxidation products, laboratory studies were carried out to remove insoluble sediment. It has been established that the addition of a 2% ammonium hydroxide solution with dissolved carbamide to the oil in*

a ratio of 50:50, followed by heating and centrifugation, makes it possible to reduce the content of insoluble contaminants by 10 times, the value of the acid number decreases by 2 times. In the process of conducting laboratory studies, the effect of downtime of combine harvesters on the protective properties of the oil was considered. It was determined that traces of corrosion were formed on plates made of St3 steel, not exceeding 7 ... 10% of the area of the surface treated with oil. The obtained results of the research are one of the stages in the development of technology for extending the service life of engine oil and protecting engine parts from corrosion during their post-harvest storage. *The obtained results of the research are one of the stages in the development of technology for extending the service life of engine oil and protecting engine parts from corrosion during their post-harvest storage.*

Keywords: *engine oil, physical and chemical characteristics, change in properties, corrosion, protection, purification, service life.*

Введение. Как известно, моторные масла по мере наработки в двигателях внутреннего сгорания изменяют свои свойства [1,2]. В маслах накапливаются продукты износа, сгорания топлива и масла, снижается содержание присадок, увеличивается количество продуктов окисления [3,4]. После наработки 250 часов в двигателях тракторов и комбайнов моторное масло сливают и подвергают утилизации.

Как показывает практика исследований ФГБНУ ВНИИТиН фактически слив отработанного масла проводится, когда оно уже исчерпало свой ресурс и дальнейшее его использование приводит к увеличению износа деталей цилиндропоршневой группы. Либо масло обладает достаточно высоким запасом эксплуатационных свойств и его преждевременный слив слив увеличивает затраты на приобретение товарных масел [5,6]. Достаточно эффективным в данном случае является экспресс – контроль качества моторного масла и его замена по фактическому состоянию [7,8]. Однако из-за отсутствия в хозяйствах простейших средств контроля данный подход не получил широкого распространения в АПК.

В ряду всего комплекса используемой в сельскохозяйственной отрасли техники особое место занимают зерноуборочные комбайны. Моторное масло при постановке комбайнов на длительное межсезонное хранение чаще всего не сливают. Замену проводят перед началом уборочных работ и выездом комбайнов в поле.

При этом практически не принимается во внимание тот факт, что за длительный период простоя масло в двигателе теряет свои свойства. Оно подвергается окислительным процессам, присадки могут выпадать в осадок и в системе смазки образовываться отложения.

Методика проведения исследований. Перед началом уборочных работ в 2020 году под наблюдение взято 3 комбайна Дон-1500. Во всех двигателях комбайнов проведена замена моторного масла на товарное М-10ДМ. В период эксплуатации через каждые 30 часов наработки из двигателя отбиралась проба масла объемом 200 мл. В лабораторных условиях определялись: вязкость кинематическая, щелочное и кислотное число, содержание механических примесей и нерастворимого осадка, температура вспышки. Отбор проб масла проводился до момента постановки комбайна на хранение. После постановки техники на хранение в течение 10 месяцев ежемесячно отбирались пробы масла объемом 200 мл для определения изменения щелочного и кислотного числа масла, содержания нерастворимого осадка. Анализ физико-химических характеристик проводился в соответствии с известными методиками ГОСТ.

В процессе работы масла в двигателе рассматривалась возможность удаления из моторного масла смол, продуктов окисления. Основанием для проведения операции очистки являлся анализ закономерностей процесса накопления загрязнений. Для этих целей через 100 часов наработки масла отбиралась проба 0,5 литра и в лабораторных условиях проводилась очистка. Масло нагревалось до температуры 80 °С и в него вносился 2 % раствор гидроксида аммония и карбамида в соотношении 50:50. Далее масло нагревалось до 100 °С и проводилось его центрифугирование на лабораторной установке при частоте вращения ротора 4000 об/мин. На основании данного эксперимента принимается решение о целесообразности и эффективности очистки масла.

Результаты и их обсуждение. По заявлению разработчиков состава моторного масла М-10ДМ, данное масло по сравнению с маслом М-10$Г_2$ обладает более высокими противоизносными,

антикоррозионными свойствами, способностью масла противостоять окислительным процессам и увеличить срок службы масла до его замены.

Особенностью работы масла в двигателях зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации является длительный простой техники в период межсезонного хранения с последующим запуском двигателя, а в некоторых случаях и последующая его работа (100…150 часов).

В дополнение ко всему в 2020-2022 году в плане решения проблемы повышения эффективности использования смазочных масел, снижения затрат на ремонт двигателей комбайнов ФГБНУ ВНИИТиН проводит мониторинг качества масла и разработку технологического процесса продления сроков службы моторных масел М-10ДМ.

На первом этапе по результатам исследований изменения свойств масла получены зависимости (рисунок 1).

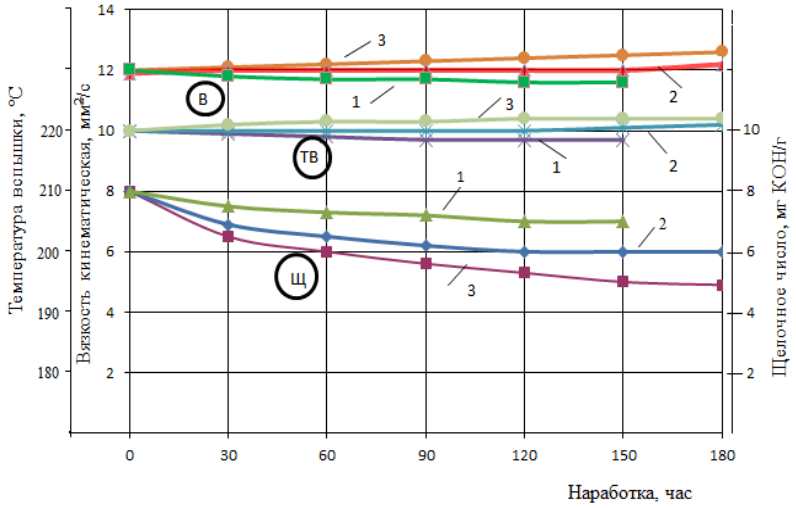


Рисунок 1. Зависимость изменения вязкости кинематической (В), температуры вспышки (ТВ), щелочного числа масла (Щ) от наработки в двигателях комбайна Дон – 1500 (1,2,3)

Вязкость кинематическая в масле, работающем в двигателе комбайнов № 2, 3 незначительно увеличилась к 180 часам наработки. В двигателе комбайна № 1 к 150 часам наработки снизилась до 11,5 мм^2/с, что коррелируется и с значением температуры вспышки. Её величина снизилась с 220 °С до 215 °С. В двигателях комбайнов № 2, 3 температура вспышки до окончания работ практически не менялась. Щелочное число масла снизилось в двигателях комбайнов № 2 и № 3 до 6 мг КОН/г (№ 2) и до 5 мг КОН/г в двигателе комбайна № 3.

Зерноуборочный комбайн № 1 после 150 часов наработки завершил работу и был отправлен на место хранения.

В процессе эксплуатации во всех двигателях проводился долив масла. Количество долива масла (угар) не контролировалось. Комбайны № 1, № 2 и № 3 эксплуатировались до конца уборочного сезона на дизельном топливе в соответствии с требованиями ГОСТ.

В период хранения комбайны находились на открытой площадке. В период временного простоя (10 месяцев) из картеров двигателей через каждые 3 месяца отбирались пробы масел для определения изменения щелочного и кислотного чисел.

На рисунке 2 представлены зависимости изменения показателей свойств масел в двигателях комбайнов № 2, 3 от времени.

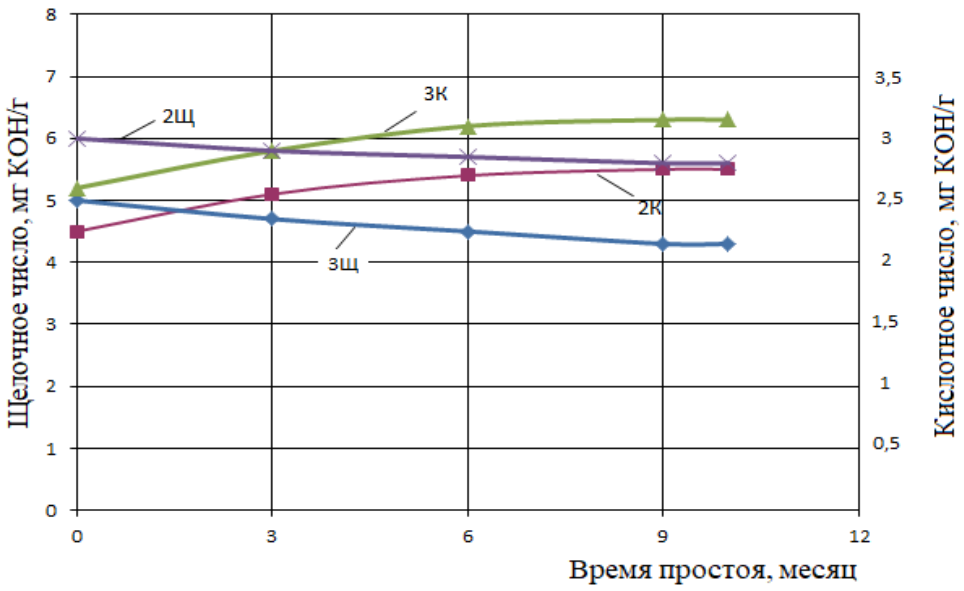


Рисунок 2 – Зависимость изменения щелочного числа (Щ) и кислотного числа (К) масла от времени простоя комбайнов № 2, № 3

Установлено, что щелочное число (Щ) масел за нерабочий период изменилось незначительно, снизившись с 6 мг КОН/г (комбайн № 2) до 5,7 мг КОН/г и с 5 мг КОН/г (комбайн № 3) до 4,6 мг КОН/г. Данный факт объясняется осаждением присадок совместно с загрязнениями за период 10 месяцев. Кислотное число масла выросло и в двигателе комбайна № 2 и комбайна № 3, как следствие процесса окисления.

Перед началом периода хранения техники на металлические пластины из стали Ст3 наносился слой масла (№2, № 3), и образцы выдерживались в вертикальном положении весь период (10 месяцев) в условиях замкнутого пространства в окружающей среде.

Определено, что к окончанию периода наблюдений и в первом, и во втором случаях имелись следы образования очагов коррозии (в виде желтых пятен) на пластинах, не превышающие 7…10 % от площади поверхности.

В ходе выполнения исследований рассматривалась возможность удаления загрязнений из работающего моторного масла. Для этих целей после 100 часов наработки масла в двигателях комбайнов проводилась их очистка в лабораторных условиях (по способам ФГБНУ ВНИИТиН).

На рисунке 3 представлены показатели изменения содержания нерастворимого осадка (Н), щелочного числа (Щ) и кислотного числа (К) до и после проведения операции очистки масла.

Вывод. В первом приближении можно утверждать, что очистка масла от смол и продуктов окисления после 100 часов наработки позволяет продлить срок службы масла, повысить его защитные свойства.

Для подтверждения полученных результатов необходимо проведение широких производственных испытаний.

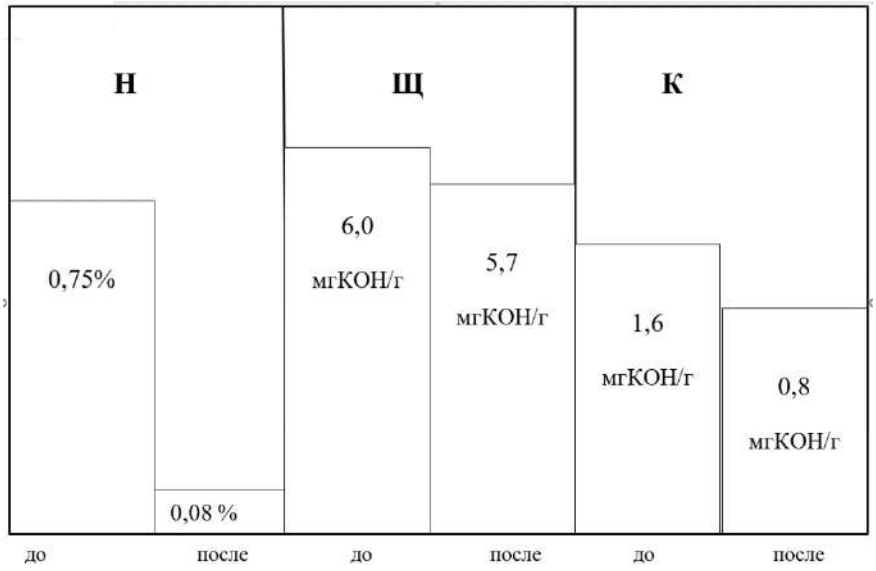


Рисунок 3 – Изменение содержания нерастворимого осадка (Н), щелочного числа (Щ), кислотного числа (К) до и после очистки моторного масла, проработавшего в двигателе комбайна более 100 часов.

Список литературы

1. Лахши В.Л., Фукс И.Г., Шор Г.И. Коллоидная химия смазочных масел в условиях применения // Химия и технология топлив и масел. 1991. № 6. С. 16.

2. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Белогорский В.В. Информативность и взаимосвязь показателей качества работающих моторных масел. Техника в сельском хозяйстве, № 3, 2008. С. 45-47.

3. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. Москва: Химия, 1985. 312 с.

4. Остриков В.В., Нагорнов С.А., Клейменов О.А., Булавин С.А., Стребков С.В. Топливо, смазочные и консервационные материалы. Белгород: БГСХА, 2008. 262 с.

5. Виппер А.Б., Виленкин А.В., Гайснер Д.А. Зарубежные масла и присадки. Москва: Химия, 1981. 192 с.

6. Петров И.А. Автомобильные масла, смазки, присадки. Москва: Машиностроение, 2001. 250 с.

7. Арабян С.Г., Виппер А.Б., Холомонов И.А. Масла и присадки для тракторных и комбайновых двигателей. Москва: Машиностроение, 1984. 207 с.

8. Бельских В.И. Диагностирование и обслуживание сельскохозяйственной техники. Москва: Колос, 1980. 575 с.

References

1. Lakhshi V.L., Fuchs I.G., Shor G.I. Colloidal chemistry of lubricating oils under application conditions // Chemistry and technology of fuels and oils. 1991. No. 6. S. 16.

2. Ostrikov V.V., Tupotilov N.N., Belogorsky V.V. Informativeness and relationship of quality indicators of working motor oils. Technique in agriculture, No. 3, 2008. P. 45-47.

3. Kuliev A.M. Chemistry and technology of additives to oils and fuels. Moscow: Chemistry, 1985. 312 p.

4. Ostrikov V.V., Nagornov S.A., Kleimenov O.A., Bulavin S.A., Strebkov S.V. Fuel, lubricants and conservation materials. Belgorod: BGSHA, 2008. 262 p.

5. Vipper A.B., Vilenkin A.V., Gaisner D.A. Foreign oils and additives. Moscow: Chemistry, 1981. 192 p.

6. Petrov I.A. Automotive oils, lubricants, additives. Moscow: Mashinostroenie, 2001. 250 p.

7. Arabyan S.G., Vipper A.B., Kholomonov I.A. Oils and additives for tractor and combine engines. Moscow: Mashinostroenie, 1984. 207 p.

8. Belskikh V.I. Diagnostics and maintenance of agricultural machinery. Moscow: Kolos, 1980. 575 p.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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, Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Вязинкин Виктор Сергеевич – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Кошелев Александр Викторович – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно- исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, email: 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

Affiliation

Ostrikov Valery Vasilievich – 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: viitinlab8@bk.ru.

Vyazinkin Victor Sergeevich - Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Koshelev Alexander Viktorovich - junior Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the 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, email: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.05.2022

УДК 621.43
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-76-83

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДНО-ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

[1,2]Родионов Юрий Викторович
[2]Данилин Сергей Иванович
[3]Ломовских Александр Егорович
[3]Колтаков Алексей Анатольевич
[3]Борисов Сергей Владимирович
[1]Скоморохова Анастасия Игоревна
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Реферат. *В статье рассматривается перспективность использования водно-топливных эмульсий в качестве основного топлива для дизельных двигателей внутреннего сгорания. Цель исследования заключается в определении влияния состава и качества водно-топливной эмульсии с содержанием воды в дизельном топливе на уровень вибрации дизельного двигателя ЯМЗ-236. Разработана установка для приготовления водно-топливной смеси из дизельного топлива по ГОСТ 32511-2013 и дистиллированной воды по ГОСТ 6709-72. Представлена схема данной экспериментальной установки, предназначенной для приготовления эмульсии непосредственно на борту автотракторной техники с последующей подачей в камеру сгорания двигателя. Стандартные стендовые испытания проведены на стенде КИ-5540 с дизельным двигателем ЯМЗ-236 и с модернизированной топливной системой. Регистрация параметров вибрации проводилась виброметром АССИСТЕНТ V3. Исследования проводились путем снятия виброакустической мощности при работе двигателя ЯМЗ-236 на обычном дизельном топливе и на водно-топливной эмульсии, содержащей в своем составе 5%, 30% и 50% водного компонента. В результате проведенных исследований влияния водно-топливной эмульсии на уровень вибрации дизельного двигателя удалось установить, что увеличение содержания воды до 50% в составе дизельного топлива в виде эмульсии со средними размерами капель водного компонента не более 2 микрон существенно не влияет на уровень вибрации двигателя. Выявлено, что максимальное увеличение значений уровня вибрации на 0,4% происходит при составе ВТЭ 30% водной фазы и 70% топлива, но это увеличение несущественное и им можно пренебречь.*

Ключевые слова: *дизель, водно-топливная эмульсия, вибрация, виброакустическая мощность.*

STUDY OF THE EFFECT OF WATER-FUEL EMULSION ON THE LEVEL OF DIESEL ENGINE VIBRATION

[1,2]Rodionov Yuri
[2]Danilin Sergey
[3] Lomovskikh Alexander
[3]Koltakov Alexey
[3] Borisov Sergei
[1]Skomorohova Anastasia
[1]FSBEI HE "Tambov State Technical University"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
[3]MERC “Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin”

Abstract. *The article discusses the prospects of using water-fuel emulsions as the main fuel for diesel internal combustion engines. The purpose of the study is to determine the effect of the composition and quality of a water-fuel emulsion with a water content in diesel fuel on the vibration level of a YaMZ-236*

diesel engine. A plant for the preparation of a water-fuel mixture from diesel fuel according to GOST 32511-2013 and distilled water according to GOST 6709-72 has been developed. A scheme of this experimental plant is presented, designed to prepare an emulsion directly on board an automotive vehicle with subsequent supply to the engine combustion chamber. Standard bench tests were carried out on the KI-5540 bench with a YaMZ-236 diesel engine and an upgraded fuel system. Registration of vibration parameters was carried out by vibrometer ASSISTANT V3. The studies were carried out by removing the vibroacoustic power during the operation of the YaMZ-236 engine on conventional diesel fuel and on a water-fuel emulsion containing 5%, 30% and 50% of the water component in its composition. As a result of the studies of the effect of a water-fuel emulsion on the level of vibration of a diesel engine, it was found that an increase in the water content to 50% in the composition of diesel fuel in the form of an emulsion with an average droplet size of the water component of no more than 2 microns does not significantly affect the level of engine vibration. It was found that the maximum increase in vibration level values by 0.4% occurs when the composition of the WFE is 30% of the water phase and 70% of the fuel, but this increase is insignificant and can be neglected.

Keywords: *diesel, water-fuel emulsion, vibration, vibroacoustic power.*

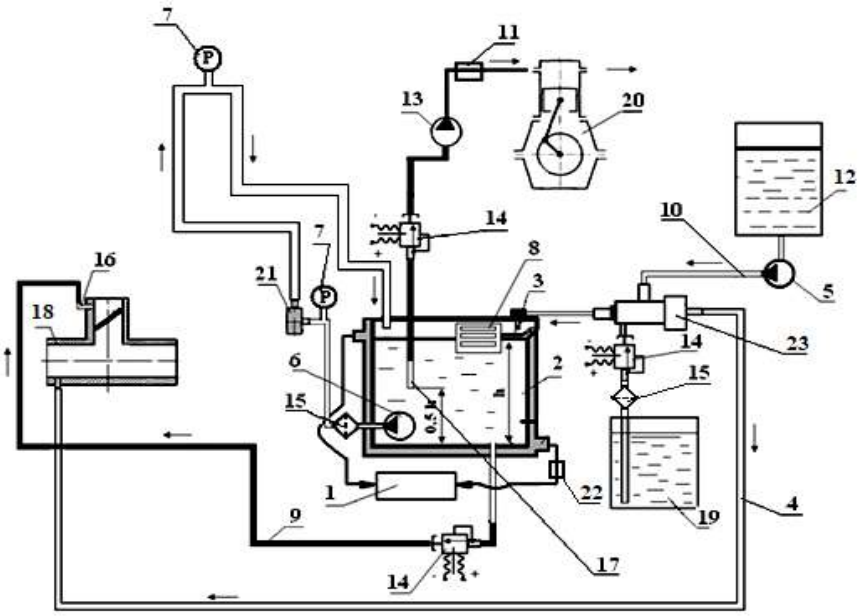
Введение. На сегодняшний момент основную часть работы в современном агропромышленном комплексе выполняет автотракторная техника (АТТ) преимущественно с дизельными двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Зачастую происходит эксплуатация физически старой, изношенной техники, что приводит к повышению расхода топлива и существенному увеличению вредных выбросов. Одним из наиболее вредных факторов, отрицательно сказываюшихся на работоспособности ДВС, являются вибрации. Решением обозначенных выше проблем может быть использование водно-топливных эмульсий (ВТЭ) в качестве основного топлива для дизельных ДВС.

В настоящее время ВТЭ уже используются в качестве биотоплива во многих странах мира (Франция, Россия, Китай и др.), где данное топливо заливают в бак и затем эксплуатируют технику на таком топливе. Приготовление осуществляется в основном на стационарных установках и, чтобы водная фаза в топливе быстро не расслаивалась применяют дорогостоящие эмульгаторы. Их добавляют в ВТЭ в количестве до 1% по отношению к объему топлива, что позволяет сохранять ее жизнеспособность в течении 25…30 суток и этого вполне достаточно для ее расходования в течении этого периода. Но бывают ситуации, когда АТТ из-за погодных условий может долгое время не эксплуатироваться (более 30 суток), тогда произойдет расслой водной фазы и ДВС уже не сможет без проведения дополнительных работ запустится. Поэтому применение такой ВТЭ для автотракторной техники в условиях современного агропромышленного комплекса России просто не допустимо. В связи с этим коллективом авторов разработана и запатентована [1] система приготовления и подачи ВТЭ для дизельных ДВС, которая позволяет приготовить эмульсию непосредственно на борту АТТ и сразу ее расходовать в камере сгорания двигателя. При таком конструктивном решении отсутствует необходимость в использовании дорогостоящего эмульгатора. Все разработанные устройства устанавливаются параллельно штатной системы питания ДВС, в разрыв топливного шланга между штатным баком и топливным насосом, соединяются резиновыми шлангами, поэтому могут располагаться в любом свободном месте на АТТ.

Целью исследования является определение влияния состава и качества водно-топливной эмульсии на уровень вибрации дизельного двигателя ЯМЗ-236.

Материалы и методы. Принципиальная схема экспериментальной установки и разработанных устройств в составе штатной системы питания дизельного ДВС представлена на рисунке 1.

Разработанная экспериментальная установка представляет собой стенд КИ-5540 с дизельным двигателем ЯМЗ-236, укомплектованный в соответствии с ГОСТ 14846-81 (см. рисунок 2) и с модернизированной топливной системой для приготовления и подачи ВТЭ в штатную систему питания ДВС ЯМЗ-236.



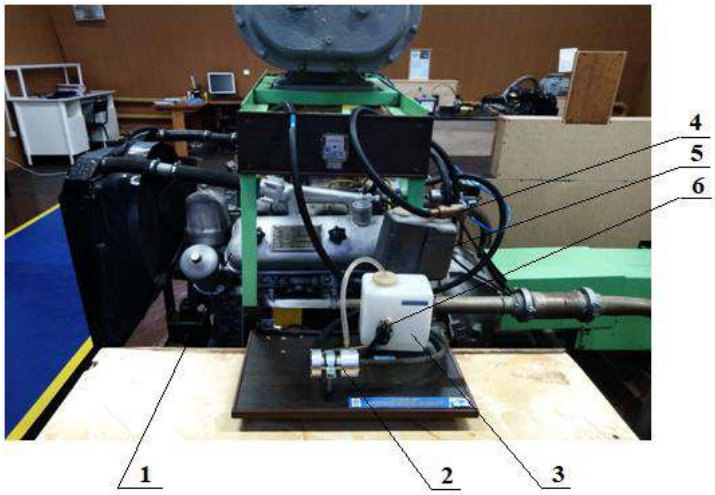
1 – система охлаждения ДВС; 2 – смесительная ёмкость для ВТЭ; 3 – запорная игла; 4 – вакуумная трубка; 5 – насос; 6 – насос; 7 – манометр; 8 – поплавок; 9 – трубка сброса; 10 – резиновые трубопроводы; 11 – расходомер; 12 – ёмкость для топлива; 13 – штатный топливный насос ДВС; 14 – клапаны; 15 – фильтрующий элемент; 16 – жиклер; 17 – трубка забора ВТЭ; 18 – впускной коллектор ДВС; 19 – ёмкость с водой; 20 – ДВС; 21 – перемешивающий аппарат; 22 – кран подачи жидкости; 23 – дозирующий элемент

Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки

Рисунок 2 – Внешний вид стенда КИ-5540 с дизельным двигателем ЯМЗ-236

Исследование осуществлялось при эксплуатации ДВС на обычном дизельном топливе и на ВТЭ. На экспериментальной установке (рисунок 2) осуществлялась регистрация изменяющихся параметров работы двигателя с использованием приборов в соответствии с требованиями источника [2, 3].

Также при проведении исследований использовалась разработанная для этих целей лабораторная установка для приготовления ВТЭ из дизельного топлива по ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) и дистиллированной воды по ГОСТ 6709-72. Внешний вид лабораторной установки для приготовления ВТЭ представлен на рисунке 3.



1 – стендовый двигатель ЯМЗ-236; 2 – перемешивающий аппарат; 3 – смесительная ёмкость для ВТЭ; 4 – дозирующий элемент; 5 – ёмкость для топлива; 6 – насос

Рисунок 3 – Внешний вид лабораторной установки для приготовления ВТЭ

Приготовление ВТЭ производилось в два этапа. На первом этапе приготавливалась «грубая» эмульсия с применением дозатора эжекционного принципа действия, в которой средний размер капель водного компонента составляют не более 50 мкм. На втором этапе, после обработки такой смеси в перемешивающем аппарате, получалась ВТЭ, где средние размеры капель водного компонента составляют не более 2 мкм, и далее приготовленная смесь установленного состава и дисперсности подавалась в штатную систему питания дизеля ЯМЗ-236.

В ходе проведения экспериментальных исследований по оценке влияния ВТЭ на уровень вибрации, возникающей при работе дизельного двигателя ЯМЗ-236 на таком топливе, определялись оценочные показатели двигателя при работе под нагрузкой, при различной частоте вращения коленчатого вала. При проведении испытаний двигатель ЯМЗ-236 находился в исправном состоянии и в комплектности соответствующей инструкции по эксплуатации завода-изготовителя. Испытания двигателя с применением модернизированной системы питания производились в диапазоне частот вращения холостого хода до равной 60% от номинальной нагрузки.

Исследования проводились путем снятия виброакустической мощности при работе двигателя ЯМЗ-236 на обычном дизельном топливе и на водно-топливной эмульсии, содержащей в своем составе 5%, 30% и 50% водного компонента.

Единственным параметром, по которому можно однозначно определить виброактивность механизма с учетом всех видов колебаний является виброакустическая мощность. Виброускорение является важным параметром, характеризующим виброакустическую мощность [4], поэтому в процессе испытания двигателя ЯМЗ-236 фиксировались эквивалентные корректированные значения виброускорения по направлениям поступательной вибрации с коэффициентами коррекции (коррекцией Wk – для вертикальной оси Z, коррекция Wd – для поперечной оси Y), как показано на рисунке 4 (на примере автомобиля марки УРАЛ).

Предварительные измерения и литературные источники [5] указывают на минимальный вклад источников вибрационной энергии по продольной оси X в силовых установках, поэтому результаты экспериментальных исследований по оси X не рассматривались.

Уровень вибрации фиксировался виброметром АССИСТЕНТ V3 вибропреобразователем АР40, (рисунок 5) имеющим 3 канала измерения. Датчик вибрации размещался на опорном кронштейне двигателя и крепился с помощью магнита. Уровень сигнала вибрации был усреднен по периоду нормального использования дизеля. Длительность измерений и время интегрирования составили 3 минуты. Точкой измерения была выбрана рама крепления двигателя к основанию.

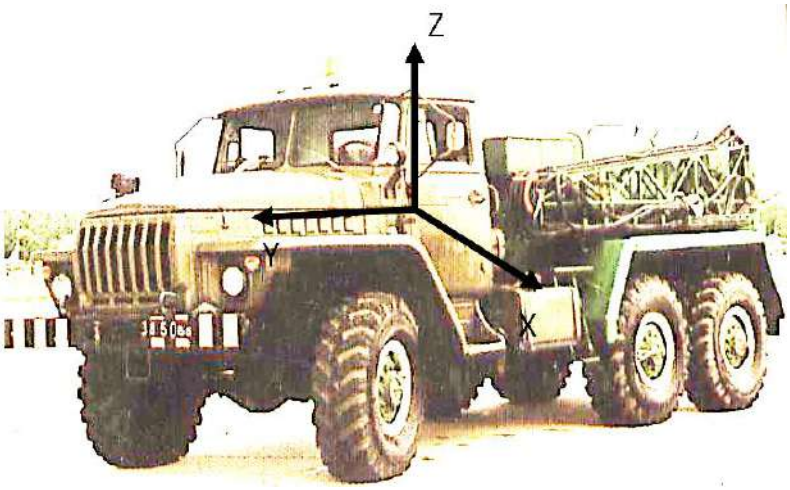


Рисунок 4 – Расположение осей ортогональной системы координат для измерения характеристик вибрации на автомобиле марки УРАЛ

Рисунок 5 – Внешний вид виброметра АССИСТЕНТ V3

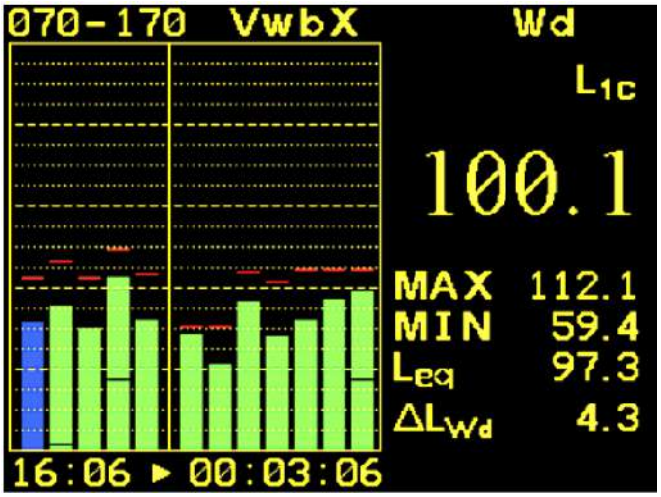


Рисунок 6 – Внешний вид экрана виброметра

Выведенные на экран виброметра полученные при эксперименте значения, показаны на рисунке 6.

Степень точности измерений оценивалась согласно ГОСТ Р 8.736-2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

Расчет неопределенности по типу А определяется выражением:

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n\left(n-1\right)}} \qquad (1)$$

где x_i – i-й результат измерений; $\bar{x}$ – среднеарифметическое значение результатов измерений; n – число измерений.

Среднеарифметическое значение определяется выражением:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{2}$$

Систематическая неопределенность, которая представлена приборной составляющей, определяется выражением:

$$S_b = \frac{\Delta L_{инстр}}{\sqrt{3}}, \tag{3}$$

где $\Delta L_{инстр}$ – предельное отклонение частотной характеристики анализатора спектра виброускорения «Ассистент V3», определяемое отклонением ЧХ вибропреобразователя. $\Delta L_{инстр}$ составляет ±1 дБА в диапазоне от 0,5 Гц до 10000 Гц.

Расширенная неопределенность определяется выражением:

$$S_\varepsilon = \sqrt{S_a^2 + S_b^2}, \tag{4}$$

В результате проведенных расчетов расширенная неопределенность составила S_ε = 0,9 дБА, при S_a^2 = 0,4 дБА и S_b^2 = 0,8 дБА, что соответствует степени точности «точно».

Результаты и их обсуждение. Результаты проведенного исследования уровня вибрации при работе двигателя ЯМЗ-236 на чистом дизельном топливе и на ВТЭ с содержанием водного компонента от 5% до 50% представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты полученных значений уровня общей вибрации

Направление вибрации по осям	Значение уровня общей вибрации, дБА в зависимости от состава ВТЭ			
	чистое дизельное топливо	5% водной фазы и 95% топлива	30% водной фазы и 70% топлива	50% водной фазы и 50% топлива
Y	100,1	100	100,5	100,2
Z	123,7	123,5	124	123,7

Анализ представленных в таблице 1 результатов исследований позволяет сделать вывод, что увеличение содержания воды до 50% в составе дизельного топлива в виде эмульсии не оказывает существенного влияния на уровень вибрации дизельного двигателя ЯМЗ-236 [6].

Заключение.

Таким образом, можно сделать вывод, что с увеличением количества воды в составе ВТЭ до 50% основные показатели работы дизельного двигателя существенно не ухудшаются. Это связано с тем, что распыл и испарение ВТЭ, улучшается при одинаковых параметрах и приводит к улучшению смесеобразования и сгорания и соответственно «жесткость» работы ДВС ЯМЗ-236 не возрастает. Следует отметить, что «жесткость» работы двигателя на прямую определяется значениями уровня общей вибрации [7].

Согласно таблице 1, максимальное увеличение значений уровня вибрации на 0,4% зафиксировано при составе ВТЭ 30% водной фазы и 70% топлива, но это настолько несущественное увеличение, которым можно пренебречь. В связи с этим, разработанную авторами систему приготовления и подачи ВТЭ можно рекомендовать к использованию на дизельных двигателях АТТ, а такую ВТЭ (без эмульгирующей системы) целесообразно применять в качестве топлива для дизельных ДВС.

Список литературы

1. Пат. 2390649 РФ, МПК F02M 25/022, F02B 47/02, B01F 3/08, Система для приготовления и подачи водно-топливной эмульсии в двигатель внутреннего сгорания / А.Е. Ломовских, Ю.В. Воробьев, В.Б. Тетерюков; заявитель и патентообладатель: А.Е. Ломовских, Ю.В. Воробьев, В.Б. Тетерюков. № 2007139864/06; заявл. 30.10.2007; опубл. 27.05.2010. Бюл. №15. 16 с.

2. ГОСТ 31319–2006 Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. М.: Стандартинформ, 2008. 23 с.

3. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1981. 11 с.

4. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2013. 24 с.

5. Колебания силового агрегата автомобиля / В.Е. Тольский [и др.]. М.: Машиностроение, 1976. 266 с.

6. Исследования эмульсионного топлива для дизельных двигателей внутреннего сгорания / А.Е. Ломовских [и др.] // Научно-практический журнал «Наука и военная безопасность». 2021. № 3 (26). С. 62–68.

7. Unique in composition and stability water-fuel emulsion / A.V. Dunaev [et al.] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12 (4 Special Issue), pp. 432–439.

References

1. Pat. 2390649 RF, MPK F02M 25/022, F02B 47/02, B01F 3/08, Sistema dlya prigotovleniya i podachi vodno-toplivnoi emul'sii v dvigatel' vnutrennego sgoraniya / A.E. Lomovskikh, Yu.V. Vorob'ev, V.B. Teteryukov; zayavitel' i patentoobladatel': A.E. Lomovskikh, Yu.V. Vorob'ev, V.B. Teteryukov. No. 2007139864/06; zayavl. 30.10.2007; opubl. 27.05.2010. Byul. No. 15. 16 p.

2. GOST 31319–2006 Vibratsiya. Izmerenie obshchei vibratsii i otsenka ee vozdeistviya na cheloveka. M.: Standartinform, 2008. 23 p.

3. GOST 14846–81. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovykh ispytanii. M.: Izd-vo standartov, 1981. 11 p.

4. GOST R 8.736-2011 Izmereniya pryamye mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenii. Osnovnye polozheniya. M.: Standartinform, 2013. 24 p.

5. Kolebaniya silovogo agregata avtomobilya / V.E. Tol'skii [i dr.]. M.: Mashinostroenie, 1976. 266 p.

6. Issledovaniya emul'sionnogo topliva dlya dizel'nykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya / A.E. Lomovskikh [i dr.] // Nauchno-prakticheskii zhurnal «Nauka i voennaya bezopasnost'». 2021. No. 3 (26). P. 62–68.

7. Unique in composition and stability water-fuel emulsion / A.V. Dunaev [et al.] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12 (4 Special Issue), pp. 432–439.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

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

Данилин Сергей Иванович – профессор, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой «Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: danilin.7022009@mail.ru.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования

«Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Колтаков Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, старший преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Борисов Сергей Владимирович – начальник учебной лаборатории Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: sergeevich2105219@yandex.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru.

Authors credentials
Affiliations

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

Danilin Sergey – Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department "Production Technologies, Storage and Processing of Crop Products" of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: danilin.7022009@mail.ru.

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Koltakov Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh,

Borisov Sergey – head of the training laboratory of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: nasta373@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 13.05.2022

УДК 621.891
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-84-91

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ФРЕТТИНГ-ИЗНОСЕ

[1]Погонышев Владимир Анатольевич
[1]Мокшин Илья Алексеевич
[2]Погонышева Дина Алексеевна
[1] ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. Академика И.Г. Петровского»

Реферат. *Работа посвящена получению и исследованию триботехнических характеристик при фреттинг-износе плёнок пластичных металлов, нанесенных на сталь-45. Изучены триботехнические характеристики пленочного покрытия (медьсодержащей плёнки), нанесенной на испытуемую поверхность образцов методом финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО). Выполнен анализ характеристик данных плёнок по сравнению с напылённым стальным покрытием без плёнки. Исследованы антифрикционные характеристики латунной плёнки на поверхности трения. Обоснованы триботехнические свойства поверхностей трения при фреттинг-износе. В результате проведенных исследований получила дальнейшее развитие теория абразивного изнашивания. Разработаны рекомендации по выбору материалов получения покрытий и пленок. Предложены новые способы подготовки образцов для испытания материалов на износостойкость. В результате исследования получено распределение гашения колебаний в зависимости от амплитуды колебаний и уменьшения молекулярной составляющей коэффициента трения. Обоснованы диапазоны контролируемых в эксперименте величин, рекомендованы измерительные приборы для проведения лабораторных исследований. Подобраны оптимальные стальные покрытия. По результатам исследований построены трёхфакторные графики зависимостей коэффициента трения от числа циклов и амплитуды колебаний. Установлено, что с течением времени происходит приработка поверхностей, упрочнение зоны трения, образование частиц износа. Процесс изнашивания происходит по схеме «упрочнение - разупрочнение - разрушение». Обосновано, что увеличение нагрузки приводит к увеличению интенсивности изнашивания. Одновременно с увеличением амплитуды колебаний интенсивность изнашивания возрастает в соответствии с теорией об ограничении доступа кислорода в зону контакта при фреттинге. Разработаны теоретические основы получения плёнки пластичных металлов.*

Ключевые слова: *трение, износ, изнашивание, абразивный износ, плёнки пластичных металлов, метод финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО), наплавка*.

TRIBOTECHNICAL PROCESSES DURING FRETTING WEAR

[1]Pogonishev Vladimir
[1]Mokshin Ilya
[2]Pogonisheva Dina
[1]FSBEI HE «Bryansk State Agrarian University»
[2]FSBEI HE «Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky»

Abstract*. The work is devoted to obtaining and studying of tribotechnical characteristics during fretting wear of plastic metal films deposited on steel-45. The tribotechnical characteristics of the film coating (copper-containing film) deposited on the test surface of the specimens by the method of finishing antifriction nonabrasive treatment (FABO) have been studied. The analysis of the characteristics of these films in comparison with a deposited steel coating without a film is carried out. The antifriction characteristics of the brass film on the friction surface are investigated. The tribotechnical properties of friction surfaces during fretting wear are substantiated. As a result of the conducted research, the theory*

of abrasive wear was further developed. Recommendations on the choice of materials for obtaining coatings and films have been developed. New methods of preparing specimens for testing materials for wear resistance are proposed. As a result of the study, the distribution of oscillations dampening is obtained depending on the amplitude of the oscillations and the decrease in the molecular component of the friction coefficient. The ranges of values controlled in the experiment are substantiated, measuring devices for laboratory research are recommended. Optimal steel coatings have been selected. Based on the results of the research, three-factor graphs of the dependences of the coefficient of friction on the number of cycles and the amplitude of oscillations are constructed. It is established that over time, the alignment of the surfaces, the friction zone hardening, and the formation of wear particles occur. The process of wear occurs according to the scheme "hardening – lass of strength - destruction". It is proved that an increase in the load leads to an increase in the intensity of wear-and-tear. Simultaneously with an increases in the amplitude of the oscillations, the intensity of wear increases in accordance with the theory of limiting oxygen access to the contact zone during fretting. Theoretical foundations for the production of plastic metal films have been developed.

Keywords: *friction, wear, wear-and-tear, abrasive wear, plastic metal films, method of finishing antifriction nonabrasive treatment (FABO), deposition.*

Введение. В науке о трении, триботехнике развивается синергетический подход к происходящим в зоне трения процессам, предоставляющий возможность более глубокого проникновения в механизм трения. Данный подход демонстрирует, что недостаточно рассматривать трение исключительно в качестве разрушительного процесса, ведь именно благодаря ему создаются безызносные пары трения. Для этого посредством ФАБО за счёт трения получают плёнки пластичных металлов на деталях вращения. В связи с этим актуально нанесение на поверхности трения плёнок мягких металлов, осаждаемых различными технологическими способами. Кроме увеличения площади фактического контакта при фреттинг-износе плёнки играют ещё и демпфирующую роль. Вибрационные, магнитные, электрические и тепловые явления не оказывают непосредственного влияния на процесс трения деталей [1-2]. Последние исследования процесса трения продемонстрировали наличие резервов роста срока службы деталей машин и механизмов. Отметим также наличие колебательных процессов в разнообразных технических устройствах, исследование которых вызывает определенный интерес.

Материалы и методы. В аграрной индустрии используются различные сельскохозяйственные машины и оборудования. Отметим, в частности, что возобновление ресурса лемехов наплавкой по-прежнему остается не решенной до конца задачей как с технологической точки зрения, так и в аспекте знаний механизма изнашивания. Такое положение связано со сложностью проведения экспериментов в полевых условиях, обусловленную, прежде всего, постоянно изменяющимися параметрами испытаний (в основном гранулометрическим составом почвы) [3-4]. Кроме этого, наличие ударных нагружений также накладывает определенные условия к технологии наплавки.

Излагаемые материалы рассматривают некоторые технологические и триботехнические стороны ранее поставленной задачи в особенности при фреттинг-изнашивании. В эксперименте испытывались лемеха с заплавлением лучевидного износа по пяти технологическим вариантам [5]. Общим в этом случае является применение электродов одной марки для конкретного варианта. Износ оценивался чаще всего по утрате объёма испытуемого элемента Δm_i ($\Delta m_i = m_н - m_{iк}$, где $m_н$ – начальный объём испытуемого элемента, $m_{iк}$ – его конечный объём вследствие конкретного числа циклов). Данный фактор не отражает специфичность износа деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, так как критерием предельного состояния служат геометрические размеры [6-10]. Фрикции в комбинации с колебаниями приводят к фреттинг-изнашиванию конструкций трения механизмов и их элементов [11-14], что и выступает предметом нашего исследования.

В результате проведенных исследований получила дальнейшее развитие теория абразивного изнашивания. Разработаны рекомендации по выбору материалов нанесения покрытия пленок и определение допустимой величины износа поверхности шейки коленчатого вала [15]. Предложены новые способы подготовки образцов для испытания материалов на износостойкость [16, 17] на основе уменьшения фреттинг - износа механизмов и их элементов, свойственного

абсолютно всем узлам, подверженных фрикциям разного уровня. Разрабатываемые композиционные покрытия обладают высокой износостойкостью. Сфера использования результатов исследования – сервисные компании.

Анализ результатов изучения процесса фрикционного нанесения наноплёнок мягких композиционных покрытий позволяет утверждать, что получение качественных плёночных слоёв сопряжено с исполнением требования абсолютной адгезии (согласно систематизации Мак-Лина) наносимого покрытия с материалом исследуемого элемента [11], пребыванием поверхностно-активного материала в зоне соприкосновения.

Для надавливания пластичного металла прутка фрикционно-механическим способом прутковым инструментом на циркулирующую цилиндрическую поверхность диска однородным пластом следует осуществить выполнение следующих требований: 1) глицериновая среда микрорезания; 2) условия пластического контакта; 3) условия схватывания пар трения; 4) оптимальные параметры получения плёночного покрытия. Разработана расчётная модель $P\upsilon = bH^{0,4}$, позволяющая рассчитать наиболее выгодные режимы фрикционного нанесения плёнок мягких материалов [11]. Активатором для обычных сталей служил глицерин. Толщина латунной плёнки составляла 0,6...0,9 мкм. Оптимальная шероховатость R_a = 0,08...1,5 мкм. Рациональные параметры нанесения плёнок приведены в таблице 1, установка для ФАБО изображена на рисунке 1.

Таблица 1 - Параметры ФАБО

Материал покрытия	Скорость при вращении υ,м/с	Давление на пруток, Р, МПа	Продольная подача, 10^{-6} м/об	Толщина плёнки, мкм
Латунь	0,50	66	5,0	0,6...0,9

Покрытия в виде латунной плёнки получали с помощью специального приспособления к станку ТВ-7 (рисунок 1). В работе рассмотрено влияние медьсодержащего плёночного покрытия, полученного на обрабатываемой поверхности при использовании ФАБО, на триботехнические характеристики пары трения (рисунок 1).

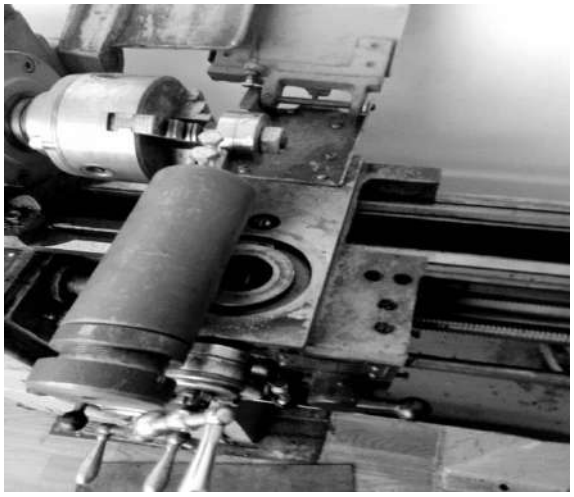


Рисунок 1 – Установка для ФАБО (плёнка из латуни на стали-45)

Испытания получаемых плёнок, описанные в работах [13-14], производили на машинах трения 2070 СМТ-1 и 77-МТ (рисунки 2 и 3) с учетом зависимости износостойкости материала детали от свойств поверхности (структуры, твердости, прочности и т.д.), обусловленных параметрами технологического процесса.

Рисунок 2 – Машина трения СМТ-1

Рисунок 3 – Общий вид установки по изучению фреттингостойкости

В процессе исследования обосновано математическое соотношение величины износа от толщины латунной пленки [15]. Современные экономические условия ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка требуют использования при ремонте и восстановлении изношенных деталей простых, технологичных и доступных методов их восстановления (мы использовали напылённые стальные покрытия) [12-13].

Новизна исследования состоит в изучении теоретических основ повышения износо- и фреттингостойкости узлов механизмов, подвергающихся повторяющимся нагрузкам в неблагоприятной рабочей среде, включающий в себя анализ влияния демпфирующей способности мягких нанопокрытий на износостойкость деталей машин. Разработана методика модифицирования поверхностей с помощью нанопокрытий, которая в свою очередь решает задачу гашения колебаний (демпфирование).

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований получила дальнейшее развитие теория абразивного изнашивания. Разработаны рекомендации по выбору материалов нанесения покрытия пленок и определению допустимой величины. Предложены новые способы подготовки образцов для испытания материалов на износостойкость, что позволило получить распределение гашения колебаний и уменьшение молекулярной составляющей коэффициента трения. Таким образом, были обоснованы диапазоны контролируемых в эксперименте величин и подобраны измерительные приборы для лабораторных исследований. Также частично приводятся результаты, полученные с использованием этих изготовленных установок и обоснованных измерительных схем [16-17].

Для получения наноплёнок толщиной в несколько микрометров использовалось фрикционное нанесение методом ФАБО [12], имеющее при мелкосерийном производстве эколого-экономические преимущества. На стальные пористые покрытия были нанесены латунные плёнки толщиной 0,6...0,9 мкм, способствующие снижению износа до 25…30%.

Приведём теоретическое и экспериментальное обоснование технологии получения медьсодержащих плёнок пластичных металлов методом ФАБО. Пусть имеем вал радиуса R, который вращается вокруг оси с угловой скоростью ω. Обозначим h_0 высоту столбика прутка, истираемого за единицу времени, тода высота столбика прутка, равномерно истираемого со стержня за время t имеет значение: $h = h_0 t$ ($0 \leq t \leq T$). За полный оборот вокруг оси высота истираемого прутка $H = h_0 t$. Толщина r получаемого покрытия в зависимости от коэффициента χ, показывающего долю объёма материала прутка, переходящего в покрытие, будет находиться по формуле:

$$[illegible] \quad (1)$$

Высота стержня прутка h_o, истираемая за единицу времени, изменяется с каждым последующим оборотом цилиндрического образца; при втором проходе частично нанесённая плёнка при первом обороте сглаживается или истирается вовсе и частично наносится некоторый слой, но не так интенсивно, как при первом проходе. В результате получена зависимость толщины слоя г, наносимого на цилиндр при каждом его обороте, имеющая вид:

$$r = \frac{1}{4} [illegible] \quad (2)$$

В формуле присутствуют важнейшие величины, от которых зависит толщина покрытия: температура Т в данный момент времени, коэффициент трения k(T), а также коэффициент износостойкости, зависящий от температуры стержня и его материала, σ - приведённое напряжение, возникающее между трущимися поверхностями.

По результатам исследований построены трёхфакторные графики зависимостей коэффициента трения от числа циклов и амплитуды колебаний. С течением времени происходит приработка поверхностей, упрочнение зоны трения, образование частиц износа. Процесс изнашивания происходит по схеме «упрочнение - разупрочнение - разрушение». Увеличение нагрузки приводит к увеличению интенсивности изнашивания (рисунки 4-5). С увеличением амплитуды колебаний интенсивность изнашивания возрастает, что согласуется с теорией об ограничении доступа кислорода в зону контакта при фреттинге.

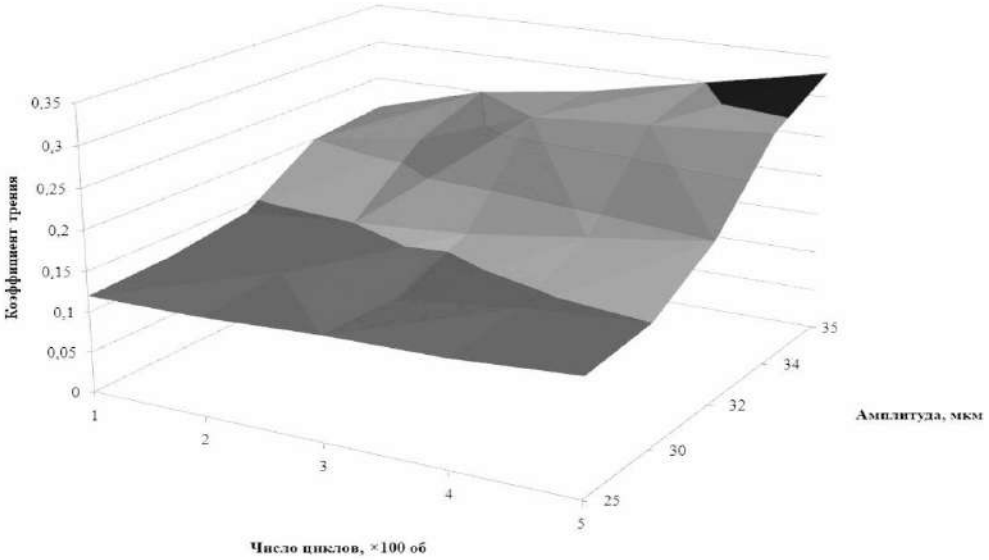


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента трения от амплитуды и числа циклов Ст-45 с медной плёнкой по Ст-45 при нагрузке N = 834 Н

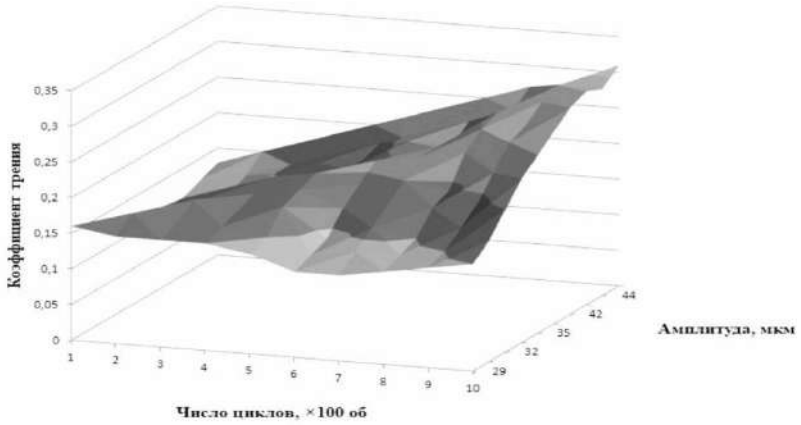


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения от амплитуды и числа циклов стального покрытия по Ст-45 при нагрузке N = 834 Н

Заключение. С увеличением числа циклов увеличивается амплитуда колебаний, что приводит к увеличению коэффициента трения (рисунки 4-5). Это объясняется увеличением градиента распределения контактных давлений в области соприкосновения образцов при фреттинге. С уменьшением амплитуды также уменьшается и коэффициент трения, что объясняется уменьшением площади фактического контакта, а, следовательно, увеличением градиента распределения контактных давлений.

Медная плёнка в начальный момент трения уменьшает коэффициент трения на 30%. При контактировании стали-45 по стали-45 происходит при данной нагрузке моментальное схватывание поверхностей, а взаимодействие стали-45 по стальному покрытию работоспособно довольно продолжительное время. Более того, сталь-45 по стали-45, даже с латунной плёнкой, выдержало без смазки только 500 оборотов, затем происходит схватывание образцов.

Выводы

1. Определен оптимальный состав нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С при котором материал имеет наиболее высокие деформационно-прочностные свойства: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч. ($\varphi_н = 20{,}0 \times 10^{-3}$)

2. Получена регрессионная модель зависимости удельной работы разрушения $\alpha_р$ пленок нового нанокомпозита от температуры и времени термической обработки конвективным способом.

3. Определен оптимальный режим термической обработки эластомерного нанокомпозита: температура T = 140,0^{0}С, время t = 3,0 ч., при котором пленки материала имеют наиболее высокие деформационно-прочностные свойства, $\alpha_р$ = 52,0 МДж/м^3.

Список литературы

1. Плужный лемех (Лемех конструкции Брянской ГСХА): пат. 95285 U1, Рос. Федерация / Михальченков А.М., Будко С.И., Кожухова Н.Ю., Анисин А.Н. № 2010105296/224; заявл. 15.02.2010; опубл. 27.06.2010.

2. Стрельчатая лапа культиватора: пат. 2462852 С1, Рос. Федерация / Михальченков А.М., Ковалев А.П., Будко С.И., Комогорцев В.Ф. № 2011106409/13; заявл. 21.02.2011; опубл. 10.10.2012.

3. Михальченков А.М., Будко С.И., Кожухова Н.Ю. Восстановление и упрочнение лемехов // Сельский механизатор. 2007. № 7. С. 40-41.

4. Михальченков А.М., Будко С.И., Паршиков П.А. Увеличение долговечности плужных лемехов восстановлением их наплавкой и упрочнением сварочным армированием // Вестник Брянской ГСХА. 2005. № 2. С. 46-51.

5. Повышение ресурса деталей из средне- и высокоуглеродистых сталей упрочнением их сварочным армированием / А.М. Михальченков, Д.А. Капошко, С.И. Будко, М.М. Пехтерев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2005. № 1 (4). С. 151-155.

6. Коршунов В.Я., Комаров В.С. Прогнозирование относительной абразивной износостойкости металлов на основе механико-термодинамического подхода к процессу разрушения твердых тел // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2014. № 3. С. 45-48.

7. Коршунов В.Я., Подураев В.Н., Федоров В.В. Термодинамический метод прогнозирования рациональных условий эксплуатации алмазно-абразивного инструмента // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1982. № 2. С. 120.

8. Коршунов В.Я., Гончаров П.Н., Новиков Д.А. Прогнозирование износостойкости и усталостной прочности деталей сельхозмашин на основе кинетического подхода к процессу разрушения металлов // Вестник Брянской ГСХА. 2013. № 2. С. 33-36.

9. Коршунов В.Я. Расчёт предела усталости металлов по величине коэффициента перенапряжений межатомных связей // Вестник машиностроения. 1997. № 9. С. 32.

10. Гончаров П.Н., Коршунов В.Я. Методика проведения экспериментальных исследований износа образцов на машине трения МИ-1М // Вестник Брянской ГСХА. 2014. № 3. С. 67-69.

11. Погонышев В.А. Повышение износостойкости восстановленных узлов трения сельскохозяйственных машин фрикционным нанесением пленок пластичных металлов: автореф. дис. … канд. техн. наук / Калининский ордена трудового красного знамени политехнический институт. Калинин, 1990.

12. Погонышев В.А. Повышение износо- и фреттингостойкости деталей машин модифицированием поверхностей: дис. … докт. техн. наук. Брянск, 2000.

13. Исследование триботехнических характеристик металлических покрытий, нанесённых наплавкой, электродуговым и плазменным напылением / В.А. Погонышев, П.Д. Нетягов, Е.Н. Самсонович, Г.Д. Анцифров // Трение и износ. 1989. Т. 10, № 5. С. 909-912.

14. Погонышев В.А., Ермичев В.А., Храмченков В.С. Технологическое обеспечение фреттингстойкости деталей грузовых автомобилей // Трение и износ. 1998. Т. 19, № 3. С. 398.

15. Погонышев В.А., Логунов В.В. Повышение износостойки шеек коленчатого вала путём нанесения плёнок пластичных металлов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6. С. 47-48.

16. Погонышев В.А., Романеев Н.А. Технологические способы повышения износостойкости поверхностей трения вследствие улучшения их демпфирующих свойств // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6 (102). С. 47-48.

17. Исследование триботехнических характеристик металлических покрытий, нанесенных наплавкой, электродуговым и плазменным напылением / П.Д. Нетягов, В.А. Погонышев, Е.Н. Самсонович, Г.Д. Анциферов// Трение и износ. 1989. Т.10, № 5. С. 909-913.

References

1. Plough lemech (Lemech of the Bryansk GSHA): pat. 95285 U1, Rus. Federation/Mikhalchenkov A.M., Budko S.I., Kozhukhova N.Y u., Anisin A.N. № 2010105296/224; application. 15.02.2010; published 27.06.2010.

2. Strelchataya paw cultivator: pat. 2462852 C1, Rus. Federation/Mikhalchenkov A.M., Kovalev A.P., Budko S.I., Komogortsev V.F. № 2011106409/13; application. 21.02.2011; published 10.10.2012.

3. Mikhalchenkov A.M., Budko S.I., Kozhukhova N.Yu. Restoration and strengthening of ploughshares//Rural machine operator. 2007. № 7. S. 40-41.

4. Mikhalchenkov A.M., Budko S.I., Parshikov P.A. Increasing the durability of plow ploughshares by repairing them and hardening them with welding reinforcement//Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2005. № 2. S. 46-51.

5. Increasing the life of parts from medium and high-carbon steels by strengthening them with welding reinforcement/A.M. Mikhalchenkov, D.A. Kaposhko, S.I. Budko, M.M. Pekhterev//Design, use and reliability of agricultural machines. 2005. № 1 (4). S. 151-155.

6. Korshunov V.Ya., Komarov V.S. Predicting the relative abrasive wear resistance of metals based on a mechanical-thermodynamic approach to the process of destruction of solids//Friction and lubrication in machines and mechanisms. 2014. № 3. S. 45-48.

7. Korshunov V.Ya., Poduraev V.N., Fedorov V.V. Thermodynamic method for predicting rational operating conditions of diamond-abrasive tools//Izvestia of higher educational institutions. Mechanical engineering. 1982. № 2. C. 120.

8. Korshunov V.Ya., Goncharov P.N., Novikov D.A. Prediction of wear resistance and fatigue strength of agricultural machine parts based on the kinetic approach to the metal destruction process//Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2013. № 2. S. 33-36.

9. Korshunov V.Ya. Calculation of the metal fatigue limit by the value of the overvoltage coefficient of interatomic bonds//Bulletin of Mechanical Engineering. 1997. № 9. S. 32.

10. Goncharov P.N., Korshunov V.Ya. Methodology for experimental studies of wear of samples on a friction machine MI-1M//Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2014. № 3. S. 67-69.

11. V.A. Pogonyshev. Improvement of wear resistance of restored friction units of agricultural machines by friction application of plastic metal films: autoreff. dis.... cand. techn. techn. Sciences/Kalinin Order of the Red Banner of Labor Polytechnic Institute. Kalinin, 1990.

12. Pogonyshev V.A. Improvement of wear and fretting resistance of machine parts by surface modification: dis.... Doc. technical sciences. Bryansk, 2000.

13. Investigation of tribotechnical characteristics of metal coatings applied by surfacing, electric arc and plasma spraying/V.A. Pogonyshev, P.D. Netyagov, E.N. Samsonovich, G.D. Antsifrov//Friction and wear. 1989. T. 10, NO. 5. S. 909-912.

14. Pogonyshev V.A., Ermichev V.A., Khramchenkov V.S. Technological support of fretting resistance of truck parts//Friction and wear. 1998. T. 19, NO. 3. S. 398.

15. Pogonyshev V.A., Logunov V.V. Increasing wear resistance of crankshaft journals by applying plastic metal films//Strengthening technologies and coatings. 2013. № 6. S. 47-48.

16. Pogonyshev V.A., Romaneev N.A. Technological methods to increase wear resistance of friction surfaces due to improvement of their damping properties//Strengthening technologies and coatings. 2013. № 6 (102). S. 47-48.

17. Investigation of tribotechnical characteristics of metal coatings applied by deposition, electric arc and plasma spraying/P.D. Netyagov, V.A. Pogonyshev, E.N. Samsonovich, G.D. Antsiferov//Friction and wear. 1989. T.10, No. 5. S. 909-913.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Погонышев Владимир Анатольевич – доктор технических наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», 2а, ул. Советская, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, Россия. E-mail: Pog@BGSHA.com

Мокшин Илья Алексеевич – соискатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», 2а, ул. Советская, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, Россия. E-mail: imokshin_1998@mail.ru

Погонышева Дина Алексеевна – доктор педагогических наук, доцент, профессор ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», 14, ул. Бежицкая, г. Брянск, Россия. E-mail: dinochka32@mail.ru.

Authors credentials

Affiliations

Pogonyshev Vladimir - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University," 2a, st. Sovetskaya, Bryansk region, Vygonichsky district, s. Kokino, Russia. E-mail: Pog@BGSHA.com

Mokshin Ilya - applicant for FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University," 2a, st. Sovetskaya, Bryansk region, Vygonichsky district, s. Kokino, Russia. E-mail: imokshin_1998@mail.ru

Pogonysheva Dina - Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor of FSBEI HE "Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky", 14, st. Bezhetsk, c.Bryansk, Russia.
E-mail: dinochka32@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 13.05.2022

УДК 620.178.325.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-92-102

МЕТОД УСКОРЕННЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

[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 горный университет»

Реферат. *Рассматриваются вопросы долговечности подшипниковых узлов в трансмиссии автомобилей, которая в значительной мере определяется износом посадочных мест подшипников из-за фреттинг-коррозии. Установлено, что их восстановление полимерными материалами может полностью устранить фреттинг-коррозию, существенно увеличить ресурс подшипниковых узлов и снизить затраты на ремонт автомобилей. Долговечность восстановленной посадки зависит от ресурса полимерного слоя между сопрягаемыми поверхностями деталей подшипникового узла и поэтому актуальным вопросом является исследование выносливости новых полимерных материалов при циклическом нагружении. Выявлено, что общим недостатком известных методов усталостных испытаний является ограниченная пригодность для образцов различных типоразмеров (масштабный фактор). Проведен обзор и анализ методов усталостных испытаний и в итоге отобраны: метод Локати, метод одного образца, метод Кудрявцева, метод Кравченко, метод Шубина. Предложен новый метод ускоренных стендовых испытаний на выносливость полимерных материалов в основе которого лежат методы Шубина и Кравченко. Первоначально определяется долговечность полимерных посадок при циклическом нагружении с тремя заданными значениями толщины полимерного покрытия. По результатам стендовых испытаний строится зависимость толщины покрытия от величины обратной количеству циклов нагружения. Максимально допустимую толщину полимерной посадки следует определять экстраполяцией графической зависимости до пересечения ее с осью ординат (толщина покрытия). Метод включает расчет и использование оригинального критерия подобия, что позволит использовать результаты стендовых испытаний для определения максимально допустимой толщины полимерной посадки для любого типоразмера подшипника качения. Контрольный эксперимент подтвердил объективность и корректность нового метода.*

Ключевые слова: *восстановление, подшипник, посадка, полимер, выносливость, испытания.*

ACCELERATED FATIGUE TEST METHOD POLYMER MATERIALS

[1]Li Roman
[2]Psarev Dmitry
[3]Kiba Maria
[1]Melnikov Anton
[1]FSBEI HE "Lipetsk State Technical University"
[2]FGBOU VO "Michurinsky State Agrarian University"
[3]FSBEI HE "St. Petersburg State Mining University"

Abstract. *The issues of durability of bearing assemblies in car transmissions, which are largely determined by the wear of bearing seats due to fretting corrosion, are considered. It has been established that their restoration with polymeric materials can completely eliminate fretting corrosion, significantly*

increase the service life of bearing assemblies and reduce the cost of car repairs. The durability of the restored fit depends on the resource of the polymer layer between the mating surfaces of the parts of the bearing assembly, and therefore the study of the endurance of new polymeric materials under cyclic loading is an urgent issue. t was revealed that a common drawback of the known methods of fatigue testing is the limited suitability for specimens of various sizes (scale factor). A review and analysis of fatigue testing methods was carried out and, as a result, the following were selected: the Lokati method, the one-sample method, the Kudryavtsev method, the Kravchenko method, the Shubin method. A new method of accelerated bench tests for the endurance of polymer materials is proposed, which is based on the methods of Shubin and Kravchenko. Initially, the durability of polymer fits under cyclic loading is determined with three specified values of the thickness of the polymer coating. The maximum allowable thickness of the polymer fit should be determined by extrapolation of the graphical dependence until it intersects with the ordinate axis (coating thickness). The method includes calculating and using the original similarity criterion, which will allow using the results of bench tests to determine the maximum allowable thickness of the polymer fit for any type of rolling bearing size. The control experiment confirmed the objectivity and correctness of the new method.

Keywords: *recovery, bearing, fit, polymer, endurance, testing.*

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20).

Введение. Снижение работоспособности подшипниковых узлов в трансмиссии автомобилей связано прежде всего с износом посадочных мест подшипников из-за фреттинг-коррозии. Использование полимерных материалов для восстановления посадочных мест подшипников качения позволит не только устранить появление фреттинг-коррозии, но и значительно повысит ресурс подшипниковых узлов и снизит затраты на ремонт техники [1-8]. Долговечность восстановленной посадки в этом случае определяется ресурсом полимерного слоя между сопрягаемыми поверхностями деталей подшипникового узла, поэтому исследование стойкости полимерного материала к воздействию циклических нагрузок (выносливости) является актуальной задачей. Исследование выносливости конструкционных материалов осуществляют при усталостных стендовых испытаниях, которые проводят по различным методикам. Известные методы усталостных испытаний имеют общий недостаток: результаты испытаний пригодны для использования в ограниченном диапазоне типоразмеров образцов (масштабный фактор). В работе Щетинина предложено при исследовании выносливости полимерных материалов использовать оригинальный критерий подобия. Им разработаны основы физического моделирования долговечности полимерных посадок подшипников качения при циклическом нагружении [9]. На основе проведенных теоретических исследований с использованием второй теоремы подобия и теории размерности был получен критерий подобия π_1, показывающий взаимосвязь характеристик полимерного слоя с амплитудой напряжений и долговечностью восстановленной полимерной посадки.

$$\pi_1 = \frac{K(hS)^2}{\sigma_a} \tag{1}$$

где h – толщина полимерного слоя, м; S – площадь полимерного слоя, м^2; K – величина, постоянная для данного полимерного материала, $K = \frac{\rho \Delta F}{M}$; ρ – плотность полимерного материала, кг/м^3; M – молярная масса полимерного материала, кг/моль.

Проводятся стендовые испытания долговечности полимерной посадки подшипника определенного типоразмера по методике Шубина [10…13]. По результатам испытаний строится кривая Веллера и определяется максимально допустимая толщина полимерного слоя $[h]$, при которой материал остается работоспособным в течение базы испытаний (330 ч. работы стенда или 5,94×10^7 циклов нагружения). Затем для величины $[h]$ по формуле (1) рассчитывается значение

критерия подобия π_1. Согласно первой теореме подобия, у явлений, подобных в физическом, математическом и т.д. смысле, можно найти определенные сочетания параметров, называемые критериями подобия, имеющие одинаковые значения [2]. Поэтому, используя полученное значение критерия подобия π_1, можно рассчитать максимально допустимую толщину полимерного слоя $[h]$ для подшипника любого типоразмера.

Следует отметить значительные затраты времени на исследование долговечности полимерных покрытий по методике Шубина. Для получения кривой усталости Веллера необходимо проводить испытания в течение 3 - 5 месяцев. Необходим новый метод ускоренных усталостных испытаний, в котором, используя тоже испытательное оборудование, можно будет получить в значительно более короткие сроки достоверную информацию о выносливости полимерных посадок при циклическом нагружении.

Цель исследований – разработать оригинальный метод испытаний на выносливость полимерных материалов на основе известных методов усталостных испытаний

Материалы и методы

Проведены патентный поиск и обзор литературных источников, по итогам которых отобраны наиболее приемлемые на наш взгляд методы ускоренных усталостных испытаний материалов конструкционного назначения.

Метод Локати

Основной критерий для определения предела выносливости при методе Локатти – полное разрушение образца, а также появление микро- или макротрещины в образце.

Метод Локати, главным образом, используется для образцов материал которых, имеюет физический предел выносливости, то есть на графике правая часть ветви кривой выносливости является прямой, параллельной оси абсцисс. Для материалов, не имеющих предела выносливости, могут быть подобраны режимы нагружения и параметры условных кривых выносливости таким образом, чтобы полученные методом Локати оценки были близки к условному пределу выносливости на заданной базе [14].

По этому методу определяют предел выносливости для 1 - 3 образцов. Далее усредняется предел выносливости при ступенчатом увеличении нагрузки. В основе метода лежит гипотеза Пальмгрена-Майнера о линейном характере накопления усталостного повреждения материала, согласно которой степень повреждения материала прямо пропорциональна отношению циклов нагружения n_i при данном уровне напряжения к долговечности N_i, при этом уровне напряжения в условиях постоянной амплитуды. Условие разрушения можно записать в виде

$$\sum_{1}^{k} \frac{n_i}{N_i} = 1, \qquad (2)$$

где k – число уровней напряжений, при которых проводятся испытания.

Метод Локати относится к группе ускоренных методов оценки выносливости. По результатам испытаний образцов при ступенчатом нагружении до излома подсчитывается сумма относительных долговечностей $\sum \frac{n_i}{N_i}$, где значения долговечностей N принимаются из семейства предположительных кривых усталости *а – в* (рисунок 1).

Для построения условных (предполагаемых) кривых выносливости *а, б, в* координатах $\sigma_R - N$ или σ_R – Lg N проводят испытания в следующей последовательности. Кривую *а* строят по результатам испытаний, при которых 95 % образцов разрушилось, в этом случае предел выносливости будет σ_R^a. Кривую *б* строят по результатам испытаний, при которых 50 % образцов разрушилось, в этом случае предел выносливости будет $\sigma_R^б$. Кривую *в* строят по результатам испытаний, при которых 5 % образцов разрушилось, в этом случае пределом выносливости будет значение $\sigma_R^в$ [14].

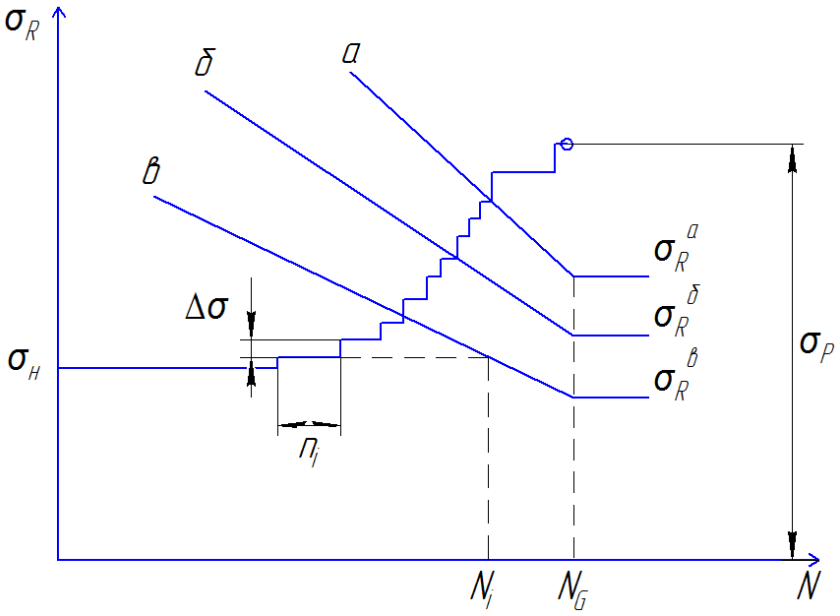


Рисунок 1 - Семейство прямых усталости по методу Локати

Программа испытаний образца должна обеспечить совпадение графика ступенчатого увеличения нагрузки с условными кривыми усталости. Экспериментальные данные обрабатывают по формуле (2) для каждой из трех условных кривых усталости, после проведения испытаний и разрушения образца. Результаты переносят на график в координатах σ_R по оси абсцисс и $\sum \frac{n_i}{N_i}$ по оси ординат (рисунок 2).

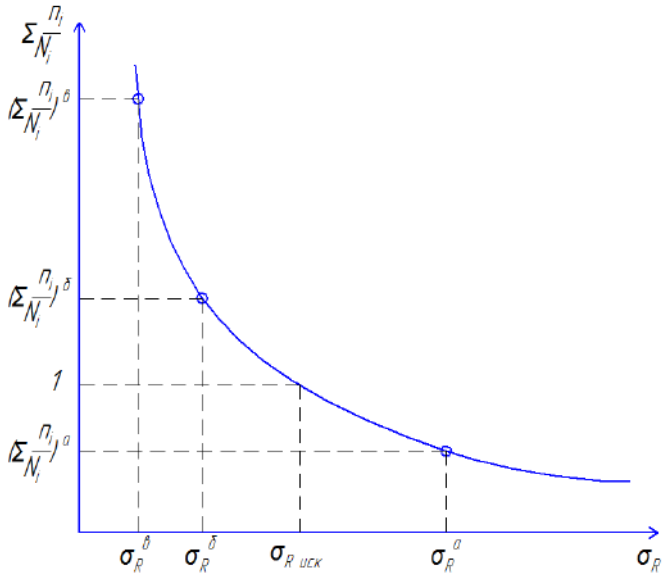


Рисунок 2 - График зависимости $\sum \frac{n_i}{N_i}$ от σ_R

Из точки, на оси ординат равной единице, проводим прямую до пересечения с графиком, опускаем перпендикуляр к оси абсцисс, это и будет искомым пределом выносливости $\sigma_{R\,\text{иск}}$.

Достоинства метода:

1. Достаточно удовлетворительная точность оценки предела выносливости — в пределах ±8%.

2. Большая экономия времени проведения исследований, при известных предположительных кривых усталости *а*, *б* и *в*.

Недостатки метода:

1. Линейный характер накопления усталостных повреждений материала справедлив не для всех исследуемых конструкционных материалов, т.е. $\sum_{1}^{k}\frac{n_i}{N_i}=a,\ a\neq 1$ (a = 0,2…5).

2. Высокая трудоёмкость метода, поскольку требуется большое количество испытаний и образцов для построения кривых усталости *а*, *б* и *в*.

Поэтому представляет научный интерес исследование методов малоцикловых усталостных испытаний.

Метод одного образца

Одним из методов ускоренной (малообразцовой) оценки усталостной прочности является метод одного образца, по которому испытывают на выносливость один образец сначала при напряжении ниже предела выносливости, затем при более высоких напряжениях на той же базе, и т. д., до тех пор, пока он не разрушится. Напряжение, предшествующее тому, при котором произошел излом, принимается за предел выносливости.

В качестве образцов используются детали, сопряжения, образцы круглого и прямоугольного профиля, и, кроме того, образцы с концентраторами напряжений. Ориентировочные значения базы испытания для некоторых объектов из стали: образцы материала – 2×10^6, несварные детали 10^6-5×10^6, сварные соединения 2×10^6-10^7, зубчатые передачи 3×10^6 [15].

Достоинства метода: для испытаний требуется только один образец.

Недостатки метода: в ходе повторных испытаний накапливается усталость, из-за которой найденный предел выносливости будет несколько меньше.

Метод Кудрявцева

Метод Кудрявцева, относящийся к методам ускоренной (малообразцовой) оценки усталостной прочности, основан на нахождении предела выносливости путём экстраполяции точек до пересечения с осью ординат. Испытывают два-четыре образца при $\sigma = 0{,}7\sigma_в$ и при близком к нему значению. Строится график, по оси абцисс откладывают значения σ^2, а по оси ординат значения $\sigma^2\text{Lg}N$ (рисунок 3).

Получают уравнение

$$\sigma^2 = A/(\text{Lg}N - B), \tag{3}$$

где A – отрезок прямой, отсекаемый линей графика по оси ординат; B – тангенс угла наклона прямой графика к оси абцисс.

В функции этой прямой вида $y = kx + b$, $A = b$, $B = k$.

База циклов нагружения в методе Кудрявцева составляет $N = 10^7$. В этом случае, по формуле (3) находят расчетное значение предела выносливости

$$\sigma_7 = \sqrt{A/(7-B)} \tag{4}$$

Затем определяют приближенный предел выносливости, близкий к экспериментальному

$$\sigma_{-1\text{пп}} = \frac{\sigma_7 - 5{,}4}{0{,}755}. \tag{5}$$

В заключении уточняют предел выносливости путем испытания образцов при напряжении $\sigma = \sigma_{-1\text{пп}}$.

Достоинства метода: ускорение испытаний и уменьшение количества опытов.

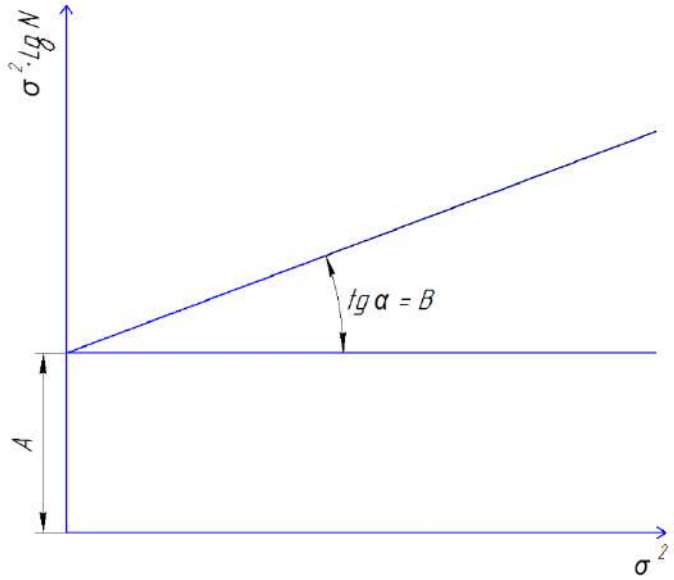


Рисунок 3 - Определение предела выносливости методом Кудрявцева

Недостатки метода: из-за уменьшения количества испытываемых образцов увеличивается погрешность в найденном пределе выносливости.

Метод Кравченко

По методу Кравченко предел выносливости определяют путём получения зависимостей (рисунок 4) напряжения цикла (ось ординат) от величины, обратной числу циклов нагружения (ось абцисс).

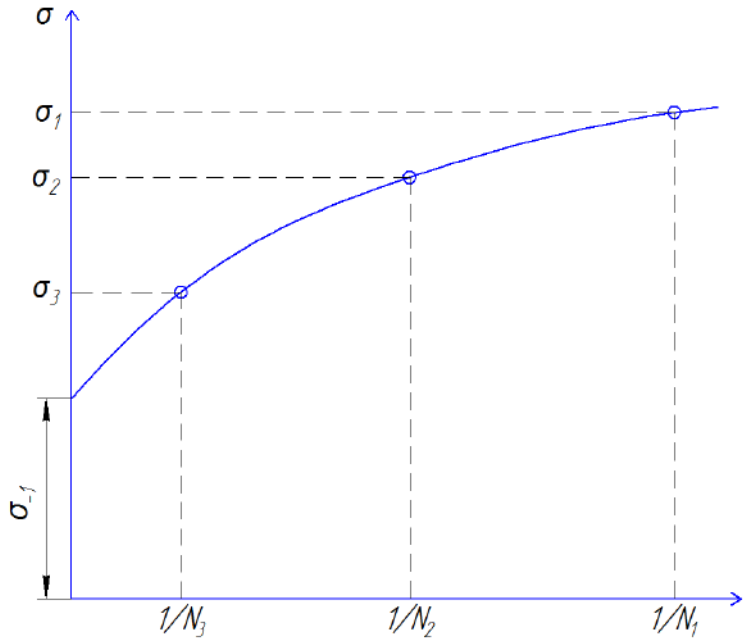


Рисунок 4 - Определение предела выносливости методом Кравченко

Это метод ускоренной (малообразцовой) оценки усталостной прочности материала. Испытывают 2 - 3 образца при напряжениях $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > \sigma_{-1}$. Экстраполирут график по

найденным точкам. Предел выносливости определяется как координата точки пересечения кривой с осью ординат. Абсцисса этой точки равна нулю, что отвечает условию $N = \infty$, а $1/\infty = 0$, то есть стремится к бесконечности. Уточняют предел выносливости испытаниями одного-двух образцов при пределе выносливости, полученном экстраполяцией, то есть $\sigma = \sigma_{-1}$.

Достоинства метода: ускорение испытаний и уменьшение количества опытов.

Недостатки метода: из-за уменьшения количества испытываемых образцов увеличивается погрешность в установленном пределе выносливости.

Обсуждение полученных результатов

Метод Кравченко наиболее перспективен с точки зрения разработки на его основе нового метода ускоренных усталостных испытаний. Между пределом выносливости и толщиной эластомерного покрытия имеется сильно выраженная связь (рисунок 5). Чем меньше толщина покрытия, тем выше предел выносливости. Поэтому предлагается по оси ординат отмечать не напряжения цикла, а толщину эластомерного покрытия. Максимально допустимую толщину полимерной посадки следует определять экстраполяцией зависимости до пересечения ее с осью ординат.

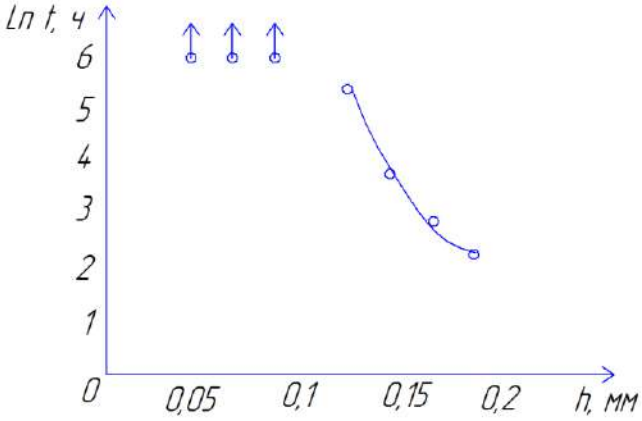


Рисунок 5 - Исследование долговечности по методу Шубина

Метод апробирован в ходе усталостных испытаний покрытий эластомера Ф-40С и нанокомпозита на его основе, наполненного углеродными нанотрубками «Таунит».

На рисунке 6 изображены кривые Веллера, показывающие результаты исследования долговечности при циклическом нагружении посадок подшипников 209 при нагрузке в 20 кН. Испытывались покрытия из эластомера Ф-40С и нанокомпозита на его основе с различной толщиной полимерного.

Толщины покрытий, что находились в работоспособном состоянии по истечении времени базы испытаний, которые составляла $N = 5{,}94 \times 10^7$ циклов нагружения или в переводе на часы – 330 ч работы стенда, отмечены точками с продолжением в виде стрелок.

Данные по зависимости долговечности посадок из полимера и нанокомпозита от толщины полимерного покрытия представлены в таблице 1.

Долговечность посадок из нанокомпозита выше в 1,4-3,3 раза, чем из полимера при одной и той же толщине полимерного покрытия. Так, долговечность полимерных посадок с толщиной полимерного покрытия 0,20 мм наименьшая и составила 8 ч работы стенда, долговечность посадки из нанокомпозита в 3,3 раза больше и составила 29 ч.

Экстраполяция зависимостей по методу Кравченко до пересечения с осью ординат (рисунок 7) показала, что максимально допустимой толщиной покрытия эластомера Ф-40С является $[h] = 0{,}095$ мм, а для нанокомпозита этот параметр увеличился до $[h] = 0{,}115$ мм.

Контрольный эксперимент подтвердил объективность и корректность нового метода.

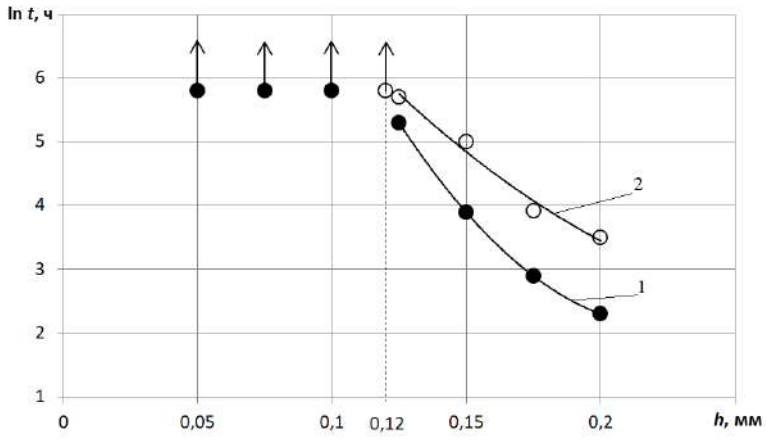
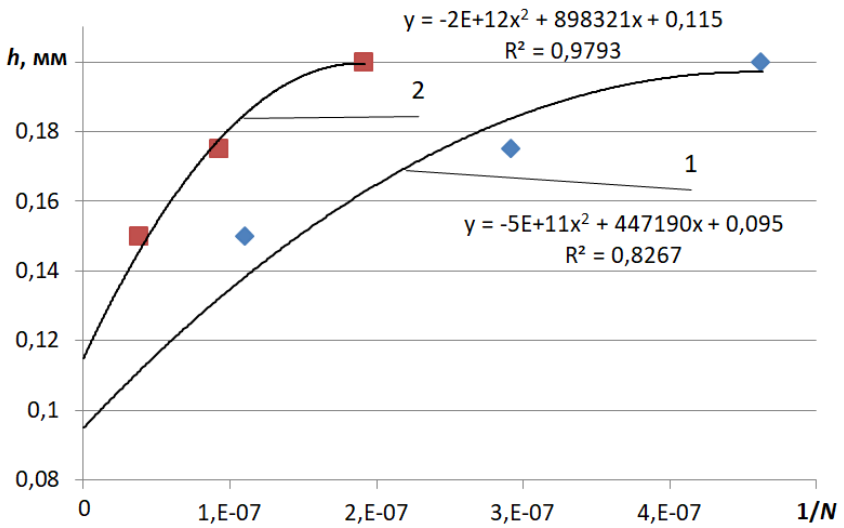


Рисунок 6 – График зависимости долговечности посадок подшипника 209 в корпусной детали от толщины полимерного покрытия *h* при радиальной циклической нагрузке в 20 кН: 1 – эластомер Ф-40С; 2 – нанокомпозит на основе эластомера Ф-40С

Таблица 1 - Долговечности посадок из полимера и нанокомпозита в зависимости от толщины покрытия

№ п/п	Толщина полимерного покрытия, мм	Долговечность посадки,час	
		Из полимера	Из нанокомпозита
1	0,200	8	29
2	0,175	25	60
3	0,150	50	146
4	0,125	210	300



по методу ЛГТУ: 1 – эластомер Ф-40С; 2 – нанокомпозит на основе эластомера Ф-40С

Рисунок 7 - График для определения максимально допустимой толщины полимерного покрытия

Посадки подшипников из эластомера Ф-40С нанокомпозита на его основе, с толщиной полимерного покрытия 0,10 и 0,12 мм, соответственно находились в работоспособном состоянии до завершения стендовых испытаний. Проворот наружного кольца подшипника в посадочном отверстии в течении базы стендовых испытаний 330 ч ($e^{5,8}$ = 330) не наблюдался. Поэтому нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40С рекомендуется восстанавливать изношенные посадочные отверстия в корпусных деталях с диаметральным износом до 0,24 мм.

Заключение.

Таким образом предлагается новый метод ускоренных стендовых испытаний на выносливость полимерных материалов. Первоначально определяется долговечность полимерных посадок при циклическом нагружении с тремя заданными значениями толщины полимерного покрытия. По результатам стендовых испытаний строится зависимость толщины покрытия от величины обратной количеству циклов нагружения. Максимально допустимую толщину полимерной посадки следует определять экстраполяцией графической зависимости до пересечения ее с осью ординат (толщина покрытия). Затем рассчитывают по формуле (1) значение критерия подобия π_1. Формула (1) и значение критерия подобия π_1 позволяют рассчитать максимально допустимую толщину полимерной посадки для любого типоразмера подшипника качения.

Новый метод ускоренных усталостных испытаний полимерных посадок позволит многократно сократить объем и продолжительность экспериментальных исследований материалов.

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. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32). С. 49-54.

3. Коломейченко, А.В. 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. R. I. Li, D. N. Psarev, V. A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.

5. R. I. Li, D. N. Psarev, M. R. Kiba. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 15-19.

6. R. I. Li, D. N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 249–252.

7. Ли, Р.И. Перспективный полимерный материал для восстановления корпусных деталей машин [Текст] / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.В. Мироненко, М.Р. Киба // Клеи. Герметики. Технологии – 2017. – №5. – С. 34-37.

8. Ли, Р.И. Модификация анаэробных герметиков металлическими наночастицами [Текст] / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, В.А. Малюгин // Клеи. Герметики. Технологии – 2019. – №2. – С. 21-27.

9. Щетинин М.В. Восстановление неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивом Анатерм-105: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. – Мичуринск, 2008. – 146 с.

10. Шубин А.Г. Повышение долговечности посадочных отверстий корпусных деталей сельскохозяйственной техники, восстановленных герметиком 6Ф: Автореф. дис.... канд. техн. наук. - М., 1980. – 16 с.

11. Бочаров, А. В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники адгезивами, наполненными дисперсными металлическими порошками [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Бочаров А. В. – Мичуринск, 2009. – 150 с.

12. Бутин, А. В. Повышение эффективности восстановления неподвижных соединений подшипников качения сельскохозяйственной техники полимер-полимерными композициями [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Бутин А. В. – Мичуринск, 2012. – 127 с.

13. 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.

14. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний: справочник. – М.: Металлургия, 1978. – 306 с.

15. Глушкова М.В. Надёжность в технике. Методы ускоренных испытаний на усталость для оценки пределов выносливости материалов, элементов машин и конструкций. Методические указания. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 27 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. ZHachkin S.YU., Pen'kov N.A., Mandrykin I.A., Belencov V.G. Intensifikaciya vosstanovleniya detalej sel'hozmashin dispersno-uprochnennym kompozitnym pokrytiem na osnove hroma // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2019. №3 (32). S. 49-54.

3. Kolomejchenko, A.V. 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. R. I. Li, D. N. Psarev, V. A. Malyugin. A Polymeric Nanocomposite for Fixing Bearings during Assembly and Repair of Equipment. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 261-265.

5. R. I. Li, D. N. Psarev, M. R. Kiba. Teoretical Concerns in Selection of Metall Nanosized Fillers for the F-40 Elastomer Composition. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 15-19.

6. R. I. Li, D. N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 249–252.

7. Li, R.I. Perspektivnyj polimernyj material dlya vosstanovleniya korpusnyh detalej mashin [Tekst] / R.I. Li, D.N. Psarev, A.V. Mironenko, M.R. Kiba // Klei. Germetiki. Tekhnologii – 2017. – №5. – S. 34-37.

8. Li, R.I. Modifikaciya anaerobnyh germetikov metallicheskimi nanochasticami [Tekst] / R.I. Li, D.N. Psarev, V.A. Malyugin // Klei. Germetiki. Tekhnologii – 2019. – №2. – S. 21-27.

9. SHCHetinin M.V. Vosstanovlenie nepodvizhnyh soedinenij podshipnikov kacheniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki adgezivom Anaterm-105: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03. – Michurinsk, 2008. – 146 s.

10. SHubin A.G. Povyshenie dolgovechnosti posadochnyh otverstij korpusnyh detalej sel'skohozyajstvennoj tekhniki, vosstanovlennyh germetikom 6F: Avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk. - M., 1980. – 16 s.

11. Bocharov, A. V. Povyshenie effektivnosti vosstanovleniya nepodvizhnyh soedinenij podshipnikov kacheniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki adgezivami, napolnennymi dispersnymi metallicheskimi poroshkami [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03: / Bocharov A. V. – Michurinsk, 2009. – 150 s.

12. Butin, A. V. Povyshenie effektivnosti vosstanovleniya nepodvizhnyh soedinenij podshipnikov kacheniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki polimer-polimernymi kompoziciyami [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03: / Butin A. V. – Michurinsk, 2012. – 127 s.

13. 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.

14. SHkol'nik L.M. Metodika ustalostnyh ispytanij: spravochnik. – M.: Metallurgiya, 1978. – 306 s.

15. Glushkova M.V. Nadyozhnost' v tekhnike. Metody uskorennyh ispytanij na ustalost' dlya ocenki predelov vynoslivosti materialov, elementov mashin i konstrukcij. Metodicheskie ukazaniya. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1990. – 27 s.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Ли Роман Иннакентьевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: romanlee@list.ru.

Псарев Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Киба Мария Романовна – кандидат технических наук, ассистент, ФГБОУ ВО «СанктПетербургский государственный горный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: damsel_91@mail.ru.

Мельников Антон Юрьевич – аспирант, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Author credentials
Affiliations

Lee Roman – Doctor of Technical Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk, e-mail: romanlee@list.ru.

Psarev Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Michurinsk State Agrarian University, Russia, Michurinsk, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Kiba Maria – Candidate of Technical Sciences, assistant, St. Petersburg State Mining University, Russia, St. Petersburg, e-mail: damsel_91@mail.ru.

Melnikov Anton – post-graduate student, Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk, e-mail: reks1r@yandex.ru

Поступила в редакцию (Received): 24.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.05.2022

УДК 620.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-103-110

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНОАКТИВАЦИИ MoS_2 и МУНТ ДЛЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА И МАСЛА

[1]Щегольков Александр Викторович
[1]Захиват Муртада Мохммед Аттья
[1]Земцова Наталия Викторовна
[1]Щегольков Алексей Викторович
[1]Скоморохова Анастасия Игоревна
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Добиться улучшения свойств мотрого топлива и масла можно путем использования нового поколения присадок, которые смогут улучшить целый ряд функциоанальных показателей. Повышение эффективности присадок может достигаться посредством как применения сочетаний разных видов присадок, обеспечивающих выполнение различных свойств, так и использованием новых эффектов реализуемых при переходе к наноразмерной форме. Так, к одним из наноразмерных материалов, которые могут быть использованы в сочетании с дисульфидом молибдена (MoS_2), относятся многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ). Введение MoS_2 и МУНТ в мотороное топливо и масло целесообразно организовать с применением комбинированного способа диспергирования и механоактивирования, которое может быть реализовано в аппаратах с вихревым электромагнитным полем. Такие аппараты позволяют осуществлять механическое воздействие за счет перемещения тел помола в переменном электромагнитном поле. Это обеспечивает разбиение агломератов в МУНТ и измельчение MoS_2, что повышает эффективность этих присадок и снижает их концуентрацию в мотороное топливо и масло. В работе представлено математическое описание протекания процесса механоактивации. Измельчение дисперсного материала представлено в виде матриц и приведено уравнения движения тел помола в вихревом слое. Описан принцип работы аппарата вихревого слоя (АВС) и рассмотрены электромагнитные процессы в обмотках статора АВС. Проведен анализ устройства терморегулирования АВС с неявно полюсным индуктором. Разработанное математическое описание процесса механоактивации моторного топлива и масла позволяет учитывать ряд факторов, оказывающих влияние на режимы работы установки для механоактивации.*

Ключевые слова: *аппараты вихревого слоя, механоактивация, дисульфид молибдена, моторное масло, дизельное топливо, углеродные наноструктуры, математическое моделирование.*

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF MECHANICAL ACTIVATION OF MoS_2 AND MWCNT FOR MOTOR FUEL AND OIL

[1]Shchegolkov Alexander
[1]Zahiwat Murtada Attya
[1]Zemtsova Natalia
[1]Shchegolkov Alexey
[1]Skomorokhova Anastasia
FGBOU VO "Tambov State Technical University"

Abstract. *It is possible to improve the properties of motor fuel and oil by using a new generation of additives that can improve a number of functional indicators. Increasing the efficiency of additives can be achieved through both the use of combinations of different types of additives that provide different properties, and the use of new effects realized during the transition to a nanoscale form. Thus, one of the nanoscale materials that can be used in combination with molybdenum disulfide (MoS_2) are multi-walled*

carbon nanotubes (MWCNTs). The introduction of MoS_2 and MWCNTs into motor fuel and oil is advisable to organize using a combined method of dispersion and mechanical activation, which can be implemented in devices with a vortex electromagnetic field. Such devices allow mechanical action by moving the grinding bodies in an alternating electromagnetic field. This breaks up agglomerates into MWCNTs and reduces MoS_2, which increases the effectiveness of these additives and reduces their concentration in motor fuel and oil. The paper presents a mathematical description of the process of mechanical activation. The grinding of a dispersed material is presented in the form of matrices and the equations of motion of a ferromagnetic particle in a vortex layer are given. The principle of operation of the vortex layer apparatus (VLA) is described and the electromagnetic processes in the stator windings of the VLA are considered. An analysis of the VLA thermal control device with an implicitly pole inductor was carried out. The developed mathematical description of the process of mechanical activation of motor fuel and oil makes it possible to take into account a number of factors that affect the operating modes of the installation for mechanical activation.

Keywords: *vortex layer devices, mechanical activation, molybdenum disulfide, motor oil, diesel fuel, carbon nanostructures, mathematical modeling*.

Введение. Доля дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) как в автотранспортной технике, так и системах электрогенерации достаточно высока, поэтому повышение срока и эффективности их эксплуатации является актуальной темой исследований. При этом эксплуатация дизельных ДВС сопровождается выбросами токсичных газов в окружающую среду [1]. Технология ресурсосбережения и повышения экологической эффективности транспортных средств основана на применении дизельного топлива и моторного масла с высокими удельными характеристиками, что в первую очередь связано с правильным подбором и сочетанием различных типов присадок. Присадки для дизельного топлива могут отличаются как свойствами, так и целевым назначением [2]. Следует отметить, возможность создания присадок для дизельного топлива на альтернативной основе биологического происхождения [3].

Высокую эффективность в качестве добавки в моторное масло показывает дисульфид молибдена (MoS_2). MoS_2 относится к классу эффективных химических элементов, которые могут быть использованы для улучшения свойств как моторного масла, так и дизельного топлива [4-5], в том числе биотоплива. В моторном масле массовая концентрации MoS_2 находится в диапазоне от 0,08 до 0,16 мас.% при размере частиц менее 0,5 мкм. MoS_2 при размере частиц менее 0,5 мкм эффективно прокачивается в системе фильтрации моторного масла с размером фильтрующих отверстий в пределах 15-25 мкм.

С целью улучшения свойств автомобильных нефтепродутов могут использоваться новые методы, основанные на практике и теории нанотехнологии [6, 7]. Авторы работы [8] проводили исследования по определению трибологических характеристик MoS_2 с помощью четырехшарикового триботестера. Коэффициент трения (COF) и средний диаметр следа износа (WSD) антифрикционных присадок были проанализированы посредством трибологических исследований скорости износа и следа износа на изношенной поверхности шарикоподшипников. Установлено, что наличие MoS_2 в смазке улучшает коэффициент трения и вязкость на 10,25 % и 10,6 % соответственно.

Наноразмерные добавки в моторное топливо могут способствовать снижению концентрации токсичных составляющих выхлопных газов и повышению мощности ДВС [9].

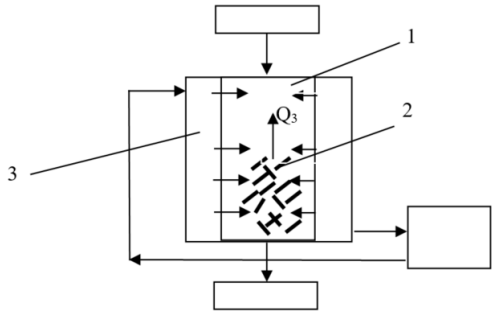
Адаптацию свойств дисперсных структур для различных нефтепродуктов можно осуществлять при использовании технологии механоактивации, которая позволяет повысить активность МУНТ при разбиении агломератов [10]. Механоактивация MoS_2 и МУНТ возможна, как в жидкости – топливе или моторном масле, так и в сухом состоянии с последующей стадией перемешивания [10].

Процессы механического воздействия сопровождаются тепловыми выделениями, и в этом отношении следует провести исследования распределения температурного поля при механической активации таких материалов, как MoS_2 и МУНТ. Эффективность применения MoS_2 показывает потенциальные возможности применения такой технологии [11].

Теоретические вопросы измельчения дисперсных материалов рассмотрены в работах [12,13]

Цель работы заключается в разработке математического описания процесса механоактивации MoS_2 и МУНТ в дизельном топливе и моторном масле.

Материалы и методы. Схема АВС (аппарат вихревого слоя) представлена на (рисунок 1). Для запуска АВС в рабочий режим запускают охлаждение индукторов 3, затем на них подают питающее трехфазное напряжение и одновременно подачу обрабатываемого продукта в рабочую камеру 1. Электромагнитное поле взаимодействуя на тела помола 2 интенсифицирует их движение совместно с измельчаемым материалом.



1 – труба; 2 – ферромагнитные частицы; 3 – индуктор (статор)

Рисунок 1 – АВС с неявнополюсным статором

Тела помола для АВС имеют вид стержней. Определение необходимой массы и геометрических параметров тел помола могут использоваться наработки, представленные в исследованиях [13].

Рабочая зона АВС имеет вид цилиндра, в которой наводится вращающееся электромагнитное поле, воздействующее на тела помола. В процессе взаимодействия электромагнитного поля с телами помола реализуются различные процессы и в том числе появляются акустические эффекты в ультразвуковом диапазоне частот, а также формируется тепловое поле, которое совместно с механическими процессами активно воздействует на диспергируемый материал - тем самым обеспечивая изменение его исходных физико-химических свойств.

Основной задачей АВС является измельчение дисперсной структуры в управляемом режиме. Для оценки эффективности измельчения необходимо использовать системный подход - при котором можно выявить факторы, влияющие на протекание процесса измельчения.

В работах [12, 13] процесс измельчения дисперсного материала описан в виде матриц. Материальный баланс для диспергируемой системы имеет вид:

$$\sum_j^m M_j = M, \tag{1}$$

где M_j – масса фракции j MoS_2 и МУНТ, кг; M – общая масса MoS_2 и МУНТ, кг.

Поделив уравнение (1) на M, получим

$$\sum_j^m f_j = 1, \tag{2}$$

где безразмерные величины $f_j = M_j/M$ образуют нормированное распределение частиц по размерам.

Вектор-столбец распределения частиц по размерам, имеет вид:

$$\mathbf{f} = [f_i] = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_m \end{bmatrix}. \tag{3}$$

Матрица измельчения **P** с (p_{kj}) позволяет оценить значение не механоактивированного состава j MoS_2 и МУНТ, переходящего после механоактивации в состояние с меньшими размерами MoS_2 и МУНТ:

$$\mathbf{P} = \left[p_{kj}\right] = \begin{bmatrix} p_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ p_{21} & p_{22} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & p_{m3} & \cdots & p_{mm} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Используя селективную **S** и распределительную **B** функции [13], можно получить выражение:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{I} - \mathbf{S}) + \mathbf{BS}, \quad (5)$$

где **I** – единичная матрица; **S** – диагональная матрица вероятностей измельчения; **B** – матричное выражение для распределительной функции измельчения.

Параметры выражения (7) в матричной форме:

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & S_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & S_m \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ b_{21} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ b_{31} & b_{32} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{m,m-1} & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

По данным представленным в работе [14] движение тел помола в вихревом слое АВС описывается следующими уравнениями:

$$m \cdot \left(r^n - r \cdot \varphi^2\right) = F_r \cdot \left(1 - \frac{K}{K_{кр}}\right) \cdot n_1, \quad (9)$$

$$\frac{m}{r} \cdot \frac{d}{dt} \cdot \left(r^2 \cdot \varphi\right) = F_\varphi \cdot \left(1 - \frac{K}{K_{кр}}\right) \cdot n_2, \quad (10)$$

где F_r, F_φ, M – постоянные величины, характеризующие максимальное значение сил и моментов; K – коэффициент заполнения рабочей камеры телами помола; n_1, n_2 – случайные функции, подчинённые нормальному закону распределения; m – математическое ожидание радиальной составляющей скорости частицы; φ – угол между вектором магнитного момента частицы и вектором напряжённости магнитного поля; r – расстояние от центра расточки индуктора; $K_{кр}$ – суммарный электромагнитный момент, действующий на тела помола, равен их сумме:

$$Mr = Ma + Mb + Mc. \quad (11)$$

где Ma, Mb, Mc – вращающие моменты фаз a, b, c ротора.

В работе [14] дано описание движения тел помола, при котором их пространственное изменение положения носит хаотический характер с сооударениями между собой, стенками

рабочей камеры при постоянном взаимодействием с измельчаемым материалом. Для оценки параметров электромагнитного поля индуктора (статора) рассмотрим электрическую схему на рисунке 2а, которая включает три ветви, два узла и три контура.

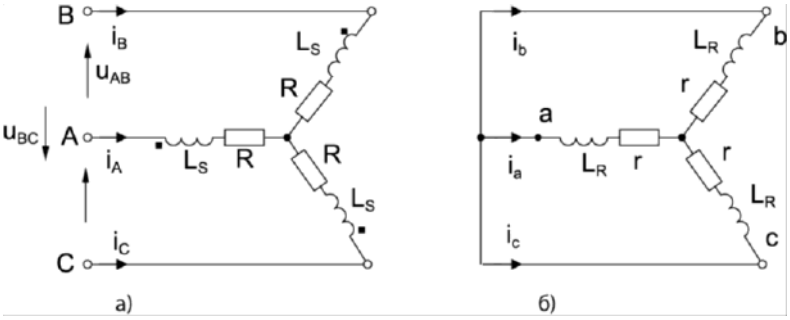


Рисунок 2 – Схемы обмоток: (а) статора; (б) ротора.

Для описания электромагнитных процессов в обмотках статора (индуктора) ABC использовано уравнение, записанное на основе первого закона Кирхгофа:

$$i_A + i_B + i_C = 0, \tag{12}$$

Дифференциальные уравнения для всех трех контуров обмоток ABC.

$$\begin{aligned} e_A &= -\frac{d}{dt}\cdot\left(M_{Aa}i_a + M_{Ab}i_b + M_{Ac}i_c\right), \\ e_B &= -\frac{d}{dt}\cdot\left(M_{Ba}i_a + M_{Bb}i_b + M_{Bc}i_c\right), \\ e_C &= -\frac{d}{dt}\cdot\left(M_{Ca}i_a + M_{Cb}i_b + M_{Cc}i_c\right), \end{aligned} \tag{13}$$

где M_{qk} — взаимоиндуктивность обмотки фазы q статора и обмотки фазы k ротора ($q = A, B, C$; $k = a, b, c$);

На следующем этапе проведем анализ устройства охлаждения аппарата вихревого слоя с неявно полюсным индуктором. Схема теплового баланса показана на (рисунок 3).

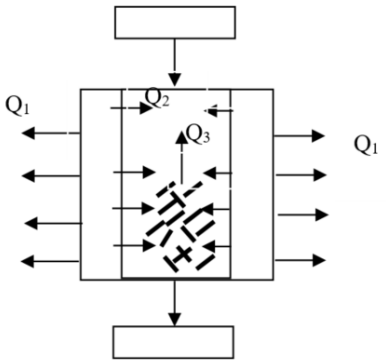


Рисунок 3 – Схема ABC с неявно полюсным индуктором для составления теплового баланса

Рассмотрим тепловой баланс для аппарата механоактивации, при этом условимся, что распределение температуры в объёме аппарата – равномерное. Пусть изменение температуры происходит за время $d\tau$ на величину dT. Тепловая энергия в рассматриваемом объеме аппарата увеличивается от $T_ж$ до $T_ж+dT_ж$.

Дифференциальные уравнения, описывающие теплообмен в АВС имеют вид:

$$\left.\begin{aligned}
&\rho_{т.п.}C_{т.п.}h_{т.п.}F_{т.п.}\frac{dT_{т.п.}}{d\tau}=\left(P_{эф}+P_a\right)-K_{1-2}F_1\left(T_{т.п.}-T_ж\right)-K_1F_{11}\left(T_{т.п.}-T_{ст.апп}\right);\\
&\rho_а C_а h_а F_а\frac{dT_а}{d\tau}=K_{1-2}F_1\left(T_{т.п.}-T_ж\right)-K_{2-3}F_2\left(T_{ст.апп}-T_ж\right);\\
&\rho_ж C_ж V_ж\frac{dT_ж}{d\tau}=K_{2-3}F_2\left(T_{ст.апп}-T_ж\right)-K_3F_2\left(T_ж-T_{окр}\right);\\
&\text{начальные условия}:\tau>0;\ T_{т.п.}=T_ж=T_a=+20°\text{C};\ T\equiv T\left(\tau\right);\\
&\textit{параметры варьирования}:P_а;\ P\equiv P\left(T\right)
\end{aligned}\right\}\qquad(14)$$

где $F_{тел.п.}$, $F_{ст.апп}$, $F_{нар.ст}$, $F_{дисп.мат}$,– площади тел помола, стенок аппарата, диспергируемого материала, м^2; $P_{эф.}$, $P_{а.}$ – тепловой эффект возникающий при трении и соударении тел помола и от обмоток аппарата, Вт; $T_{т.п.}$, $T_а$, $T_ж$, $T_{окр}$ – температура тел помола, аппарата, жидкости и окружающей среды, °С; $C_{т.п.}$, $C_а$, $C_ж$ – теплоемкость тел помола, аппарата, жидкости, Дж/(кг·°С); K_{1-2}, K_{2-3}, K_1,– коэффициенты теплопередачи от тел помола к жидкости, от жидкости стенкам аппарата, от стенок аппарата в окружающую среду, , Вт/(м^2·°С); $\rho_{т.п.}$, $\rho_а$, $\rho_ж$ – плотности материала тел помола, аппарата и жидкости, кг/м^3; $h_{т.п.}$, $h_а$ – высоты внутренней камеры аппарата и тел помола, м; $V_ж$ – объем жидкости, м^3; τ – время, с.

Результаты и их обсуждение. Разработана методика математического моделирования, которая учитывает процессы диспергирования MoS_2 и МУНТ, а также конструктивные параметры АВС с неявно полюсным индуктором. Механоактивация обеспечивает разбиение агломератов в МУНТ и измельчение MoS_2, что повышает эффективность этих присадок и снижает их концуентрацию в мотороное топливо и масло. Измельчение дисперсного материала представлено в виде матриц и приведено уравнения движения тел помола в вихревом слое. Описан принцип работы аппарата вихревого слоя (АВС) и рассмотрены электромагнитные процессы в обмотках статора АВС. Проведен анализ устройства терморегулирования АВС с неявно полюсным индуктором. Разработанное математическое описание процесса механоактивации моторного топлива и масла - позволяет учитывать ряд факторов, оказывающих влияние на режимы работы установки для механоактивации.

Заключение. Предложенное математическое описание процесса механоактивации дизельного топлива и моторного масла может быть использовано для учета некоторых факторов, оказывающих влияние на работу установки для механоактивации. Это позволит повысить эффективность распределения MoS_2 и МУНТ в дизельном топливе и моторном масле, тем самым обеспечивая улучшение их качества.

Список литературы

1. Данилов А. М. Новый взгляд на присадки к топливам (Обзор) // Нефтехимия. – 2020. – Т. 60. – № 2. – С. 163-171. – DOI 10.31857/S0028242120020033.

2. Impact of additives on Combustion, performance and exhaust emission of biodiesel fueled direct injection diesel engine / M. Nagappan, A. Devaraj, J. M. Babu [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2022. – DOI 10.1016/j.matpr.2022.04.114.

3. A critical investigation on viscosity and tribological properties of molybdenum disulfide nano particles on diesel oil / P. Ramesh, G. S. Krishnan, J. P. Kumar [et al.] // Materials Today: Proceedings, Chennai, 20–22 April 2020. – Chennai, 2020. – P. 1830-1833. – DOI 10.1016/j.matpr.2020.10.718.

4. A critical investigation on viscosity and tribological properties of molybdenum disulfide nano particles on diesel oil / P. Ramesh, G. S. Krishnan, J. P. Kumar [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 43. – P. 1830-1833. – DOI 10.1016/j.matpr.2020.10.718.

5. Tomar M., Kumar N. Effect of multi-walled carbon nanotubes and alumina nano-additives in a light duty diesel engine fuelled with schleichera oleosa biodiesel blends // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2020. – Vol. 42. – P. 100833. – DOI 10.1016/j.seta.2020.100833.

6. Tribological analysis of advanced microwave synthesized Molybdenum disulfide (MoS2) as anti-friction additives in diesel engine oil for military vehicles / N. Thachnatharen, M. Khalid, S. Shahabuddin [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2022. – DOI 10.1016/j.matpr.2022.03.692.

7. Hatami M., Hasanpour M., Jing D. Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part I: Nano-fuels // Journal of Molecular Liquids. – 2020. – Vol. 318. – P. 114250. – DOI 10.1016/j.molliq.2020.114250.

8. Анализ тепловых процессов при механоактивации MoS2 и МУНТ / А. С. Щегольков, М. М. А. Захиват, Н. В. Земцова, А. В. Щегольков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2021. – Т. 83. – № 4(90). – С. 290-294. – DOI 10.20914/2310-1202-2021-4-290-294.

9. Щегольков А. В. Многоступенчатая механоактивация МУНТ для улучшения перколяционных переходов в системе эластомер/МУНТ: подходы для реализации и практика модификации эластомеров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т. 19. – № 2. – С. 58-67.

10. Molybdenum disulfide-based hybrid materials as new types of oil additives with enhanced tribological and rheological properties / Z. Bojarska, J. Kopytowski, M. Mazurkiewicz-Pawlicka [et al.] // Tribology International. – 2021. – Vol. 160. – P. 106999. – DOI 10.1016/j.triboint.2021.106999.

11. Математическая модель процесса измельчения / С.М. Техов, С.И. Шишкин, М.Д. Барский, И.И. Брод // Межвуз. сб. науч. тр. Техника и технология сыпучих материалов. – Иваново, 1991. – С. 29-32.

12. Mizonov V., Zhukov V., Bernotat S. Simulation of Grinding: New Approaches. – ISPEU Press, 1997. – 108 p.

13. Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем. – Киев: Издательство «Техніка», 1976. – 144 с.

References

1. Danilov A. M. Novyj vzgljad na prisadki k toplivam (Obzor) // Neftehimija. – 2020. – T. 60. – No. 2. – P. 163-171. – DOI 10.31857/S0028242120020033.

2. Impact of additives on Combustion, performance and exhaust emission of biodiesel fueled direct injection diesel engine / M. Nagappan, A. Devaraj, J. M. Babu [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2022. – DOI 10.1016/j.matpr.2022.04.114.

3. A critical investigation on viscosity and tribological properties of molybdenum disulfide nano particles on diesel oil / P. Ramesh, G. S. Krishnan, J. P. Kumar [et al.] // Materials Today: Proceedings, Chennai, 20–22 April 2020. – Chennai, 2020. – P. 1830-1833. – DOI 10.1016/j.matpr.2020.10.718.

4. A critical investigation on viscosity and tribological properties of molybdenum disulfide nano particles on diesel oil / P. Ramesh, G. S. Krishnan, J. P. Kumar [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 43. – P. 1830-1833. – DOI 10.1016/j.matpr.2020.10.718.

5. Tomar M., Kumar N. Effect of multi-walled carbon nanotubes and alumina nano-additives in a light duty diesel engine fuelled with schleichera oleosa biodiesel blends // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2020. – Vol. 42. – P. 100833. – DOI 10.1016/j.seta.2020.100833.

6. Tribological analysis of advanced microwave synthesized Molybdenum disulfide (MoS2) as anti-friction additives in diesel engine oil for military vehicles / N. Thachnatharen, M. Khalid, S. Shahabuddin [et al.] // Materials Today: Proceedings. – 2022. – DOI 10.1016/j.matpr.2022.03.692.

7. Hatami M., Hasanpour M., Jing D. Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part I: Nano-fuels // Journal of Molecular Liquids. – 2020. – Vol. 318. – P. 114250. – DOI 10.1016/j.molliq.2020.114250.

8. Analiz teplovyh processov pri mehanoaktivacii MoS2 i MUNT / A. S. Shhegol'kov, M. M. A. Zahivat, N. V. Zemcova, A. V. Shhegol'kov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij. – 2021. – T. 83. – No. 4(90). – P. 290-294. – DOI 10.20914/2310-1202-2021-4-290-294.

9. Shhegol'kov A. V. Mnogostupenchataja mehanoaktivacija MUNT dlja uluchshenija perkoljacionnyh perehodov v sisteme jelastomer/MUNT: podhody dlja realizacii i praktika modifikacii jelastomerov // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. – 2021. – T. 19. – No. 2. – P. 58-67.

10. Molybdenum disulfide-based hybrid materials as new types of oil additives with enhanced tribological and rheological properties / Z. Bojarska, J. Kopytowski, M. Mazurkiewicz-Pawlicka [et al.] // Tribology International. – 2021. – Vol. 160. – P. 106999. – DOI 10.1016/j.triboint.2021.106999.

11. Matematicheskaja model' processa izmel'chenija / S.M. Tehov, S.I. Shishkin, M.D. Barskij, I.I. Brod // Mezhvuz. sb. nauch. tr. Tehnika i tehnologija sypuchih materialov. – Ivanovo, 1991. – P. 29-32.

12. Mizonov V., Zhukov V., Bernotat S. Simulation of Grinding: New Approaches. – ISPEU Press, 1997. – 108 p.

13. Logvinenko D.D., Sheljakov O.P. Intensifikacija tehnologicheskih processov v apparatah s vihrevym sloem. – Kiev: Izdatel'stvo «Tehnika», 1976. – 144 p.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

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

Захиват Муртада Мохммед Аттья – студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Земцова Наталия Викторовна – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Щегольков Алексей Викторович – исследователь Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

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

Zahivat Murtada Mohmmed Attya is a student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov.

Zemtsova Natalia Viktorovna – post-graduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov.

Shchegolkov Aleksey Viktorovich – researcher of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: nasta373@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 25.05.2022

УДК 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-111-119

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА, ОБРАБОТАННОГО В КОМБИНИРОВАННОМ СМЕСИТЕЛЕ

[1]Мещеряков Александр Геннадьевич
[1]Мещерякова Юлия Владимировна
[1]Нагорнов Станислав Александрович
[1]Корнев Алексей Юрьевич
[1]Ликсутина Анна Павловна
[1]Ложкина Екатерина Богдановна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Дизельное смесевое топливо нашло широкое применение в сельскохозяйственной отрасли. В качестве добавки в смесевое топливо используются растительные масла или метиловые эфиры растительных масел. Применение такого вида топлива способствует снижению выбросов в отработанных газах автотракторной техники, снижению содержания серы, сокращению использования нефтяных ресурсов, улучшению экологической обстановки региона. Однако, получаемое дизельное смесевое топливо обладает повышенной вязкостью по сравнению с исходным дизельным топливом. Для устранения этого недостатка применяются различного рода комбинированные устройства. В статье рассматривается модульный комбинированный смеситель, позволяющий не только получать дизельное смесевое топливо, но и обрабатывать его, воздействовать на его состав и структуру. Комбинированный смеситель состоит из нескольких составных модулей, позволяющих оказывать гидродинамическое, кавитационное, ультразвуковое воздействие на топливо. Проводили хроматографическое исследование топлив (дизельного топлива, масла рыжика, биодизельного топлива и 20% дизельного смесевого топлива) до обработки и после. После комбинированной обработки в модуль-смесителе 20% дизельного смесевого топлива, наблюдалось уменьшение легкой (на 0,19 %) и тяжелой (на 3,61%) фракции, увеличение средней фракции (на 3,78 %). Т.е. происходит «нормализация» фракционного состава дизельного топлива. Это объясняется разрывом межмолекулярных связей, активации, рекомбинации и уменьшению двойных связей в жирнокислотных остатках непредельных кислот. Таким образом, обработка в комбинированном модуль-смесителе с применением ультразвукового модуля позволяет эффективно перемешивать, улучшать физико-химические показатели и состав получаемого дизельного смесевого топлива.*

Ключевые слова: *комбинированная обработка, хроматограмма, дизельное смесевое топливо, ультразвук.*

INVESTIGATION OF DIESEL MIXED FUEL PROCESSED IN A COMBINED MIXER

[1]Meshcheryakov Alexander
[1]Meshcheryakova Yulia
[1]Nagornov Stanislav
[1]Kornev Alexey
[1]Lixutina Anna
[1]Lozhkina Ekaterina
[1]All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculture

Abstract*. Diesel mixed fuel has found wide application in the agricultural industry. Vegetable oils or methyl esters of vegetable oils are used as an additive to the mixed fuel. The use of this type of fuel helps to reduce emissions in the exhaust gases of automotive equipment, reduce sulfur content, reduce the use of oil resources, and improve the environmental situation of the region. However, the resulting diesel*

mixed fuel has an increased viscosity compared to the original diesel fuel. To eliminate this disadvantage, various kinds of combined devices are used. The article considers a modular combined mixer that allows not only to obtain diesel mixed fuel, but also to process it, affect its composition and structure. The combined mixer consists of several composite modules that allow for hydrodynamic, cavitation, and ultrasonic effects on the fuel. Chromatographic examination of fuels (diesel fuel, ginger oil, biodiesel and 20% diesel mixed fuel) was carried out before and after treatment. After the combined treatment of 20% diesel mixed fuel in the mixer module, there was a decrease in the light (by 0.19%) and heavy (by 3.61%) fractions, an increase in the average fraction (by 3.78%). That is, the fractional composition of diesel fuel is "normalized". This is due to the breaking of intermolecular bonds, activation, recombination and reduction of double bonds in fatty acid residues of unsaturated acids. Thus, processing in a combined mixer module with the use of an ultrasonic module makes it possible to mix efficiently, improve the physico-chemical parameters and composition of the resulting diesel mixed fuel.

Keywords: *combined treatment, chromatogram, diesel mixed fuel, ultrasoundel.*

Введение. Дизельное смесевое топливо, состоящее из минерального дизельного топлива и компонентов на основе возобновляемого сырья – растительного масла, спирто-масляной эмульсии или моноалкиловых эфиров жирового сырья, получают либо в стационарных реакторах, либо непосредственно на транспорте, где оно применяется. Для этого, как правило, используется два топливных бака – один для дизельного топлива, другой – для биодобавки, и устройство смешения, которое либо монтируется на топливной магистрали, либо впрыскивает компоненты дизельного смесевого топлива в камеру сгорания [1].

Применение такого вида топлива способствует сокращению использования нефтяных ресурсов, уменьшению содержания серы в топливе, снижению выбросов вредных веществ с отработавшими газами автотракторной техники, а в целом – улучшению экологической обстановки в хозяйствах региона, что особенно важно для развития экологически чистого (органического) сельского хозяйства.

Одной из проблем такого рода топлив, особенно при использовании необработанных растительных масел является повышенная вязкость получаемого дизельного смесевого топлива по сравнению с исходным дизельным топливом. Для устранения этого недостатка применяются различного рода специализированные устройства, имеющие различные принципы воздействия – гидродинамическое, электромагнитное, ультразвуковое и т.п. [2-3]. Использование каждого из типов воздействия в отдельности имеет определенный положительный эффект и обеспечивает достаточное перемешивание компонентов смесевого топлива, но слабо влияет на состав и структуру самих компонентов смесевого топлива.

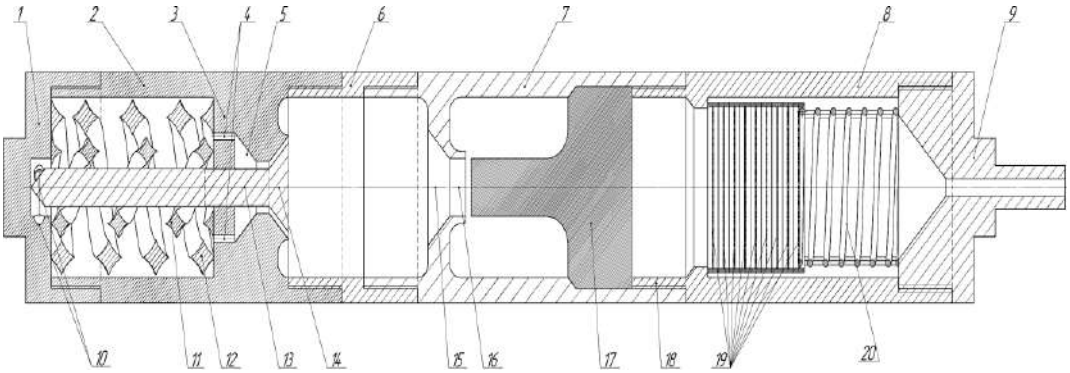
Разработанный лабораторией использования моторного топлива ФГБНУ ВНИИТиН комбинированный смеситель-активатор позволяет не только получать смесевое топливо, но и обрабатывать его, влияя на структуру и свойства как исходных компонентов, так и получемого продукта [4-5].

Целью данной работы является сравнение состава топлива, полученного при обычном смешении компонентов и с применением комбинированного устройства.

Материалы и методы. Получение дизельного смесевого топлива осуществляли в комбинированном смесителе, конструкция которого представлена на рисунке 1.

Хроматографический анализ обработанного и необработанного дизельного и дизельного смесевого топлив осуществляли на приборе «Кристалл 2000М».

Хроматограф «Кристалл 2000М» предназначен для измерения состава компонентов в жидких средах. В состав хроматографа входит пламенно-ионизационный детектор. Хроматограф оснащен программным обеспечением «Хроматэк-Аналитик».



1 – крышка, 2 – корпус первого модуля, 3 – перегородка, 4 – каналы, 5 – камера промежуточная, 6 – корпус второго модуля, 7 – корпус третьего модуля, 8 - корпус четвертого модуля, 9 – крышка торцевая, 10 – тангенциальный ввод, 11, 12 – винтовые элементы, 13 – стержень цилиндрический, 14 – вставка цилиндрическая, 15 –выемка конусообразная, 16 — сопло прямоугольное, 17 – пластина, 18 –паз, 19 – решетки, 20 – пружина.

Рисунок 1 – Схема комбинированного устройства

Результаты и их обсуждение. На рисунках 2, 3 представлены хроматограммы и в таблицах 1, 2 изменения углеводородного состава дизельного обработанного и необработанного топлив. По результатам анализа углеводородного состава дизельного топлива установлено снижение количества углеводородов с C_8 – C_{10} и C_{20} – С25, при общем увеличении (за исключением C_{14}, C_{19} – Пристан) содержания углеводородов C_{11}–C_{19}, то есть уменьшается количество углеводородов легких и тяжелых фракций, при одновременном увеличении количества основных углеводородов. Таким образом, происходит «нормализация» фракционного состава дизельного топлива. Это должно положительным образом сказаться на улучшении физико-химических свойств не только дизельного, но и смесевого топлива на его основе, а также должно способствовать улучшению растворимости при взаимном перемешивании компонентов смесевого топлива.

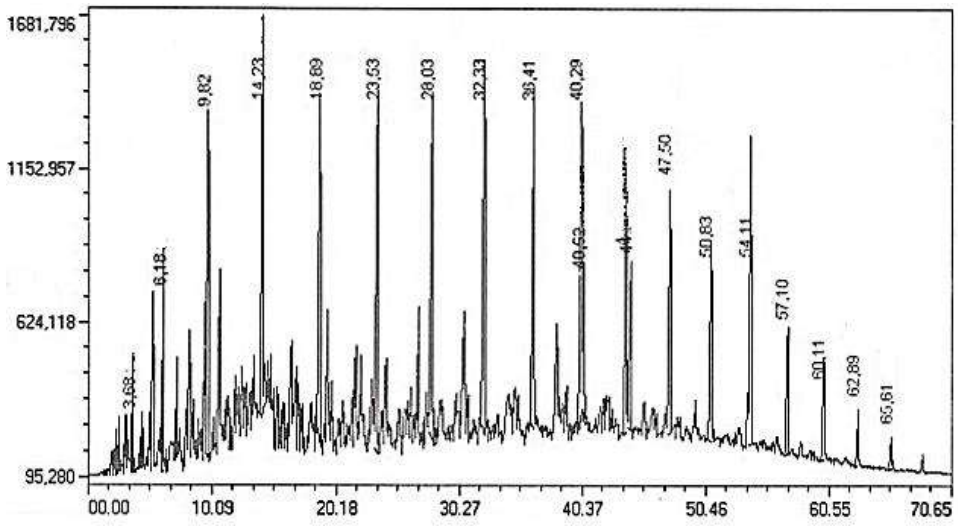


Рисунок 2 - Хроматограмма дизельного топлива

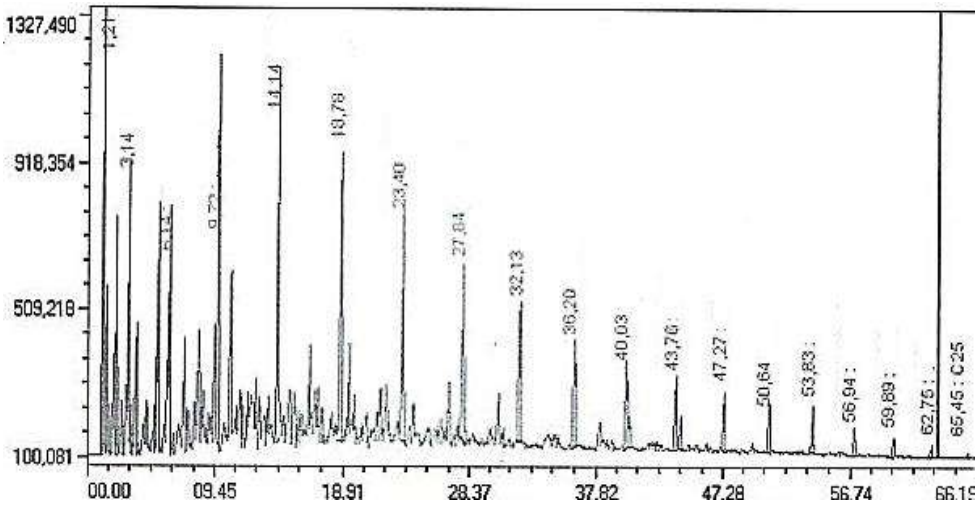


Рисунок 3 - Хроматограмма обработанного дизельного топлива

Таблица 1 - Изменение углеводородного состава дизельного топлива

Число атомов углерода	Концентрация компонентов в дизельном исходном топливе, %	Концентрация компонентов в дизельном топливе обработанном, %
8 (Октан)	0,94	0,91
9 (Нонан)	2,38	2,29
10 (Декан)	5,04	4,93
11	7,46	7,67
12	6,85	7,73
13	7,97	8,37
14	8,79	10,01
15	8,53	8,84
16	7,99	9,68
17	6,83	6,92
18	6,23	6,34
19	5,55	6,04
$C_{19}H4_{0}$ (Пристан)	4,32	4,13
20	4,55	4,43
$C_{20}H_{42}$ (Фитан)	3,19	2,84
21	6,10	4,11
22	2,72	2,01
23	2,57	1,57
24	1,13	0,73
25	0,86	0,45
Итого	100	100

В таблице 2 приведены результаты определения жирнокислотного состава рыжикового масла до и после обработки. Как видно из результатов анализа пробы обработка способствует разрыву межмолекулярных связей, активации, рекомбинации и уменьшению двойных связей в

жирнокислотных остатках непредельных кислот – эруковой (на 14,48 %), докозадиеновой (на 95,83 %) при одновременном повышении температуры обрабатываемой пробы в 1,4 – 1,9 раз. При этом уменьшается процентное содержание тяжелых кислот (C_{22}-C_{24}) и увеличение кислот с содержанием углерода C_{14} – C_{18}.

Таблица 2 - Изменение жирнокислотного состава масла рыжика

Жирнокислотный остаток	Число углеродных атомов : двойных связей	Концентрация компонентов в масле исходном, %	Концентрация компонентов в масле обработанном, %
Миристиновая кислота	14:0	2,04	3,85
Пентадекановая кислота	15:0	2,05	4,05
Пентадеценовая кислота	15:1	6,93	4,87
Пальмитиновая кислота	16:0	1,67	2,43
Пальмитоолеиновая кислота	16:1	0,03	0
Маргариновая кислота	17:0	2,02	4,75
Маргариноолеиновая кислота	17:1	4,82	2,17
Стеариновая кислота	18:0	2,76	4,01
Олеиновая кислота	18:1	47,97	57,83
Линолевая кислота	18:2	18,3	9,86
Линоленовая кислота	18:3	-	-
Арахиновая кислота.	20:0	-	-
Эйкозеновая кислота	20:1	-	-
Эйкозадиеновая кислота	20:2	-	-
Бегеновая кислота	22:0	3,84	1,74
Эруковая кислота	22:1	3,36	2,87
Докозадиеновая кислота	22:2	0,72	0,03
Лигноцериновая кислота	24:0	1,09	0,65
Нервоновая кислота	24:1	2,4	0,31
м - глицериды		0	0,38
д - глицериды		0	0,2
Итого			100

Далее в работе провели исследования изменение жирнокислотного и углеводородного составов смесевого топлива до и после обработки. Состав представлял собой гомогенный раствор, состоящий из 20 % эфиров рыжикового масла и 80 % дизельного топлива.

На рисунках 4 -5 и в таблице 3 приведены результаты определения жирнокислотного и углеводородного составов 20 % дизельного смесевого топлива до и после обработки, полученные в результате использования хроматографического анализа. Фракционный состав полученного дизельного смесевого топлива практически соответствует фракционному составу используемого дизельного (товарного) топлива.

После комбинированной обработки в модуль-смесителе 20% дизельного смесевого топлива, наблюдалось уменьшение легкой (на 0,19 %) и тяжелой (на 3,61%) фракции, увеличение средней фракции (на 3,78 %).

Заключение. Таким образом, обработка в комбинированном модуль-смесителе с применением ультразвукового модуля позволяет эффективно перемешивать и улучшать физико-химические показатели получаемого дизельного смесевого топлива.

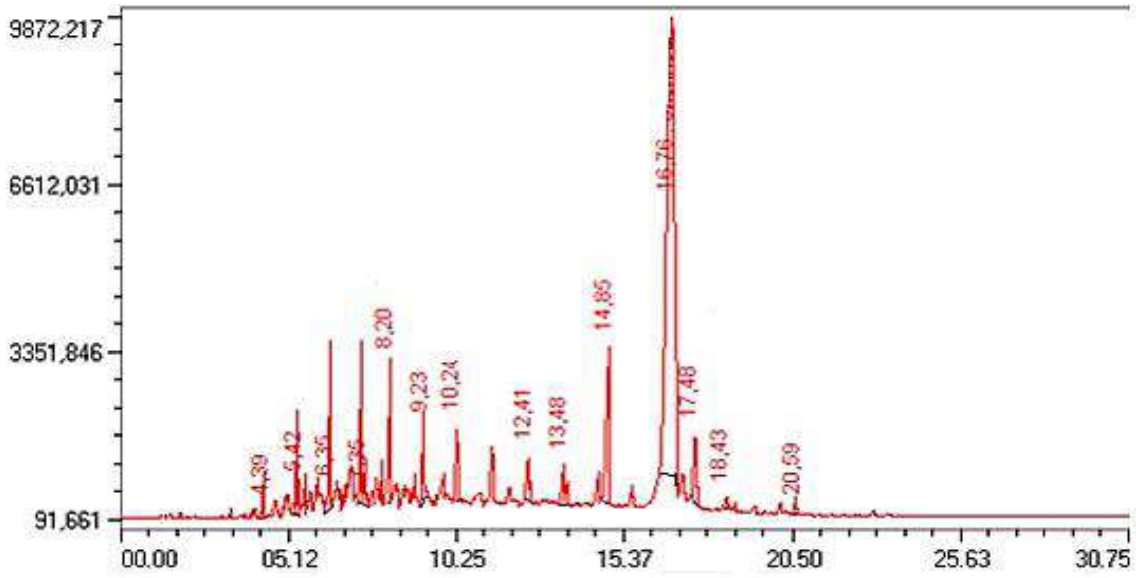


Рисунок 4 - Хроматограмма необработанного 20% дизельного смесевого топлива

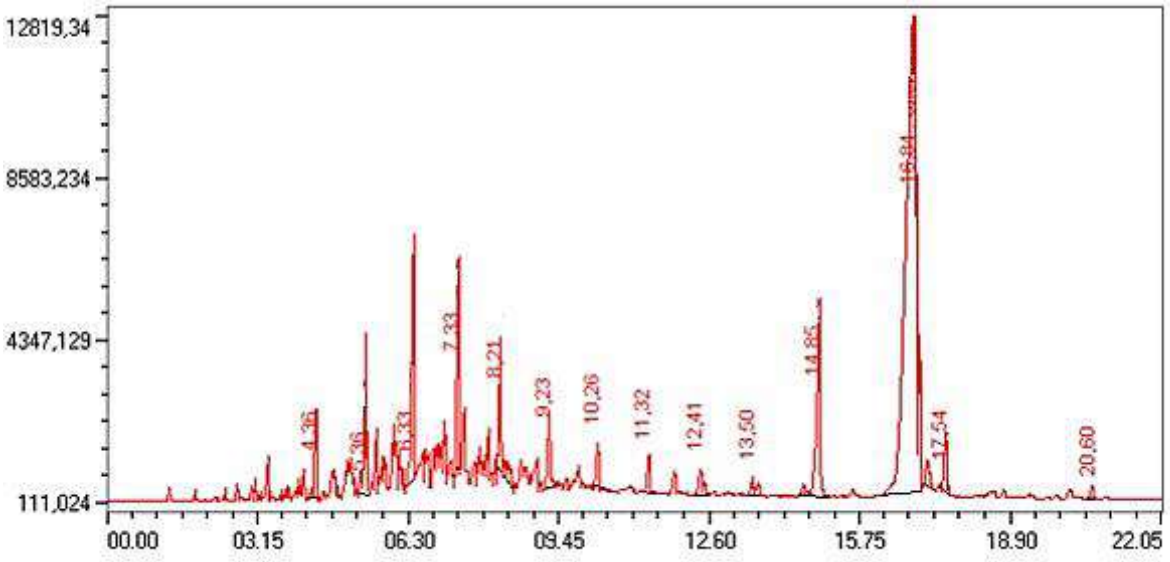


Рисунок 5 - Хроматограмма обработанного 20% дизельного смесевого топлива.

Таблица 3 - Изменение жирнокислотного и углеводородного составов 20% дизельного смесевого топлива до и после обработки

Число атомов углерода / Жирнокислотный остаток	Число углеродных атомов : двойных связей	Концентрация компонентов (%) в 20% дизельном смесевом топливе необработанном	Концентрация компонентов (%) 20% дизельном смесевом топливе обработанном
8 (Октан)		0,70	0,67
9 (Нонан)		1,9	1,83
10 (Декан)		4,03	3,94
11		5,9	6,06
12		5,48	6,18
13		6,37	6,69
14		7,03	8,01
15		6,82	7,07
16		6,39	7,74
17		5,46	5,53
18		4,98	5,07
19		4,44	4,83
19 (Пристан)		3,45	3,30
20		3,64	3,54
20 (Фитан)		2,55	2,27
21		4,88	3,28
22		2,17	1,6
23		2,1	1,28
24		0,8	0,516
25		0,7	0,36
Миристиновая кислота	14:0	0,4	0,75
Пентадекановая кислота	15:0	0,4	0,79
Пентадеценовая кислота	15:1	1,38	0,96
Пальмитиновая кислота	16:0	0,33	0,48
Пальмитоолеиновая кислота	16:1	0	-
Маргариновая кислота	17:0	0,4	0,94
Маргариноолеиновая кислота	17:1	0,96	0,43
Стеариновая кислота	18:0	0,55	0,79
Олеиновая кислота	18:1	9,88	11,524
Линолевая кислота	18:2	3,66	1,97
Линоленовая кислота	18:3	-	-
Арахиновая кислота	20:0	-	-
Эйкозеновая кислота	20:1	-	-
Эйкозадиеновая кислота	20:2	-	-
Бегеновая кислота	22:0	0,72	0,32
Эруковая кислота	22:1	0,65	0,55
Докозадиеновая кислота	22:2	0,1	0,09
Лигноцериновая кислота	24:0	0,20	0,11
Нервоновая кислота	24:1	0,47	0,40
М-глицериды		0,1	0,13
Д-глицириды		0,01	0
Итого		100	100

Список литературы.

1. Сравнительные эксплуатационные исследования машинно-тракторного агрегата при работе на минеральном и смесевом рыжико-минеральном топливе / А. А. Хохлов, А. Л. Хохлов, К. А. Балашов, Н. С. Осипов // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы : Сборник статей V Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 28–29 октября 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 107-112.

2. Воробьев, Ю.В. Уменьшение расхода моторного топлива приемами механохимии / Ю.В. Воробьев, А.В. Дунаев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2019. – № 3. – С. 96-103.

3. Устройство для механо-химической обработки и снижения расхода углеводородного топлива / Ю.В. Воробьев, А.Е. Ломовских, М.В. Басарев М. В. и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. - № 1. - С. 21—22/

4. Воздействие ультразвуковой обработки дизельного смесевого топлива на показатели тракторного дизеля / А. П. Уханов, Ю. В. Уханова, Е. А. Сидоров // Наука в центральной России. – 2017. – №3 (27). – С. 48-56.

5. Мещеряков, А. Г. Исследование работы топливной аппаратуры на смесевом топливе / А. Г. Мещеряков // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 сентября 2021 года. – Тамбов: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве", 2021. – С. 139-144.

References

1. Comparative operational studies of a machine-tractor unit when working on mineral and mixed ginger-mineral fuel / A. A. Khokhlov, A. L. Khokhlov, K. A. Balashov, N. S. Osipov // Operation of automotive and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects : Collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the Penza State Agrarian University, Penza, October 28-29, 2021. – Penza: Penza State Agrarian University, 2021. – pp. 107-112.

2. Vorobyov, Yu.V. Reduction of motor fuel consumption by mechanochemistry techniques / Yu.V. Vorobyov, A.V. Dunaev // Problems of mechanical engineering and machine reliability. – 2019. – No. 3. – pp. 96-103.

3. Device for mechanical and chemical treatment and reduction of hydrocarbon fuel consumption / Yu.V. Vorobyov, A.E. Lomovskikh, M.V. Basarev M. V. et al. // Tractors and agricultural machines. – 2015. - No. 1. - pp. 21-22/

4. The effect of ultrasonic treatment of diesel mixed fuel on the indicators of tractor diesel / A. P. Ukhanov, Yu. V. Ukhanova, E. A. Sidorov // Science in Central Russia. – 2017. – №3 (27). – Pp. 48-56.

5. Meshcheryakov, A. G. Investigation of the operation of fuel equipment on mixed fuel / A. G. Meshcheryakov // Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products - new technologies and equipment of a new generation for crop production and animal husbandry: Collection of scientific reports of the XXI International Scientific and Practical Conference, Tambov, September 28-29, 2021. – Tambov: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", 2021. – pp. 139-144.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

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

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

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

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: vniitinlab7@yandex.ru

Ликсутина Анна Павловна - 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: liksutina68@gmail.com

Ложкина Екатерина Богдановна – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно- исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: lozhkkina.ekaterina2016@gmail.com.

Author credentials

Affiliations

Meshcheryakov Alexander Gennadievich – applicant, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculturee ", Russia, Tambov, e-mail: alex_mec@bk.ru

Meshcheryakova Yulia Vladimirovna - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculturee ", Russia, Tambov, e-mail: yulya-belova@yandex.ru

Stanislav A. Nagornov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculturee ", Russia, Tambov, e-mail: snagornov@yandex.ru

Alexey Kornev – Candidate of Technical Sciences, Leading researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculturee ", Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Lixutina Anna Pavlovna - Candidate of Technical Sciences, Leading researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculturee ", Russia, Tambov, e-mail: liksutina68@gmail.com

Lozhkina Ekaterina Bogdanovna – Junior Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific and Research Institute of Use of Techniques and Oil Products in Agriculturee ", Russia, Tambov, e-mail: lozhkkina.ekaterina2016@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 13.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.05.2022

УДК 621.436
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-120-128

СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ НА СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ НА ТРАКТОРЕ ТИПА МТЗ

[1]***Припоров Игорь Евгеньевич***
[1]*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»*

Реферат. *Предложено использовать смесевое топливо, получаемое смешиванием минерального дизельного топлива и растительного масла, на тракторе МТЗ-80 на всех режимах, кроме пуска и прогрева дизеля, при которых рекомендовано использовать минеральное дизельное топливо. Работа посвящена разработке системы питания дизеля на смесевом топливе для адаптации дизелей автотракторной техники, например трактора типа МТЗ к работе на вязком растительном топливе (31,54-34,56сСт). Большинство известных систем обладают недостатками, которым присуще не приспособленность к работе на рапсовом масле, в связи с его вязкостью, а также загрязнение двухсекционной подкачивающей помпы и смешивание загрязненных видов топлив в смесителе, что приводит к их загрязнению взвешенными хлопьями. На кафедре тракторов, автомобилей и технической механики автором предложена система питания дизеля на смесевом топливе, на которую получен патент РФ № 2757356. В статье представлено устройство и технологический процесс ее работы. Выполнение технологических операций в системе питания дизеля на смесевом топливе трактора типа МТЗ позволяет повысить качество очистки за счет высокой вязкости растительного топлива (31,54-34,56сСт) для работы дизельного двигателя. В системе дополнительно применено мультимедийное устройство и компьютер, которое контролирует качество перемешивания двух видов топлив. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на внедрение компьютерного оборудования в систему питания дизельного двигателя трактора типа МТЗ.*

Ключевые слова*: система питания, дизельный двигатель, мультимедийное устройство, смесевое топливо, растительное масло.*

DIESEL POWER SYSTEM ON MIXED FUEL ON MTP TYPE TRACTOR

[1]***Priporov Igor***
FSBEI of HE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin"

Abstract. *One of the types of motor fuel for motor diesel engines is a mixed fuel obtained by mixing mineral diesel fuel and vegetable oil. The experience of using such a mixed fuel on the MTP-80 tractor shows that the start and heating of the diesel engine must be carried out on mineral diesel fuel, and the operation of the diesel engine in other modes - on mixed fuel The purpose of the research is to develop a diesel power system on mixed fuel for adapting diesel engines of automotive equipment, for example, MTP type tractors to work on viscous vegetable fuel (31.54-34.56cSt). Most of the known systems have disadvantages, which are inherent in not being adapted to work on rapeseed oil, due to its viscosity, as well as contamination of the two-section pumping pump and mixing of contaminated fuels in the mixer, which leads to their contamination with suspended flakes. At the Department of Tractors, Automobiles and Technical Mechanics, the author proposed a diesel power system on mixed fuel, for which RF patent No. 2757356 was obtained. The article presents the device and the technological process of its operation. The execution of technological operations in the diesel power system on the mixed fuel of the MTP tractor type allows to improve the quality of cleaning due to the high viscosity of vegetable fuel (31.54-34.56 cSt) for the operation of the diesel engine. In addition, a multimedia device and a computer are used in the system, which controls the quality of mixing of two types of fuels. Further scientific research should be*

aimed at the introduction of computer equipment into the power supply system of the MTP type tractor diesel engine.

Keywords: *power system, diesel engine, multimedia device, mixed fuel, vegetable oil*.

Введение. В современном мире вырос интерес к нетрадиционным биологическим видам топлива, в частности, получаемым на основе растительных масел. Их получают из семян масличных культур, – рапса, рыжика, подсолнечника, сафлора и др. [1-6]. Объемы таких ресурсов ничем не ограниченны, потому что являются возобновляемыми, и предназначены они для получения биотоплива. Использование биотоплива на основе растительных масел в качестве моторного топлива автотранспортных средств позволит экономить топливо нефтяного происхождения и решить ряд проблем экологического характера.

Цены биотоплива соизмеримы с ценами топлив нефтяного происхождения, а в некоторых случаях даже ниже [7]. Уже само по себе использование биодизельного и смесевого топлива вместо чисто нефтяного расширяет возможности сырьевой базы российской экономики, работает на повышение устойчивости топливно-энергетического комплекса страны. Растительное сырье, даже частично используемое при получении топлива, будет способствовать снижению уровня загрязнения окружающей среды. Так, по оценкам Международного Энергетического Агентства, предполагается повышение доли биотоплива к 2050 г. до 750 млн. т в нефтяном эквиваленте, что составит 27% всего моторного топлива и позволит уменьшить объемы вредных выбросов транспортных средств на 20%. и сократить зависимость потребителей от ископаемых видов углеводородного топлива.

Наиболее значимые для работы дизеля свойства биотоплив отличатся от свойств товарных дизельных топлив. При конвертации ДВС, изначально созданных для работы на дизельном топливе, под биотоплива ожидаемы проблемы: другой ход протекания рабочего процесса, отличие процессов питания и регулирования топливом, иные характеристики распыливания и смесеобразования топливовоздушной смеси, особенности сгорания [7]. Биотопливо обладает большей вязкостью, и поэтому в обычном дизеле будет затруднено его прохождение через фильтрующие элементы и ухудшится качество распыливания топлива форсунками, а далее по цепочке:

плохой распыл → ухудшение смесеобразования → неполное сгорание топлива→ снижение мощности и экономичности двигателя → закоксовывание распылителей форсунок

Чтобы эффективно использовать только биотопливо необходимо провести существенные изменения в системе питания дизеля, приспособленного для работы с минеральным дизельным топливом. Хорошего результата с минимальными затратами без существенной модернизации ДВС можно достичь, переходя не на полностью биологическое топливо, а на смесевое, получаемое при смешивании растительного масла и минерального дизельного топлива (ДТ) в определенной пропорции. Технология приготовления смесевого топлива достаточно проста, но по физико-химическим показателям такое топливо уступает и минеральному и биодизельному топливу. Использование смесевого топлива вызывает некоторое снижение номинальной мощности дизеля (до 8-10%) по мере увеличения доли растительного компонента [5,9].

Анализ результатов натурных испытаний работы трактора МТЗ-80 на смесевом топливе привел к разработке следующего режима использования топлива: на пуске и прогреве дизеля предложено использовать минеральное дизельное топливо, а на остальных режимах – смесевое топливе [1].

Проведённые исследования Сидорова Е.А., Якунина А.И., Сидорова Л.И. показали, что дизельное смесевое топливо (ДСТ) не препятствует эффективной работе ДВС, а экологические показатели при этом улучшаются. При использовании ДСТ, таким образом, экономится минеральное ДТ и можно говорить об улучшении экологической обстановки, но, как показано в работе [12], требуется конструктивная адаптация штатной системы питания дизельного двигателя. Это связано с тем, что физико-химические свойства ДСТ (плотность, вязкость, прокачиваемость и др.) отличаются от аналогичных свойств товарного минерального ДТ. На прокачиваемость

смесевого топлива по топливной системе дизеля и на качество его распыливания в камере сгорания существенно влияет вязкость растительного масла, которая у ДСТ существенно превышает вязкость минерального ДТ [2, 6,8,10,11].

В данной работе рассматриваются вопросы разработки системы питания дизеля на смесевом топливе для адаптации дизелей автотракторной техники, например трактора типа МТЗ к работе на вязком растительном топливе (31,54-34,56сСт).

Результаты исследований. Для определения направления модернизации системы питания дизеля на смесевом топливе приведем их обзор (таблица 1).

Таблица 1 – Обзор систем питания дизеля на смесевом топливе

№ патента	Описание патента	Преимущества патента	Недостатки
патент РФ №2305791 [13]	топливный бак, подогреватель топлива, фильтр грубой очистки топлива, топливный насос низкого давления, фильтр тонкой очистки топлива, топливный насос высокого давления, форсунку, топливопроводы	Повышает эффективность эксплуатации ДВС, который работает на двух видах топлива, путем адаптации системы питания	Не приспособленность к работе на рапсовом масле, в связи с его вязкостью
патент RU 176797 [14]	бак биологического топлива, бак минерального топлива, линию забора биологического топлива, линию забора минерального топлива, двухсекционную подкачивающую помпу, смеситель биологического и минерального топлива, имеющий два входных и один выходной каналы, линию слива смесевого топлива, топливный насос высокого давления, форсунки и орган управления топливо подачей дизеля, подогреватель, в баке биологического топлива установлен подогреватель топлива, работающий от системы охлаждения двигателя, обеспечивающий подогрев биологического топлива с целью снижения его вязкости	Применение биологического топлива повышенной вязкости для работы дизеля. При этом запуск его осуществляется на минеральном топливе, а рабочий процесс или на смеси, или чистом биологическом топливе в зависимости от загрузки двигателя	загрязнение двухсекционной подкачивающей помпы и смешивание загрязненных видов топлив в смесителе, что приводит к их загрязнению взвешенными хлопьями

Патент РФ № 2452864 [15]	бак биологического топлива, бак минерального топлива, линии забора биологического и минерального топлив, смеситель топлив, линию слива смесевого и биоминерального топлива, топливный насос высокого давления и форсунки. Оси дроссельных заслонок кинематически соединены регулировочной тягой с органом управления топливоподачей дизеля. При открытии на определенный угол дроссельной заслонки, регулирующей подачу биологического топлива, заслонка, регулирующая подачу минерального топлива, закрывается соответственно на такой же угол.	Обеспечение возможности работы дизеля на смесевом биоминеральном топливе, с соблюдением заданных процентных соотношений биологического и минерального топлив	Подача биологического топлива электрическим подкачивающим насосом с обратным клапаном без использования подогревателя растительного топлива и установкой дроссельных заслонок, регулирующих подачу минерального и биологического топлива по углу поворота дроссельных заслонок, что не
			требуемое процентное соотношение минерального и биологического топлив в смеси в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов дизеля.
Патент РФ № 2580965 [16]	бак биологического топлива, бак минерального топлива, линию забора биологического топлива, линию забора минерального топлива, смеситель биологического и минерального топлива с дозирующим устройством, имеющий два входных и один выходной каналы, линию слива смесевого биоминерального топлива, топливный насос высокого давления, форсунки и орган управления топливоподачей дизеля.	Применение биологическое топливо для работы дизеля. При этом запуск дизеля может производится на минеральном топливе, а рабочий процесс производиться либо на смеси, либо на чистом биологическом топливе, в зависимости от загрузки двигателя, причем управление дозированием топлива может производиться из кабины водителя вручную или автоматически, в зависимости от нагрузки	Не приспособленность к работе на рапсовом масле, в связи с его вязкостью

Патент РФ № 2387867 [17]	Бак минерального топлива, бак растительного топлива, линию забора минерального топлива, состоящую из фильтров тонкой и грубой очистки топлива, топливоподкачивающего насоса, линию забора растительного топлива, состоящую из электрического насоса, топливный насос высокого давления, соединенный с линиями забора минерального и растительного топлива, линию слива топлива из топливного насоса высокого давления и линию слива топлива из форсунок, содержащую фильтр-отстойник и смеситель минерального и растительного топлива, при этом линия слива из форсунок сообщена с линией забора растительного топлива, а линия слива из топливного насоса сообщена с линией забора минерального топлива	система обеспечивает возможность работы дизеля на смесевом минерально-растительном топливе, качественное перемешивание и соблюдение заданных процентных соотношений минерального и растительного топлив	Установка электрического насоса с обратным клапаном и сложная схема слива топлива из форсунок и топливного насоса

На кафедре тракторов, автомобилей и технической механики автором предложена система питания дизеля на смесевом топливе, на которую получен патент РФ № 2757356.

На рисунке 1 показана система питания двигателя, работающего на смесевом топливе. Она включает два бака: один – для минерального (1), второй – для растительного (2) топлива; 2 линии подачи минерального (3) и растительного (4) топлива; два фильтра грубой очистки: один –для минерального (4), второй – для растительного топлива (5); подогреватель (7) растительного топлива, два входных патрубка: один -для минерального (8), второй для растительного (9) топлива; смеситель (10), топливный насос (11) высокого давления, форсунки (12). Система имеет линию I очистки минерального топлива, которая снабжена фильтром 4 для его грубой очистки соединенная с баком 13 для очищенного минерального топлива после грубой очистки, выполненного из прозрачного материала, заслонки-перекрытия минерального топлива, установленные перед 14 и после 15 фильтра 16 тонкой очистки минерального топлива, а на входе 17 и выходе 18, которого расположены мультимедийные устройства для получения изображения состояния прозрачности минерального топлива до и после очистки, сообщенные с компьютером 19 для математической обработки, полученных изображений и соединен с входным патрубком 8 минерального топлива двухсекционной подкачивающей помпы 20, сообщенная с регулятором 21 расхода минерального топлива, соединенный со смесителем 10 и сообщен с дополнительным мультимедийным устройством 22. Линия II очистки растительного топлива, включающая фильтр 5 для его грубой очистки, под которым расположен бак 23 с очищенным растительным топливом после грубой очистки, выполненного из прозрачного материала, заслонки-перекрытия растительного топлива, которые соединены до 24 и после 25 фильтра тонкой очистки растительного топлива, а на входе 26 и выходе 27 расположены дополнительные мультимедийные устройства для получения изображения состояния прозрачности растительного топлива до и после очистки, сообщенные с компьютером 19 для математической обработки, полученных изображений, подогреватель 7 растительного топлива, соединенный с выходным отверстием фильтр 28 тонкой очистки растительного топлива, а его выходное отверстие сообщено с входным патрубком 9 растительного топлива двухсекционной подкачивающей помпы 20 и соединена с регулятором 29 расхода растительного топлива, а выходное отверстие последнего сообщено со смесителем 10 и соединен с топливным насосом 11 высокого давления форсунками 12.

Система питания дизеля на смесевом топливе работает следующим образом. В качестве растительного топлива используется подсолнечное масло (31,54сСт) или соевое масло (31,98сСт).

Минеральное топливо из бака 1 по линии 3 подачи поступает в фильтр 4 для его грубой очистки и далее поступает в бак 13 очищенное после грубой очистки. В баке 13 выполненного из прозрачного материала мультимедийное устройство 17 оценивает состояние прозрачности минерального топлива.

Полученное изображение с мультимедийного устройства 17 поступает на компьютер 19, где происходит его математическая обработка. Если отстоявшееся масло не имело мути или взвешенных хлопьев, то масло считается прозрачным при температуре 20 ^{0}С согласно ГОСТ 5472-50 (ГОСТ 5472-50. Масла растительные. Определение запаха, цвета и прозрачности), а если нет, то возвращается на дополнительную обработку. Очищенное минеральное масло через заслонку-перекрытия 15 поступает в фильтр 16 для тонкой его очистки.

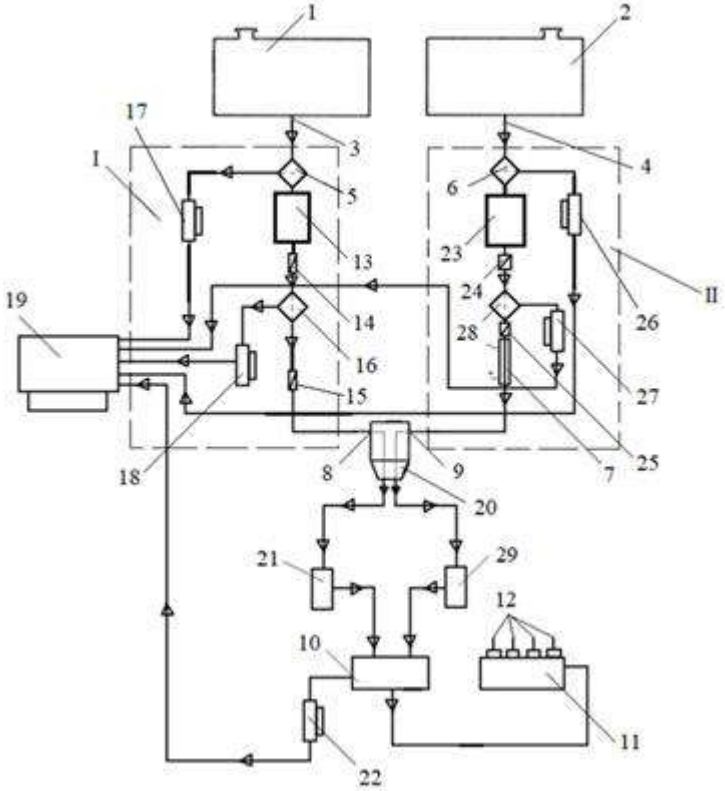


Рисунок 1 – Система питания дизеля на смесевом топливе

Для контроля тонкой очистки минерального топлива расположено мультимедийное устройство 18, где происходит сравнение его очистки по прозрачности до и после. Полученное изображение с мультимедийного устройства поступает на компьютер 19 для оценки его качества. Если топливо качественно очищенно, то открывается заслонка-перекрытия 15 через входной патрубок 8 минерального топлива поступает двухсекционную подкачивающую помпу 20, куда поступает растительное топливо. Растительное топливо из бака 2 перед поступлением в подогреватель 7 для его подогрева проходит такой же путь, что и минеральное топливо и далее через входной патрубок 9 растительного топлива. Далее минеральное и растительное топливо разделяется и каждое поступает в регулятор 21 расхода минерального топлива и регулятор 29 расхода растительного топлива, после этого два вида топлива смешивается при помощи смесителя 10.

Для контроля качества перемешивания двух видов топлив с помощью мультимедийного устройства 22 получают изображение смешанных топлив подают на компьютерную обработку с программным обеспечением Mathcad для определения качества однородности смешивания соответствующее требованиям на смешивание. Если качество однородности смешивания не соответствует требованиям, то его отправляют на дополнительное смешивание.

Смесевое топливо поступает в топливный насос 11 высокого давления форсунками 12.

При этом запуск дизеля может производится на минеральном топливе, а рабочий процесс производиться либо на смеси, либо на чистом биологическом топливе в зависимости от загрузки двигателя [4].

Заключение. Выполнение технологических операций в системе питания дизеля на смесевом топливе трактора типа МТЗ позволяет повысить качество очистки за счет высокой вязкости растительного топлива (31,54-34,56сСт) для работы дизельного двигателя.

В системе дополнительно применено мультимедийное устройство и компьютер, которое контролирует качество перемешивания двух видов топлив.

Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на внедрение компьютерного оборудования в систему питания дизельного двигателя трактора типа МТЗ.

Список литературы

1. Уханов А.П., Уханов Д.А., Хохлов А.А. Двухтопливная система питания автотранспортного дизеля // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: матер. Нац. науч.-техн. конф. с международным участием имени В.В. Михайлова. – Саратов, 2020. – С. 30-33.

2. Уханов А.П., Уханов Д.А. Двухтопливная система питания дизеля автотранспортного средства с регулируемым подогревом растительного компонента смесевого топлива // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сб. статей V Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета. Пенза, 2021. – С. 87-91.

3. Уханов А.П., Хохлова Е.А., Хохлов А.А. Устройства для конструктивной адаптации дизелей автотракторной техники к работе на биоминеральном топливе // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2. – С. 34-40.

4. Патент 2757356 Российская Федерация: МПК F02M43/00, F02D19/08. Система питания дизеля на смесевом топливе / И.Е. Припоров, А.А. Юров, О.С. Тертых. – Опубл. 14.10.2021, Бюл. №29.

5. Тимохин С.В., Спицын И.А., Богатырёв П.В. Двухтопливная аккумуляторная система питания для автомобиля УАЗ ПАТРИОТ // Технический сервис машин. – 2018. – Т. 131. – С. 12-19.

6. Уханов А.П., Уханов Д.А., Адгамов И.Ф. Дизельное смесевое топливо: проблемы и инновационные разработки // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2. – С. 46-51.

7. Плотников С.А., Карташевич А.Н., Глушков М.Н., Шипин А.И. Создание и исследование свойств многокомпонентных биотоплив для тракторных дизелей // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 6. – С. 6-12.

8. Design adaptation of the automobile and tractor diesel engine for work on mixed vegetable-mineral fuel / Khokhlov A. [et al.] // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). 2020. p. 00077.

9. Exergetic, economic, and environmental life cycle assessment analyses of a heavy-duty tractor diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends / Hosseinzadeh-Bandbafha H. [et al.] // Energy Conversion and Management. – 2021. – Т. 241. – p. 114300.

10. Уханов А.П., Голубев В.А., Киреева Н.С. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя-дозатора дизельного смесевого топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 2 (22). – С. 116-121.

11. Хохлов А.Л., Молочников Д.Е., Хохлов А.А., Гаязиев И.Н. Техническое обеспечение дизеля для работы на дизельном смесевом топливе // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 3 (54). – С. 122-127.

12. Сидоров Е.А., Якунин А.И., Сидорова Л.И. Двухтопливная система питания дизельного двигателя // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей победителей международной научно-практической конференции. МЦНС «Наука и Просвещение». – 2016. – С. 92-94.

13. Патент РФ №2305791 МПК F02M 31/16. система питания двигателя внутреннего сгорания автотракторного средства / Н.И. Селиванов, Д.А. Санников. – Опубл. 10.09.2007, Бюл. №25.

14. Патент RU №176797 МПК F02D 19/08, F02M 43/00, F02M 31/10. Система питания дизеля на смесевом топливе / И.В. Зефиров, П.С. Мартынов, А.И. Паутов. – Опубл. 29.01.2018, Бюл. №4.

15. Патент РФ № 2452864 МПК F02D 19/06, F02M 43/00. Система питания дизеля на смесевом биоминеральном топливе / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Р.К. Сафаров и др. – Опубл. 10.06.2012, Бюл. №16.

16. Патент РФ № 2580965 МПК F02D 19/06, F02M 43/00. Система питания дизеля на смесевом биоминеральном топливе / И.В. Зефиров, П.С. Мартынов, А.С. Чеглаков. – Опубл. 10.04.2016, Бюл. №10.

17. Патент РФ № 2387867 МПК F02M 43/00. Система питания дизеля на смесевом биоминеральном топливе / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, В.А. Рачкин, В.А. Иванов. – Опубл. 27.04.2010, Бюл. №12.

References

1. Uhanov A.P., Uhanov D.A., Hohlov A.A. Dvuhtoplivnaya sistema pitaniya avtotransportnogo dizelya // Problemy ekonomichnosti i ekspluatacii avtotraktornoj tekhniki: mater. Nac. nauch.-tekhn. konf. s mezhdunarodnym uchastiem imeni V.V. Mihajlova. □ Saratov, 2020. □ S. 30-33.

2. Uhanov A.P., Uhanov D.A. Dvuhtoplivnaya sistema pitaniya dizelya avtotransportnogo sredstva s reguliruemym podogrevom rastitel'nogo komponenta smesevogo topliva // Ekspluataciya avtotraktornoj i sel'skohozyajstvennoj tekhniki: opyt, problemy, innovacii, perspektivy: sb. statej V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoj 70-letiyu Penzenskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Penza, 2021. □ S. 87-91.

3. Uhanov A.P., Hohlova E.A., Hohlov A.A. Ustrojstva dlya konstruktivnoj adaptacii dizelej avtotraktornoj tekhniki k rabote na biomineral'nom toplive // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2016. № 2. S. 34-40.

4. Patent 2757356 Rossijskaya Federaciya: MPK F02M43/00, F02D19/08. Sistema pitaniya dizelya na smesevom toplive / I.E. Priporov, A.A. YUrov, O.S. Tertyh. – Opubl. 14.10.2021, Byul. №29.

5. Timohin S.V., Spicyn I.A., Bogatyryov P.V. Dvuhtoplivnaya akkumulyatornaya sistema pitaniya dlya avtomobilya UAZ PATRIOT // Tekhnicheskij servis mashin. 2018. T. 131. S. 12-19.

6. Uhanov A.P., Uhanov D.A., Adgamov I.F. Dizel'noe smesevoe toplivo: problemy i innovacionnye razrabotki // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2016. № 2. S. 46-51.

7. Plotnikov S.A., Kartashevich A.N., Glushkov M.N., SHipin A.I. Sozdanie i issledovanie svojstv mnogokomponentnyh biotopliv dlya traktornyh dizelej // Traktory i sel'hozmashiny. □ 2020. □ № 6. □ S. 6-12.

8. Design adaptation of the automobile and tractor diesel engine for work on mixed vegetable-mineral fuel / Khokhlov A. [et al.] // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). 2020. r. 00077.

9. Exergetic, economic, and environmental life cycle assessment analyses of a heavy-duty tractor diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends / Hosseinzadeh-Bandbafha H. [et al.] // Energy Conversion and Management. 2021. T. 241. r. 114300.

10. Uhanov A.P., Golubev V.A., Kireeva N.S. Razrabotka i obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov smesitelya-dozatora dizel'nogo smesevogo topliva // Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2013. № 2 (22). S. 116-121.

11. Hohlov A.L., Molochnikov D.E., Hohlov A.A., Gayaziev I.N. Tekhnicheskoe obespechenie dizelya dlya raboty na dizel'nom smesevom toplive // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. T. 14. № 3 (54). S. 122-127.

12. Sidorov E.A., YAkunin A.I., Sidorova L.I. Dvuhtoplivnaya sistema pitaniya dizel'nogo dvigatelya // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii: sbornik statej pobeditelej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. MCNS «Nauka i Prosveshchenie». – 2016. – S. 92-94.

13. Patent RF №2305791 MPK F02M 31/16. sistema pitaniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya avtotraktornogo sredstva / N.I. Selivanov, D.A. Sannikov. – Opubl. 10.09.2007, Byul. №25.

14. Patent RU №176797 MPK F02D 19/08, F02M 43/00, F02M 31/10. Sistema pitaniya dizelya na smesevom toplive / I.V. Zefirov, P.S. Martynov, A.I. Pautov. – Opubl. 29.01.2018, Byul. №4.

15. Patent RF № 2452864 MPK F02D 19/06, F02M 43/00. Sistema pitaniya dizelya na smesevom biomineral'nom toplive / A.P. Uhanov, D.A. Uhanov, R.K. Safarov i dr. – Opubl. 10.06.2012, Byul. №16.

16. Patent RF № 2580965 MPK F02D 19/06, F02M 43/00. Sistema pitaniya dizelya na smesevom biomineral'nom toplive / I.V. Zefirov, P.S. Martynov, A.S. CHeglakov. – Opubl. 10.04.2016, Byul. №10.

17. Patent RF № 2387867 MPK F02M 43/00. Sistema pitaniya dizelya na smesevom biomineral'nom toplive / A.P. Uhanov, D.A. Uhanov, V.A. Rachkin, V.A. Ivanov. – Opubl. 27.04.2010, Byul. №12.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Припоров Игорь Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент ВАК, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Россия, г. Краснодар, e-mail: i.priporov@yandex.ru.

Author credentials

Affiliations

Priporov Igor - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Higher Attestation Commission, Associate Professor of the Department "Tractors, Automobiles and Technical Mechanics", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Russia, Krasnodar, e-mail: i.priporov@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 14.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.05.2022

УДК 665.11
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-129-137

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ЕГО КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ

[1]Романцова Светлана Валерьевна
[1]Гладышева Ирина Владимировна
[1]Вервекина Наталья Владимировна
[2]Нагорнов Станислав Александрович
[2]Ликсутина Анна Павловна
[3]Романцов Сергей Николаевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[3] ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Альтернативные виды топлив, прежде всего синтезируемые из возобновляемого растительного сырья, становятся всё более актуальными. Стандарты, нормирующие характеристики современного экологически чистого дизельного топлива, разрешают добавление к нефтяному топливу от 6 до 20 % биодизельного топлива, синтезируемого из возобновляемого растительного или животного сырья. Эта добавка позволяет не только снизить эмиссию вредных веществ с отработавшими газами, но и повысить цетановое число и смазывающие свойства современных топлив с пониженным содержанием серы и ароматических соединений. На примере биодизельных топлив, синтезированных из масел рыжика и льна, исследовано изменение физико-химических характеристик, происходящие при хранении биодизельного топлива. Показано, что в процессе хранения в полиэтиленовом и металлическом резервуарах увеличиваются плотность и вязкость биодизельного топлива, причём в большей степени при хранении в металлическом резервуаре. Установлено, что в нормируемых пределах вязкость (3,5-5,0 мм^2/с) и плотность (860- 900 кг/м^3) биодизельного топлива сохраняется 7 месяцев в полиэтиленовом резервуаре; в металлическом срок хранения сокращается до 4-5 месяцев. Причиной ухудшения качества топлива являются окислительные и полимеризационные процессы. Для стабилизации предложены присадки, относящиеся к ряду пространственно-затруднённых фенолов, содержащих азогруппу. Проведены исследования процесса хранения композиций нефтяного и биодизельного топлив, содержащих от 10 до 70 % (об.) последнего (В10 – В70). Установлено, что при хранении кроме увеличения плотности и вязкости, происходит расслоение топливных композиций. При этом в первую очередь расслаиваются композиции с низким содержанием биодизельного топлива. За 5 месяцев в композициях В10 и В20 отслаивается 50 % и 40 % биодизельного топлива соответственно, процесс начался уже через 30 и 60 дней хранения. В композиции В50 отслаивание началось только после 4 месяцев хранения, к концу пятого месяца отслоилось только 4 % биодизельного топлива. Для композиции В70 расслоение не наблюдалось. Расслоение может быть связано со слабыми межмолекулярными взаимодействиями между углеводородами нефтяного топлива и молекулами биодизельного топлива, содержащими полярные сложноэфирные группы; а также с разрушением коллоидной структуры топлив.*

Ключевые слова*: биодизельное топливо, плотность, кинематическая вязкость, топливные композиции, присадки.*

CHANGES IN PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIODIESEL FUEL AND ITS COMPOSITIONS DURING STORAGE

[1]Romantsova Svetlana
[1]Gladysheva Irina

[1]Vervekina Natalia
[2]Nagornov Stanislav
[2]Lixutina Anna
[3]Romantsov Sergey
[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"
[2]Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture"
[3]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *Alternative fuels, primarily synthesized from renewable plant materials, are becoming increasingly important. The standards that regulate the characteristics of modern environmentally friendly diesel fuel allow the addition of 6 to 20% of biodiesel fuel synthesized from renewable plant or animal feedstock to petroleum fuel. This additive allows not only to reduce the emission of harmful substances with exhaust gases, but also to increase the cetane number and lubricity of modern fuels with a low content of sulfur and aromatic compounds. The changes in physicochemical characteristics that occur during storage of biodiesel fuel have been studied on the example of biodiesel fuels synthesized from camelina and flax oils. It is shown that the density and viscosity of biodiesel fuel increase during storage in polyethylene and metal tanks, and to a greater extent during storage in a metal tank. It has been established that the viscosity (3.5-5.0 mm^2/s) and density (860-900 kg/m^3) of biodiesel fuel is stored within the normalized limits for 7 months in a polyethylene tank; and the shelf life is reduced to 4-5 months in metal tank. The reason for the deterioration of fuel quality are oxidation and polymerization processes. Additives belong to a homologous series of sterically hindered phenols containing an azo group have been proposed for stabilization. Studies of the storage process of compositions of petroleum and biodiesel fuels containing from 10 to 70% (vol.) of the latter (B10 - B70) have been carried out. It has been established that stratification of fuel compositions occurs in addition to an increase in density and viscosity during storage. In this case, compositions with a low content of biodiesel fuel are stratified first. 50% and 40% of biodiesel fuel flaked off in compositions B10 and B20, respectively, for 5 months; the process began already after 30 and 60 days of storage. In composition B50, stratification started only after 4 months of storage; only 4% of the biodiesel fuel flaked off by the end of the fifth month. No stratification was observed for composition B70. The stratification may be due to weak intermolecular interactions between petroleum hydrocarbons and biodiesel molecules containing polar ester groups; as well as with the destruction of the colloidal structure of fuels.*

Keywords: *biodiesel fuel, density, kinematic viscosity, fuel compositions, additives.*

Введение. Забота о собственной продовольственной безопасности прежде всего заставляет думать об увеличении объёмов продукции сельского хозяйства, а значит, его продуктивности. В настоящее время это уже невозможно осуществить экстенсивными методами. Требуется разработка новых интенсивных методов и технологий, повышение уровня механизации сельскохозяйственных работ, следовательно, и показателей энергопотребления. Программа развития российского сельского хозяйства на ближайшее десятилетие предполагает рост потребления топливно-энергетических ресурсов. Основной вид моторного топлива, потребляемого при производстве сельскохозяйственной продукции – это нефтяное дизельное топливо. Доля нетрадиционных источников энергии (например, производимых из возобновляемых источников сырья) не превышает 2,5 %.

Углеводородное топливо, как известно, является одним из весомых источников загрязнения окружающей среды, прежде всего атмосферы вредными компонентами отработавших газов. Поэтому международные и российские стандарты и технические регламенты, определяющие эксплуатационные характеристики дизельного топлива, всё более ужесточают экологические требования, например, по содержанию ароматических и серусодержащих соединений. В Межгосударственном ГОСТ 32511-2013 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия», виды топлив даже переименованы в экологические классы. Старые методы переработки нефти уже не могут обеспечить получение дизельного топлива, удовлетворяющего всё более строгим нормам.

Поэтому российские нефтеперерабатывающие заводы начали модернизацию своего оборудования и внедрение новых технологий гидрообессеривания и деароматизации, отвечающих современным экологическим требованиям [1].

Однако дизельные топлива, отвечающие высоким экологическим требованиям, имеют низкое цетановое число, неудовлетворительные смазывающие свойства (прежде всего из-за удаления органических серусодержащих соединений при гидроочистке) [2]. А усовершенствование конструкции дизельных двигателей повышает требования к дизельным топливам именно по этим показателям.

Кроме того, качество топлива может ухудшаться в процессе хранения из-за протекающих процессов окисления, полимеризации и коагуляции, что увеличивает риск поломки дорогостоящей техники, работающей на таком топливе.

Решить эти проблемы можно введением соответствующих присадок и добавок. Производство современных высокоэкологичных топлив невозможно без их использования. При этом желательно, чтобы используемые присадки и добавки были полифункциональными, т.е. влияли на несколько характеристик топлива. Добавкой, повышающей цетановое число и смазывающие свойства гидроочищенного топлива, может являться биодизельное топливо, производимое из возобновляемых растительных ресурсов. Биодизельное топливо имеет более высокие экологические характеристики: оно практически не содержит серу и ароматические соединения, выделяет при сжигании столько же углекислого газа, сколько поглотило растение в процессе своего роста, способствует более полному сгоранию топлива и снижению эмиссии угарного газа и сажи; довольно быстро разлагается микроорганизмами при проливах [3,4]. Но наличие в составе молекул этого вида топлива большого количества эфиров непредельных высших карбоновых кислот должно приводить к активному протеканию в процессе хранения реакций окисления и полимеризации.

Изменение физико-химических характеристик самого биодизельного топлива и топливных композиций, включающих нефтяное и биодизельное топлива, к настоящему времени до конца не изучены.

Цель работы – исследование зависимости физико-химических характеристик биодизельного топлива и топливных композиций от времени хранения.

Экспериментальная часть. Для синтеза биодизельного топлива в качестве сырья использовали масла рыжика и льна; используя методы органического синтеза проводили реакцию трансэтерификации с метиловым спиртом в присутствии гидроксида калия в качестве гомогенного катализатора. Определение физико-химических характеристик биодизельного топлива и топливных композиций проводили в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52368-2005 и ГОСТ 33131-2014. Для определения оптической плотности образцов использовали фотоэлектроколориметр Apel AP101.

Результаты и их обсуждение. Физико-химические свойства любых органических соединений зависят от их состава. Молекулы биодизельного топлива представляют собой сложные эфиры спирта метанола и алифатических кислот, в молекулах которых содержится от 14 до 24 атомов углерода. Радикалы кислот могут быть предельными и непредельными (содержащими до четырёх двойных связей). Если биодизельное топливо получено из растительного масла, непредельные радикалы преобладают. Так, в изучаемом биотопливе, синтезированном из масла рыжика, преимущественно присутствуют метиловые эфиры линолевой кислоты (C18:2), содержащей 18 атомов углерода и две двойные связи (32 %) и эруковой кислоты (C22:1), в молекуле которой 22 атома углерода и одна двойная связь (42 %). Также довольно велика доля остальных кислот с большим числом атомов углерода (C22:0; C22:2; C24:0; C24:1) – суммарно около 16 %. Кислот с числом атомов углерода от 14 до 16 сравнительно немного (чуть менее 4 %), оставшиеся 6 % приходятся на стеариновую (C18:0) и олеиновую (C18:1) кислоты. Тяжелый молекулярный состав приводит к высоким значениям физико-химических зарактеристик: вязкость при 40 °C составляет 6,38 мм^2/с; плотность при 15 °C равна 895 кг/м^3.

В биодизельном топливе, синтезированном из льняного масла, практически отсутствуют кислоты с очень длинной углеродной цепью – только 2 % арахидоновой кислоты (C20:4). Самая

большая доля приходится на линолевую (С18:2) и линоленовую (С18:3) кислоты – 24 и 47 % соответственно. На миристиновую и пальмитиновую кислоты (С14:0) и (С16:0) суммарно приходится 16 %, а оставшиеся 11 % на стеариновую (С18:0) и олеиновую (С18:1) кислоты. Различия в молекулярном составе определяют и отличие физико-химических характеристик: вязкость при 40 °С составляет 4,44 мм^2/с; плотность при 15 °С равна 890 кг/м^3.

Видно, что биодизельные топлива содержат много непредельных соединений: 89 % для МЭРжМ и 81 % для МЭЛМ, при этом доля полиеновых кислот (содержащих в радикале от двух до четырёх двойных связей) также очень велика – 82 и 73 % соответственно. Такие кислоты легко вступают в реакции окисления и полимеризации, что может привести к ухудшению свойств биодизельных топлив в процессе хранения.

В таблице 1 представлены результаты хранения исследуемых биодизельных топлив в полиэтиленовом и металлическом резервуарах

Таблица 1 – Изменение плотности и кинематической вязкости биодизельного топлива (МЭРжМ и МЭЛМ) при хранении

Месяцы	биодизельное топливо из масла рыжика				биодизельное топливо из масла льна			
	Плотность при 15 °С, кг/м^3		Вязкость при 40 °С, мм^2/с		Плотность при 15 °С, кг/м^3		Вязкость при 40 °С, мм^2/с	
	полиэтилен	металл	полиэтилен	металл	полиэтилен	металл	полиэтилен	металл
0	895	895	6,38	6,38	890	890	4,23	4,23
1	895	896	6,38	6,39	890	891	4,24	4,25
2	896	897	6,55	6,58	891	892	4,41	4,44
3	896	898	6,72	6,89	891	893	4,58	4,75
4	897	899	6,89	7,16	892	894	4,75	5,02
5	897	900	6,95	7,27	892	895	4,81	5,13
6	898	901	7,05	7,52	893	896	4,91	5,32
7	899	902	7,16	7,68	894	897	5,02	5,54
8	900	903	7,24	7,92	895	898	5,10	5,78
9	901	904	7,32	8,16	896	899	5,18	6,02
10	901	905	7,41	8,37	896	900	5,27	6,23
11	902	907	7,47	8,42	897	902	5,31	6,28
12	903	908	7,52	8,55	897	903	5,37	6,41
13	904	910	7,54	8,66	898	905	5,41	6,52
14	905	912	7,62	8,81	898	907	5,48	6,67
15	905	914	7,69	8,92	899	909	5,55	6,78

Из полученных данных видно, что и плотность и вязкость биодизельного топлива при хранении увеличиваются, особенно в металлическом резервуаре, катионы металла, вероятно, играют роль катализатора окислительных процессов.

Вязкость биодизельного топлива, нормируемая при 40 °С, должна составлять 3,5-5,0 мм^2/с. Видно, что в нормируемых пределах вязкость МЭЛМ сохраняется 7 месяцев в полиэтиленовом резервуаре и всего 4 месяца в металлическом. Вязкость биодизельного топлива, синтезированного из рыжикового масла, изначально выше той, что требует ГОСТ. Следовательно, его можно использовать только совместно с нефтяным дизтопливом как компонент топливной композиции с высокими экологическими и эксплуатационными характеристиками.

Плотность биодизельного топлива в соответствии с ГОСТ должна находиться в пределах от 860 до 900 кг/м^3. Видно, что в полиэтиленовом резервуаре даже топливо, содержащее тяжёлые компоненты, можно хранить 7-8 месяцев, а в металлическом резервуаре – не более 5 месяцев.

Увеличение плотности и вязкости биодизельного топлива связано с тем, что в процессе хранения сложноэфирные молекулы биодизельного топлива подвергаются атаке активных форм кислорода: пероксидными или гидропероксидными радикалами, образующимися в топливе. Вероятно, радикал взаимодействует с атомом углерода, находящимся в α-положении к углероду, связанному двойной связью. Именно такое направление атаки позволяет получить в результате

новый радикал, при этом неподелённый электрон сопрягается с π-электронной плотностью двойной связи, что стабилизирует образующуюся радикальную частицу (рис. 1).

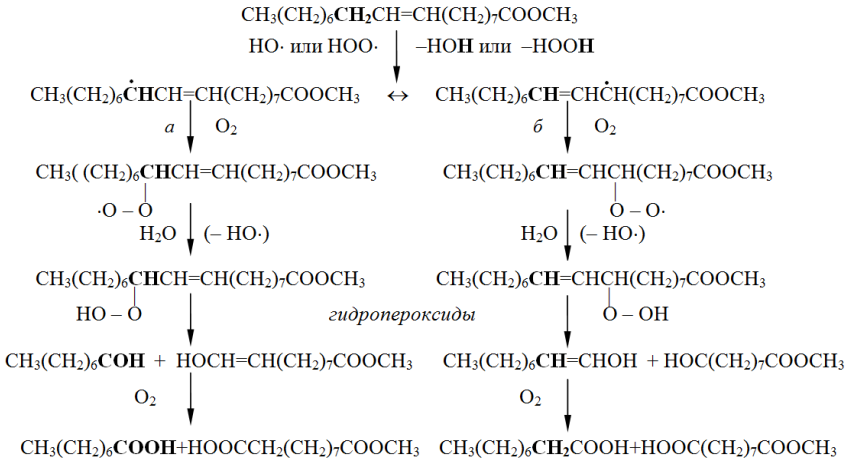


Рисунок 1 – Схема пероксидного расщепления компонента биодизельного топлива – метилового эфира олеиновой кислоты

Далее процесс окисления может протекать по двум направлениям (рис.1, пути а и б) с образованием нестабильных гидропероксидов, которые распадаются с образованием альдегидов. Альдегидная группа легко подвергается дальнейшему окислению с образованием карбоновых кислот. Конечными продуктами могут быть монокарбоновые кислоты или метиловые эфиры дикарбоновых кислот с более короткими углеродными цепями.

Катионы металлов, присутствующие на поверхности стенок металлических резервуаров, способствуют образованию радикальных частиц по уравнениям 1-3 [5]:

$$ROOH + Me^{n+} \rightarrow RO^{\cdot} + OH^{-} + Me^{(n+1)+} \quad (1)$$

$$ROOH + Me^{(n+1)+} \rightarrow RO_2^{\cdot} + H^{+} + Me^{n+} \quad (2)$$

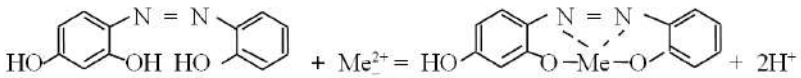
$$2ROOH \rightarrow RO^{\cdot} + RO_2^{\cdot} + H_2O \quad (3)$$

Чтобы повысить стабильность биодизельного топлива в процессе хранения в металлическом резервуаре, целесообразно вводить в состав таких топлив присадки, способные останавливать радикальные реакции и, желательно, связывать катионы металлов, ведь топливо хранится, преимущественно, в металлических резервуарах.

Антиокислительные присадки для нефтяных топлив широко известны, чаще всего в этой роли выступают пространственно-затруднённые фенолы или амины. Они вступают в реакцию с радикалом с образованием инертных продуктов реакции. Образовавшийся радикал сопрягается с развитой ароматической π-электронной системой фенола и образовавшийся в результате реакции радикал стабилизируется настолько, что теряет свою реакционную способность.

Для биодизельного топлива присадок предлагается меньше, например бисфенол, фенилендиамины, 2,6-ди-трет-бутилгидрокситолуол, ионол [6,7].

Нами предлагаются в качестве антиокислительных присадок соединения, которые также можно отнести к стерически затруднённым фенолам. Это производные азобензола, содержащие две гидроксильные группы в орто-положениях к азогруппе и дополнительные функциональные группы в ароматических кольцах. Они также обладают развитой π-электронной системой, а также могут вступать в реакции комплексообразования с катионами переходных металлов (4):



(4)

Лучшие результаты показал тригидроксиазобензол, содержащий три гидроксильных группы.

Действие присадки оценивали методом ускоренного окисления в присутствии медной пластинки при повышенной температуре. Катион меди является ещё более эффективным катализатором окислительных реакций, чем катионы железа.

Введение присадки способствует повышению химической и физической стабильности как нефтяных, так и биодизельных топлив при хранении.

Так, без присадки в ходе опыта плотность биодизельного топлива увеличилась на 6 единиц, а в присутствии присадки – только на одну. Увеличение вязкости топлива без присадки составило 19 %, а в присутствии присадки 8 %. В присутствии присадки в биодизельном топливе не образовывался осадок. То есть она предотвращает не только окислительные, но и коагуляционные процессы.

Как было показано, биодизельное топливо, имеющее в составе высокомолекулярные компоненты с высокой степенью непредельности, целесообразно использовать в составе топливной композиции.

Были приготовлены топливные композиции В10, В20, В50 и В70 как смеси нефтяного дизельного топлива и метилового эфира рыжикового масла (МЭРжМ), в которых содержание эфиров составляло, соответственно, 10%, 20%, 50% и 70% (об.). Стеклянные цилиндры с топливными композициями выдерживали при комнатной температуре в темном помещении и на свету с доступом кислорода. Периодически топливные композиции осматривали и фиксировали наблюдаемые изменения.

Через 20 суток в композиции В10, которая хранилась на свету, началось расслоение топлива, в нижней части цилиндра образовался слой светло-желтой жидкости, вероятно, МЭРжМ, плотность которого намного выше (при 25 °С 892 кг/м^3), чем у нефтяного топлива (815 кг/м^3). Объём отслоившегося биодизельного топлива составил примерно 15 % (об.) от количества, введённого в композицию В10. Все остальные композиции, хранившиеся как на свету, так и в темноте, остались гомогенными.

Через 60 суток количество биодизельного топлива, отслоившегося в композиции В10, увеличилось до 20 % и проявилось расслаивание в композиции В20, составившее 5 % от количества, изначально введённого в смесь. Остальные образцы к этому времени не претерпели никаких видимых изменений. К концу третьего месяца хранения на свету в композиции В 10 в виде отдельного слоя находилось уже 30 % биодизельного топлива, а в композиции В 20 – 10 %. За 5 месяцев хранения на свету в композициях В10 и В20 количество отслоившегося МЭРжМ составило 50 % и 40 % соответственно, в композиции В50 отслаивание стало заметным только после 4 месяцев хранения, к концу пятого месяца отслоилось 4 % биодизельного топлива. Для композиции В70 расслоение не наблюдалось. К пяти месяцам хранения стало заметным расслоение и в образцах, хранившихся в темноте. Для композиций В10 и В20 количество отслоившегося МЭРжМ составило 20 % и 10 % соответственно.

Товарное нефтяное дизтопливо в течение пятого месяца хранения приобрело интенсивную жёлтую окраску, а на дне образовался слой красно-коричневого осадка. При хранении в темноте изменение цвета не наблюдается. Оптическая плотность этого топлива при 420 нм до начала эксперимента составляла 0,094, а после пяти месяцев хранения – 0,232; при 460 нм эти величины составляют 0,062 и 0,160 соответственно. Очень сильно изменились за 5 месяцев плотность и вязкость нефтяного топлива: плотность при 25 °С увеличилась с 816 до 823 кг/м^3, кинематическая вязкость при 40 °С с 2,36 до 2,71 мм^2/с. Углубление окраски и увеличение плотности и вязкости, вероятно, связано с протеканием процессов окисления и полимеризации. Образование осадка может иметь две основные причины – протекание процессов коагуляции продуктов окисления и осаждения многочисленных присадок. В работе [8] авторы наблюдали процесс перераспределения присадки по высоте резервуара, через 60 дней хранения смазывающая способность современного гидроочищенного топлива, отобранного сверху, из середины и снизу резервуара заметно отличалась (средний диаметр пятна износа составлял 294, 325 и 390 мкм соответственно). Возможно, и в нашем случае мы наблюдали совместное действие этих факторов. Такж, необходимо учитывать, что нефтяное топливо представляет собой коллоидную систему, где дисперсионную среду составляют предельные и непредельные углеводороды, а дисперсной фазой

являются природные высокомолекулярные гетероатомные соединения, присадки и вода. Между неполярными молекулами углеводородов возможен только единственный тип взаимодействий – силы Ван-дер-Ваальса. Ориентационная составляющая сил Ван-дер-Ваальса пропорциональна величине дипольного момента в четвёртой степени, а индукционная – второй степени. Продукты окисления являются полярными соединениями, обладающими заметным дипольным моментом, поэтому их образование существенно отражаются на межмолекулярных взаимодействиях. Между полярными продуктами окисления возможны более прочные связи – электростатичечские, водородные. Их образование и приводит к разрушению коллоидной структуры топлива и образованию осадка.

Биодизельные топлива также представляют собой коллоидные олеодисперсные системы. Их молекулы имеют длинный неполярный углеводородный радикал и полярную сложноэфирную группу. При смешивании неполярных углеводородов нефтяного топлива и амфифильных молекул сложных эфиров биодизельного топлива возникают слабые гидрофобные взаимодействия за счёт сил Ван-дер-Ваальса. Протекание окислительных процессов с образованием более полярных продуктов и приводит к расслоению топливных композиций, в первую очередь тех, где содержание биодизельного топлива невелико.

Заключение.

Синтезированы биодизельные топлива по реакции трансэтерификации, сырьём служили масла рыжика и льна. Показано, что при хранении биодизельного топлива как в полиэтиленовом, так и в металлическом резервуарах, его плотность и вязкость увеличиваются. Это происходит за счёт образования продуктов окисления при действии радикальных пероксидных и гидропероксидных частиц. Катионы металлов, в том числе железа, присутствующие на поверхности стенок металлических резервуаров, способствуют образованию радикальных частиц и ускорению процессов окисления.

В нормируемых пределах вязкость (3,5-5,0 мм^2/с) и плотность (860- 900 кг/м^3) биодизельного топлива сохраняются 7 месяцев в полиэтиленовом резервуаре; в металлическом срок хранения сокращается до 4-5 месяцев.

Для стабилизации предложены присадки, относящиеся к ряду пространственно-затруднённых фенолов, содержащих азогруппу. В присутствии тригидроксиазобензола в процессе хранения плотность и вязкость увеличиваются, но в меньшей степени, чем в топливе без присадки. Например, увеличение вязкости топлива без присадки составило 19 %, а в присутствии присадки 8 %. В присутствии присадки в биодизельном топливе не образовывался осадок, замедляются и процессы коагуляции.

Биодизельное топливо, имеющее в составе высокомолекулярные компоненты с высокой степенью непредельности, обладает высокой вязкостью, поэтому его целесообразно использовать в составе топливной композиции. Такие композиции с содержанием биодизельного топлива, 10%, 20%, 50% и 70% (В10 – В70) были созданы и исследованы при хранении в темноте и на свету.

При хранении кроме увеличения плотности и вязкости, происходит расслоение топливных композиций. При этом в первую очередь расслаиваются композиции с низким содержанием биодизельного топлива, хранящиеся на свету; композиции В50 и В 70 более устойчивы.

Расслоение может быть связано со слабыми межмолекулярными взаимодействиями между углеводородами нефтяного топлива и молекулами биодизельного топлива, содержащими полярные сложноэфирные группы; а также с разрушением коллоидной структуры топлив.

Список литературы

1. Зуйков А.В., Чернышева Е.А., Сидоров Ю.В. Особенности производства малосернистого дизельного топлива с низким содержанием полициклических ароматических углеводородов // Нефтепереработка и нефтехимия, 2013. – № 1. – С. 11-16.

2. Данилов А.М. Присадки к топливам как решение химмотологических проблем // Химия и технология топлив и масел, 2014. – № 5 (585). – С. 31-35.

3. Романцова С.В., Зазуля А.Н., Левин М.Ю. Синтез компонента дизельного топлива, улучшающего его экологические характеристики // Наука в центральной России, 2014. – № 4(10). – С. 27-33.

4. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Марков В.А., Са Бовэнь, Бебенин Е.В. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив для сельскохозяйственных машин // Аграрный научный журнал, 2020. – № 12. – С. 90-92.

5. Саблина З.А. Состав и химическая стабильность моторных топлив – М.: Химия, 1972. – 279 с.

6. Method and apparatus for monitoring structural health: пат. № 2006/0219979 US: A1, C09K 15/04 / Ghoshal A., Zangor R., Chaudhry Z.A., Schaff J.R., Davis M.W. – опубл. 05.10.2006.

7. Применение 2,6-ди-трет-бутилгидрокситолуола для повышения стабильности дизельного биотоплива при хранении: пат. №2340655 Рос. Федерация: C10L 1/183 / Ингендо А., Ротер К., Хайзе К.-П. – опубл. 10.12.2008

8. Нурмухаметова Э.Р., Фатхутдинова Э.Н., Сидоров Г.М., Осипенко Д.Ф. Исследование влияния длительного хранения дизельного топлива на эксплуатационные характеристики // Modern high technologies, 2018. – № 9. – С. 88-92.

References

1. Zuykov A.V., Chernysheva Ye.A., Sidorov YU.V. Osobennosti proizvodstva malosernistogo dizel'nogo topliva s nizkim soderzhaniyem politsiklicheskikh aromaticheskikh uglevodorodov // Neftepererabotka i neftekhimiya, 2013. – № 1. – S. 11-16.

2. Danilov A.M. Prisadki k toplivam kak resheniye khimmotologicheskikh problem // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel, 2014. – № 5 (585). – S. 31-35.

3. Romantsova S.V., Zazulya A.N., Levin M.YU. Sintez komponenta dizel'nogo topliva, uluchshayushchego yego ekologicheskiye kharakteristiki // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2014. – № 4(10). – S. 27-33.

4. Nagornov S.A., Romantsova S.V., Markov V.A., Sa Boven', Bebenin Ye.V. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh svoystv dizel'nykh topliv dlya sel'skokhozyaystvennykh mashin // Agrarnyy nauchnyy zhurnal, 2020. – № 12. – S. 90-92.

5. Sablina Z.A. Sostav i khimicheskaya stabil'nost' motornykh topliv – M.: Khimiya, 1972. – 279 s.

6. Method and apparatus for monitoring structural health: pat. № 2006/0219979 US: A1, C09K 15/04 / Ghoshal A., Zangor R., Chaudhry Z.A., Schaff J.R., Davis M.W. – opubl. 05.10.2006.

7. Primeneniye 2,6-di-tret-butilgidroksitoluola dlya povysheniya stabil'nosti dizel'nogo biotopliva pri khranenii: pat. №2340655 Ros. Federatsiya: C10L 1/183 / Ingendo A., Roter K., Khayze K.-P. – opubl. 10.12.2008.

8. Nurmukhametova E.R., Fatkhutdinova E.N., Sidorov G.M., Osipenko D.F. Issledovaniye vliyaniya dlitel'nogo khraneniya dizel'nogo topliva na ekspluatatsionnyye kharakteristiki // Modern high technologies, 2018. – № 9. – S. 88-92.

Сведения об авторах:

Принадлежность к организации

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Гладышева Ирина Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru.

Вервекина Наталья Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: vervekinanv@mail.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.

Ликсутина Анна Павловна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский

научноисследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Романцов Сергей Николаевич – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: r.s.n.1996@yandex.ru.

Affiliation

Romantsova Svetlana – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Gladysheva Irina – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru.

Vervekina Natalia – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: vervekinanv@mail.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.

Lixutina Anna – 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.

Romantsov Sergey – undergraduate of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: r.s.n.1996@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 15.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.05.2022

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 30.06.2022. Заказ № 21.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Гарнитура Times. Объем – 14,49 усл. печ. л. Тираж 100 экз.